

Sürdürülebilir Turizme Katkı Hedefli Karanlık Gökyüzü Parkı Potansiyelinin, CBS Destekli Mikrozonlama Yaklaşımı ile Modellenmesi: Eskişehir/Sivrihisar Örneği *

Ebru GÜVEN, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, ebrugvn@gmail.com,
Eskişehir, Türkiye, ORCID: 0009-0005-6962-2996

Metin ALTAN, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü, maltan@eskisehir.edu.tr,
Eskişehir, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5247-887X

Öz

Bu çalışma, uluslararası gökyüzü parlaklığı ölçümleri, mesafe, yükseklik ve güney yönü alanların avantajları gibi parametreler kullanılarak, ışık kirliliği açısından aday bölgelerin teleskop gözlemi ve turistik etkinlikler için uygunluğunu değerlendirmeyi amaçlamaktadır. 20 gece boyunca alınan SQM ölçümlerinin, ölçekli, koordinatlı, projeksiyon tanımlı ve ilişkisel veri tabanı destekli konumsal modelleme platformu üzerinden, etkileşimli sayısal katman yapılı, ışık kirliliği dağılımı haritalanmıştır. Öncelikle 30km yarıçap kapsamındaki yerleşim yerleri, ışık kirliliği, topoğrafya, çevresel etkiler, doğal ve turistik avantajlar parametreleri açısından çok ölçütlü karar desteği ile değerlendirilmiş ve Nasrettin Hoca en uygun yerleşim yeri olarak belirlenmiştir. Ölçüm noktaları, yapay ışık kaynaklarından uzaklık, topoğrafik yapı ve turistik potansiyel göz önüne alınarak seçilmiş, mekânsal otokorelasyon testleri ve kümeleme analizleriyle ışık kirliliği dağılımının istatistiksel analizi yapılmıştır. Elde edilen SQM ölçümleri, temiz gökyüzünü temsil eden en yüksek değer 21.5, hatalı ve gereğinden fazla yapay aydınlatma etkisindeki en düşük değer 18.9 olarak tespit edilmiştir. Sonrasında, turizm odaklı Sivrihisar yakınlığında seçilen Nasrettin Hoca yerleşim bölgesine konumsal modelleme destekli mikrozonlama tekniği uygulanarak, AstroTurizm hedefli mavi bayrak potansiyeli alanlar önerilmiştir. Sonuçlar, çalışma alanının sürdürülebilir turizmine katkı ekseninde, kalkınma stratejilerinin geliştirilmesine yönelik bilimsel temel sağlama potansiyelindedir.

Anahtar Kelimeler: Işık Kirliliği, Karanlık Gökyüzü Parkı, Mikrozonlama, CBS, SQM

Modeling of Dark Sky Park Potential Targeted to Contribute to Sustainable Tourism with GIS Supported Microzonation Approach: Eskisehir/Sivrihisar

Abstract

This study aims to evaluate the suitability of candidate regions for telescopic observation and touristic activities in terms of light pollution using parameters such as international sky brightness measurements, distance, altitude and advantages of southerly areas. Light pollution distribution was mapped with interactive digital layer support via scaled, coordinated, projection defined and relational database supported spatial modeling platform of SQM measurements taken for 20 nights. Settlements within 30 km radius were evaluated with multi-criteria decision support in terms of any parameters and Nasrettin Hodja was determined as the most suitable settlement. Measurement points were selected considering distance from artificial light sources, topographic structure and touristic potential, and statistical analysis of light pollution distribution was performed with spatial autocorrelation tests and clustering analyses. By applying spatial modeling supported microzonation technique to the selected Nasrettin Hodja settlement area near Sivrihisar, which is focused on tourism, AstroTourism targeted blue flag potential areas were suggested. These results will provide a scientific basis for the development of development strategies in the axis of contribution to the sustainable tourism of the study area.

Keywords: Light Pollution, AstroTourism, Microzonation, GIS, SQM

*Bu çalışma, TR Dizin etik kurul izni gerektiren çalışma grubunda yer almamaktadır.

Extended Summary

Tourism is preferred as a priority in the strategic plans of countries for their economic development, both locally and globally, within the scope of touristic visits, both in terms of its historical and archaeological accumulations and natural beauties. As called AstroTourism, Telescope observations focused on the sky and deep space are also on the agenda as one of the important activities of tourism. In order to these carry out activitie, it is necessary to have a clean, dark sky without excessive and faulty artificial lighting. In order to determine these regions with high quality, clean skies, light pollution must be determined and graded. For this, while satellite data is generally used on a global scale, the Sky Quality Meter (SQM) use on a local scale to determine sky brightness. While high SQM values represent darker and ideal observation conditions, low SQM values indicate that the environment is light pollution due to more illumination than necessary.

Sivrihisar district, which is within the borders of Eskişehir and 100 km away from the city center, is selected of the studied area of this study due to its global importance and historical, archaeological and many other aspects of tourism. It is aimed to determine an alternative area with the potential of a Dark Sky Park where tourists who have planned a trip covering touristic places in Sivrihisar can easily reach within 30 km distance, both for natural beauty and for sky observations after completing their trip during the day and taking a short break. In this process, within the framework of the applications to be made via Multi-Criteria Decision Support Parameters (MCDP), the researches regarding the objectives of the study were designed in two stages as field studies including SQM measurements and laboratory studies including Geographic Information Systems (GIS) studies.

The feature information belonging to the settlements within the 60 km diameter area, with the Sivrihisar district determined as the focal point, was evaluated as the basis for the GIS analysis and modeling stage. During the 20-day field study, night SQM measurements of 21 settlements were taken, and their daytime topographic features, surrounding artificial structures, natural structures, population, touristic, archaeological and historical features were examined. 6 ring areas were defined at 5km intervals within the determined area. SQM measurements were taken from the center of 21 settlements area and from different coordinates in the south direction because of the celestial bodies targeted by telescope observation activities can be observed on the Southern horizon, and 2 km radius areas were digitized primarily for the sky observability analysis and evaluated as MCDP.

The data used within the scope of the MCDP application were analyzed on the GIS platform and when the candidates with potential for Dark Sky Park were scored on the basis of geographical features, environmental added value and locational attribute information, Nasrettin Hodja settlement was predicted as the most suitable area.

Nasrettin Hodja settlement is expected to provide important scientific foundations for the further detailing of the touristic and cultural heritage of the region, the development of sustainable tourism strategies and the justification for local governments to protect these values. Than, A GIS application infrastructure has been prepared for the microzonation study for the region and its immediate surroundings. The Nasrettin Hodja settlement study area was divided into 24 areas of 1 km² and one SQM measurement was carried out to represent the sky quality of each area. The necessary GIS platform was configured to be a layer for numerical analysis and modeling studies, and a distribution map reflecting the spatial relationships of the numerical values of SQM measurements was created, while the change intervals (spatial resolution) were applied at 0.1 magnitude and equipotential curves representing the distribution of SQM measurement results between 18.90-21.90 were constructed.

As a result of basic statistical analyses performed in terms of locational relationships of SQM measurement values taken with coordinates for Nasrettin Hodja settlement; Mean 21.11, Median 21.63 and Variance 0.86 were obtained. The relatively high Standard Deviation value determined as 0.93 shows that there is a significant difference between the measurements. According to the Kernel Density Estimation evaluation, the measurement values vary between 18.9 and 21.9, with the densest area concentrated around 21.5.

While the areas where SQM measurement values are above 21 indicate areas with dark skies, a significant density around 21.5 indicates that light pollution in these areas is at low levels. Areas with SQM values below 20, and especially areas with low values around 18.95, indicate areas with high light pollution and intense artificial light sources. When the spatial distribution of SQM values in the created spatial distribution map is examined, low SQM values (range 18.95-19.5) concentrated in certain regions show that intense artificial lighting is effective in settlement centers and lower artificial lighting is effective in rural and close to protected areas. High SQM values (21.5-21.8 range) are generally spread over a wider area. It has been determined that light pollution is concentrated at certain points and forms spatial clusters. Spatial factors affecting SQM values were detailed with spatial and multivariate regression analysis, p value was obtained less than 0.05 and it was obtained with 95% confidence that the analysis results were significant and the coefficient was different from zero.

The distribution map with a resolution of 0.1 magnitude created according to the SQM measurement results was recoded and scored and classified into 4 light pollution zones to create a digital map layer on the GIS platform. Since the areas with SQM measurements smaller than the determined 20.5 magnitude value were in a high class in terms of light pollution, they were masked and not included in the analysis and modeling studies within the scope of microzoning application. Other areas (>20.5) were classified as 1st degree in the 21.9-21.6 magnitude range and 2nd degree in the 21.5-20.6 magnitude range as clean sky areas with relatively low light pollution and were layered on the GIS platform. Each SQM measurement point was divided into triangular zones in order to be able to compare and interpret the pollution in four directions within the square area, with the center. While determining the AstroTourism targeted campsite candidate area recommendation parameter, the coding of new areas was performed by adding the previous areas together in the ranking stage starting from the highest suitability degree in terms of optimum usability of spatial areas. With reference to the distribution ranges of SQM measurements, the next microzoned area is assigned a value by adding the previous area. Each step area corresponds to a polygon in the SQM distribution map, and the polygon areas within the square area boundaries are graded.

Since AstroTourism activities will be carried out with different numbers of participants, while organizing the activities, considering the area amounts of the camp sites in m² will be a priority in terms of optimizing the activity. With the prediction that the area required for AstroTourism applications will increase as the number of participants increases, candidate areas have also been graded. With the prediction that an area of 100 m² is required for the use of 1 telescope as an average of 2 participants, an area of 8000 m² will be sufficient for 160 participants for the organization to be held. First degree 1st stage areas will be evaluated in terms of flexibility in the number of participants, other areas will be evaluated step by step, and requests for AstroTourism purposes will be evaluated according to the number of people. The lower limit for the camp site for clean sky observations to be carried out within the scope of AstroTourism has been predicted as 500 m² (5 telescopes, 10 people), and smaller areas obtained as a result of microzoning studies have not been included in the stage of determining the number of tourists. As a result of the GIS-supported Microzoning analysis of the microzone regions classified as 1st degree 3 stages and 2nd degree 9 stages with the contribution of MCDP application, according to the ranking criterion according to their sizes on a m² scale, 4 areas in the 3 microzones were determined as clean sky priority areas suitable for astronomical observations that can be made within the scope of AstroTourism.

Pre-determining the areas optimized for the number of tourists who will participate in AstroTourism activities determined as a result of microzoning application will play a key role in ensuring that every stage of the organization details such as the necessary infrastructure-focused technical support, spatial adequacy, service quality and personnel competence, transportation, accommodation, medical and security measures are carried out more healthily, with high satisfaction return and without problems.

1. Giriş

Turizm, gerek tarihi ve arkeolojik birikimleri ve gerekse doğal güzellikleri açısından, hem yerel hem de küresel ölçekte turistik etkileşimler kapsamında, ülkelerin ekonomik gelişmelerine yönelik stratejik planlarında öncelikli konu başlığı olarak gündemde tutulmaktadır. Gökyüzü ve derin uzay odaklı teleskop gözlemleri de turizmin önemli etkinliklerinden biri olarak popülerliğini korumaktadır. AstroTurizm olarak, geleneksel turizmin bir parçası kabul edilen etkinliklerin gerçekleştirilebilmesi için, temiz, ihtiyaçtan fazla ve hatalı yapay aydınlatmaların olmadığı karanlık gökyüzünün paylaşılması kaçınılmaz bir gerekliliktir.

Işık kirliliği, modern kentleşmenin en belirgin çevresel sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmakta ve gece gökyüzü kalitesini önemli ölçüde negatif etkilemekte, hem bilimsel hem de turistik alanlarda çeşitli olumsuz sonuçlara neden olmaktadır (Falchi et al, 2016). Özellikle astronomik gözlemler için ideal bir gökyüzü, doğal karanlık koşullarının korunmasıyla elde edilebilmektedir. Ancak hatalı, gereksiz ve yoğun yapay aydınlatma uygulamaları, gökyüzünün doğal görünümünü olumsuz yönde değiştirerek, AstroTurizm etkileşimlerini imkansızlaştırmaktadır.

Işık kirliliğinin belirlenmesi ve gelişiminin takip edilmesine yönelik birçok bilimsel teknik uygulanmakta, küresel ölçekte genelde uydu verileri kullanılırken, yerel ölçekte gökyüzü parlaklığı belirlenmesi için, SQM (Sky Quality Meter) ile yapılan ve ışık kirliliğinin yoğunluğunu sayısal olarak ifade eden ölçümler değerlendirilmektedir. Yüksek SQM değerleri, daha karanlık ve ideal gözlem koşullarını temsil ederken, düşük SQM değerleri hatalı, yoğun ve ihtiyaç duyulandan fazla aydınlatma sonucu maruz kalınan ışık kirliliği nedeniyle, gökyüzü ve derin uzay cisimlerinin gözlenemeyeceğini işaret etmektedir.

Hayranlık uyandıran gökyüzüne ve derin uzaya yönelik gece gökyüzü gözlem deneyimi, sadece bilimsel çalışmalar için değil, turizm etkinliklerinde de bir ayrıcalık olarak büyük önem taşımaktadır. Tüm dünyada, gökyüzü turizmi, astronomi turları, gece fotoğrafçılığı ve doğal karanlık bölgelerinin keşfi gibi faaliyetler giderek cazibe merkezi ve tercih sebebi olmaktadır (Kyba et al., 2017). Doğal karanlık gökyüzü deneyimi içerikli AstroTurizm etkileşimi, yerleşim alanları çevresinin kültürel ve ekonomik değerini artıran, sürdürülebilir turizm stratejilerinin geliştirilmesine zemin hazırlayan önemli bir unsur olarak öne çıkmakta, yerel ekonomiye katkı sağlayarak turizm gelirleri artışına destek vermektedir. Işık kirliliğinin çevresel, astronomik ve turistik etkileri üzerine yapılan çalışmalar, karanlık gökyüzü temizliğinin korunmasının hem ekolojik hem de ekonomik açıdan kritik olduğunu vurgulamaktadır (Falchi et al., 2016; Kyba et al., 2017).

Bu çalışmada, Sivrihisar yerleşim yeri merkezli 30 km yarıçaplı bölge kapsamında bulunan aday yerleşim yerlerinin; teleskop gözlemi ve turistik etkinlikler açısından uygunluğu, ulaşım mesafesi, ışık kirliliği, topoğrafik yüksekliği, güney yönüne bakan alanların astronomi gözlemi odaklı avantajları gibi parametreler kullanılarak, Çok Ölçütlü Karar Destek Parametreleri (ÇÖKDP) ekseninde AstroTurizm açısından değerlendirilmiştir. Mavi Bayrak potansiyeli olan aday bölgelerin belirlenmesi sürecinde değerlendirilen parametreler üzerinde istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak, hem bilimsel hem de AstroTurizm etkileşimlerine yönelik özgün katkılar sunulması hedeflenmektedir. 20 gece boyunca saha çalışmaları kapsamında alınan SQM ölçümlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) platformunda yapılan analizleri sonucu oluşturulan etkileşimli sayısal harita katmanları değerlendirilerek, sahadaki ışık kirliliğinin konumsal dağılımı modellenmiştir. Aday bölgelerin ÇÖKDP destekli puanlamaları sonucunda uluslararası SQM ölçümleri sıralaması oluşturulmuş ve Nasrettin Hoca bölgesi, bu sıralamada öncelikli ve ayrıcalıklı olarak yer almıştır. Seçilen aday bölgede gerçekleştirilen mikrozonlama çalışmaları sonucunda, Nasrettin Hoca yerleşim yeri yakınlarında farklı nitelikteki AstroTurizm etkileşimlerine uygun alanlar belirlenmiş, bölgenin hem astronomik gözlemler hem de turistik faaliyetler açısından ne kadar uygun olduğu, bilimsel temellere dayandırılarak ortaya konulmuştur.

2. Işık Kirliliği Odaklı Kavramsal Yaklaşımlar

Küresel ölçekte turistik amaçlarla yapılan çalışmalarda ışık kirliliği ve temiz gökyüzüne yönelik çeşitli uygulamalar, farklı hedeflere yönelik "Mavi Bayrak" programlarının önemli bileşeni olarak yaygınlaşmaktadır (Prats & Merino, 2024). Mavi bayrak, özellikle plaj ve marinalarda çevresel yönetim, su kalitesi ve güvenlik gibi kriterlere dayanarak sürdürülebilirlik sağlayan uluslararası bir eko-etiket niteliğinde uygulanırken (Kültür ve Turizm Bakanlığı YİGM, t.y.), günümüzde gökyüzüne yönelik atmosfer temizliği ve AstroTurizm kavramı katkıları ile zenginlik kazanmıştır. Bu programlar, turistik gezi güzergahı zenginliği ve güvenliği, konaklama kalitesi, misafirlik memnuniyeti gibi parametreleri geliştirmek ve çevre bilincini güçlendirmek için dünya genelinde uygulanmaktadır (Blue Flag Global, 2024).

2.1. AstroTurizm Ekseninde Doğal Dengeye Yönelik Işık Kirliliği Etkisi

AstroTurizmin uygulamalarının, bölgenin turizm etkinliklerine katkı sağlamasının yanı sıra, turistlerin astronomiye olan ilgisini arttırmasını, doğal ve kültürel mirasa saygı duyulmasını teşvik eder. Benzer şekilde, astroturizmin çevresel koruma ve turizm gelişimi üzerindeki rolü, sürdürülebilir turizm politikalarıyla bütünleşik biçimde ele alınmalıdır (Öksüz et. al, 2025). Turistik etkinliklerin tercih sebebi olmasında ışık kirliliğinin yönetimi ve azaltılması, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de turistik çekicilik açısından önemli bir faktördür. Işık kirliliğinin azaltılması, gece karanlık gökyüzünün korunması ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki olumsuz etkilerin minimize edilmesi çabaları, AstroTurizmi geliştirirken, tarihsel ve kültürel turizm, doğal güzellik ve derin uzay farkındalığı yaklaşımlarına renk katarak, yerel turizm, küresel ölçekte destek sağlamaktadır (Dark-Sky Switzerland, 2022). Işık kirliliğinin küresel ölçekte biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkileri, özellikle korunan alanlardaki yaban hayatı üzerinde yakın geçmişimizin önemli doğal denge kayıplarına sebep olmuştur. Gece gökyüzü parlaklığının yoğunluğu ve şehirleşmenin hızı, doğal sistemler üzerinde baskı oluşturmuş ve son yıllarda hızla artan ekolojik sorunlara yol açmıştır. Yerel ölçekte yapılan değerlendirmelere göre, büyük şehirler başta olmak üzere, gece gökyüzü parlaklığı kaybı, kırsal alanlara kıyasla altı katına kadar artırmıştır. Işığın hatalı ve gereksiz kullanımı sonucu, uyku düzensizlikleri, bazı kanser türleri riskinin artması, biyolojik saat bozukluklarına yol açarak, sağlık problemleri yelpazesini genişletmesi gibi, insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerine ek olarak, çevresel ve doğal etkiler açısından da negatif önemli gündem maddeleri oluşturmaktadır (INNS Pub, 2021).

2.2. Işık Kirliliğinin Belirlenmesine Yönelik Teknoloji Destekli Çalışmalar

AstroTurizm etkileşimleri, ışık kirliliğinin düşük olduğu, gökyüzünün temiz, gök cisimlerinin net görülebildiği bölgelerde gerçekleştirilebildiği için, küresel ve yerel ölçekte doğal karanlık gökyüzüne sahip bölgeler araştırılmakta ve koruma altına alınması için farkındalık mücadeleleri verilmektedir. Güncel teknolojiye paralel gelişen farklı yöntemlerin kapsamında sahada gerçekleştirilen SQM ölçümleri, laboratuvarlarda yapılan uydu görüntüsü analiz ve modellemeleri, projelerin amaçlarına göre tercih edilmektedir. Uydu verileri, küresel ölçekte ışık kirliliğinin belirlenmesinde ve analiz edilmesinde önemli bir araç haline gelmiştir. Gece gökyüzü gözlemleri, özellikle kentsel ve korunan alanlarda ışık kirliliğinin konumsal dağılımı ve yoğunluğu hakkında değerli bir bakış açısı sunar. Elde edilen ve arşivlenen veri setleri, ışık kirliliği dağılımının zaman içindeki değişiminin izlemesi ve azaltılması politikalarının oluşturularak uygulanmasına katkı niteliindedir ve altyapı oluşturulmasına etkin bilimsel destek olarak değerlendirilmektedir. Işık kirliliğinin yoğunluğuna ve sürekliliğine göre sınıflandıran araştırma sonuçları, insan faaliyetleri kökenli ışık kirliliğinin, yerel vahşi yaşama ve ekosistemlere verdiği etkilerin doğasını ve dinamiklerini anlamamıza yönelik önemli katkılar sağlar (Mu et al., 2021). Ayrıca, uydu görüntüleri aracılığıyla kentsel yapı içinde ışık kirliliği kaynaklarının belirlenmesi, aşırı veya hatalı aydınlatma alanları ile ilgili farkındalık yaratıp, kentsel planlama ve koruma stratejilerine bilgi desteği sağlar (IEEE Xplore, 2019). Uzaktan Algılama teknikleri, uydulara yerleştirilen sensörler aracılığıyla, yapay ışık emisyonlarını yakalayarak insan faaliyetlerinin etkisini gözlemlemek için kullanılmaktadır. Bu gözlemler, ekoloji, kentsel planlama ve çevresel izleme gibi çeşitli alanlardaki çalışmalar için temel

oluşturur. Sensör teknolojisindeki ilerlemeler ve görüntü işleme tekniklerindeki gelişmeler, gece ışığı verilerinin doğruluğunu ve kullanımını artırarak, ışık kirliliği analiz ve modelleri, zaman içindeki değişiklikleri detaylı bir şekilde analiz etme olanağı sağlamaktadır (Zhao et al., 2019). Işık kirliliğinin sahadaki durumunu, dağılımını ve değişimini belirlemek ve takip etmek amacı ile gelişen güncel teknoloji destekli tasarlanan SQM gibi cihazlar, yerel ölçekte kirliliğin çevresel etkilerini anlamak, vereceği doğal, biyolojik, psikolojik muhtemel zararları minimize etmek amaçlı çözüm önerileri üretme aşamasında, karar destek sistemi oluşturmak için önemli veriler sağlamaktadır (Mander et al., 2023). Uzun dönemli SQM ölçümleriyle ışık kirliliği eğilimlerinin izlenmesi, atmosferik koşullarla ilişkilendirilmiş ampirik modeller yardımıyla değerlendirildiğinde, zamansal değişimlerin daha doğru şekilde belirlenmesini sağlar (Puschig et al., 2023). Sonuçların güvenilirliği açısından, gökyüzü parlaklığı ölçümleri sürecinde, SQM cihazının hassasiyetinin azalmasına önlem olarak, belirli kalibrasyon düzeltmelerinin yapılması gereklidir. Işık kirliliği ölçümleri çeşitli kartografik yöntemlerle görselleştirilebilmektedir. Tematik haritalar ve kartografik görselleştirmeler kullanılarak, ışık kirliliğinin konumsal dağılımı ve şiddeti hakkında bilgi sunulmakta, özellikle şehirlerde ve farklı nitelikteki yoğun ışıklandırılmış bölgelerde ışık kirliliğinin analizinde etkili olmaktadır (Kunz, 2021).

3. Yöntem ve Uygulamalar

Gerek canlı sağlığına, gerekse doğal denge unsurlarına, ışık kirliliğinin verdiği negatif etkiler konusunda yapılması gerekli farkındalık çalışmaları, ilköğretim seviyesinden doktora aşamasına kadar eğitimin her aşamasında yer almalıdır. Akademik çalışmalar kapsamına taşınan farkındalık çalışmaları ise; makale, bildiri ve tez çalışmalarının yanı sıra, yerel yönetimlerin dikkatine sunulması hedefli bilimsel uygulamaları da içermelidir. Bu çalışma kapsamında somut bilimsel yöntemler ve istatistiksel yaklaşımlar ile bir saha ve laboratuvar çalışması içerikli örnekleme detaylandırılmıştır.

3.1. Sivrihisar Bölgesi Turistik Kapasitesi

Eskişehir il sınırları içinde kalan ve kent merkezine 100 km uzaklıkta bulunan Sivrihisar ilçesi; tarih, arkeoloji ve birçok açıdan turistik değer taşıyan, küresel ölçekte önemli bir alandır. Sivrihisar'ın turistik yerlerinin nadirliği ve günümüze kadar korunmuş kalitesi, hem yerel tarihinin hem de kültürel mirasının tanınırlığını ve zenginliğini ortaya koymaktadır. İlçe içerisinde milattan önce yaşamış medeniyetlerden ve Osmanlı Döneminden kalma yapılar korunmuş ve günümüzde sergilenmektedir. Sivrihisar Kalesi ve Ulu Camii gibi yapılar, bölgenin tarihsel gelişim sürecine ışık tutarken, medrese ve arkeolojik alanlar da eğitim, kültürel alışveriş ve yerleşim düzeni hakkında önemli ipuçları vermektedir. Bu yapıların korunması ve turistik potansiyelin artırılması, yerel yönetimler ve kültür bakanlıkları açısından öncelikli konu olarak değerlendirilir.

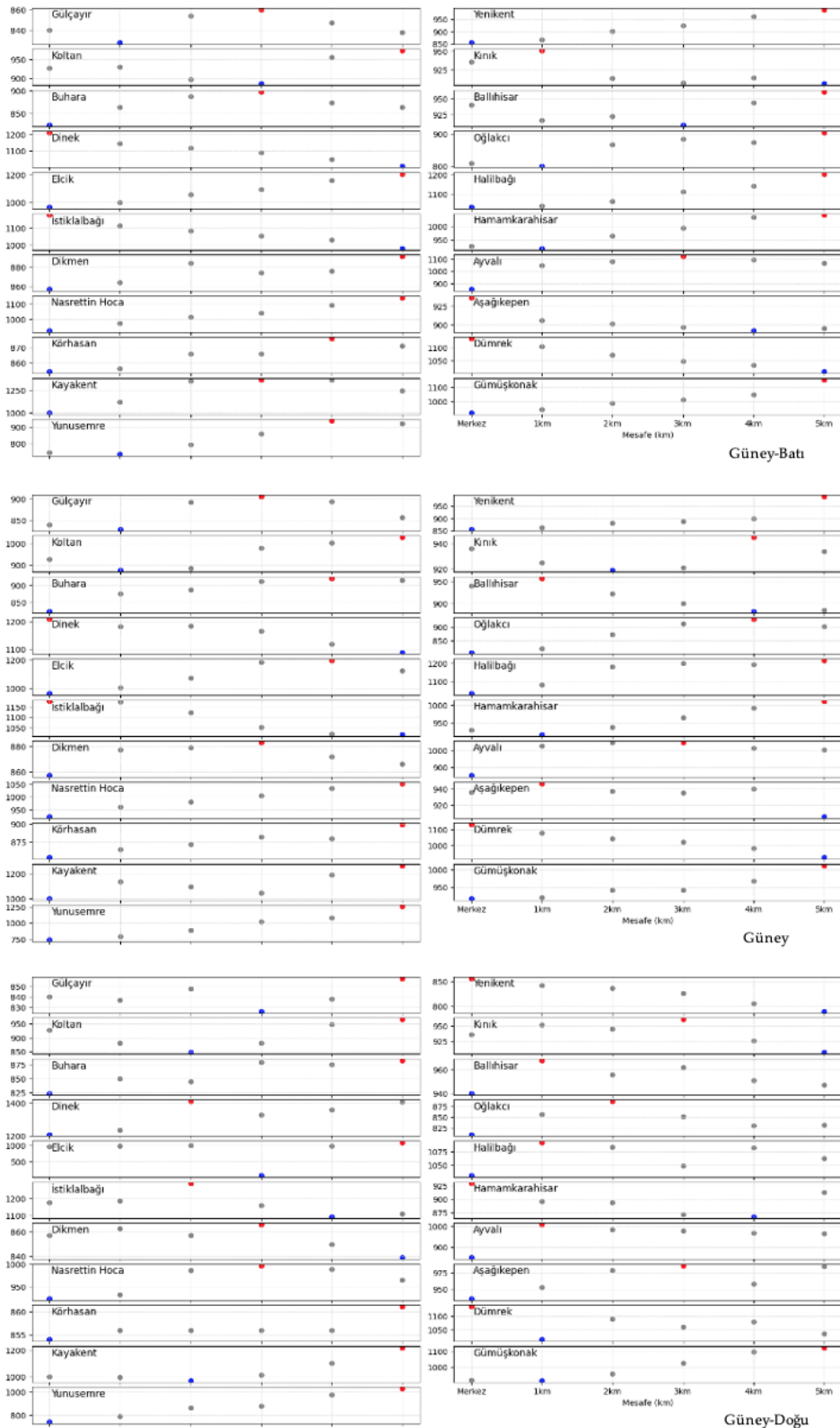


01. Çoban Çeşmesi, 02. Üç Pınar Çeşmesi, 03. Kavakdibi Çeşmesi, 04. Ermeni Hamamı, 05. Metin Yurdanur Açık hava Müzesi, 06. Acı Çeşme, 07. Sup Yerortutyum Ermeni Kilisesi, 08. Garipçe Çeşme, 09. Sivrihisar Höyüğü, 10. Sivrihisar Eski Askerlik Şube Binası, 11. Demirci Çeşmesi, 12. Akdoğan Çeşmesi, 13. Akdoğan Mescidi, 14. Sivrihisar Saat Kulesi, 15. Zaimağa Konağı, 16. Alidede Türbesi, 17. Neman Çeşmesi, 18. Ak Minare, 19. Yunus Hoca Kümbeti, 20. Sivrihisar Namazgahı, 21. Ak Çeşme, 22. Kudbeddin Dede Türbesi, 23. Cafer Tayyar Türbesi, 24. Sinanpaşa Hamamı, 25. Tek Minare, 26. Sivrihisar Kilim Müzesi, 27. Kumacık Hamamı, 28. Hoşkadem Camii, 29. Aziz Mahmud Hüudayii Camii, 30. Hazinedar Camii, 31. Bodur Camii, 32. Elmalı Camii, 33. Yenice Camii ve Çeşmesi, 34. Kılıç Mescidi Minaresi, Kağnıpazar Çeşmesi ve Yenihamam, 35. Ulucami ve Alemşah Türbesi, 36. Mavi Kadın Çeşmesi ve Acem Çeşmesi, 37. Hızırbey Camii, 38. Balaban Camii ve Çeşmesi, 39. Seydi Mahmut Suzani Türbesi ve Seydiler Hamamı, 40. Kurşunlu Lahdi, Kurşunlu Çeşmesi, Kurşunlu Camii Haziresi.

Şekil 1. Sivrihisar Merkezi Turistik Yerleri (Anonim, 2015)

3.2.1. Sivrihisar İlçesine Yakınlık Hedefli Mekânsal Analiz

Saha çalışmasının birinci aşamasında, Sivrihisar merkez olmak üzere, 60 km çapında belirlenen alan içinde, 5km aralıklar ile 6 adet halka alanlar belirlenmiştir. Her bir halka alan içinde kalan 21 yerleşim yerlerinin merkezinden ve güney yönündeki farklı koordinatlardan SQM ölçümleri alınmış, gökyüzü gözlenebilirlik analizi için öncelikli olarak 2 km yarıçaplı alanlar işaretlenmiştir (beyaz daire çizgiler). Teleskop gözlem etkinliklerinin hedefindeki gök cisimleri Güney ufkunda yer alacağı için, işaretlenen bu alanların Güney ufku bakış yönleri belirlenerek sayısal haritada katmanlanmıştır (kırmızı üçgen alanlar) (Şekil 2).



Şekil 3. Güney-Batı, Güney ve Güney-Doğu Yönlerindeki Yükseklik

3.2.2. Topoğrafik Yapı

Gökyüzüne yönelik astronomi gözlemleri açısından Güney ufku ve topoğrafik yükseklik sentezi, ÇÖKDP'nin önemli bir sentez faktörü olarak değerlendirildi. 21 Yerleşim yerindeki kırmızı alanlarda belirlenen Güney-Batı, Güney ve Güney-Doğu yönlerindeki en yüksek (kırmızı noktalar) ve en düşük (mavi noktalar) topoğrafik yükseklikler, 5 km mesafeler için 1 km aralıklar ile işaretlendi (Şekil 3). Güney ufkunun 3 farklı doğrultusu kapsamındaki yükseklik sınır değerleri, kamp alanlarının hem ergonomisi ve hem de gökyüzü gözlemleri açısından optimum verimli kullanımı hedefli ÇÖKDP'nin bileşenleri olarak değerlendirildi.

Merkeze Uzaklık için: (çok yakın) Merkez ve 1km=0; (en yakın ve en uzak) 2 ve 5km=1; (en uygun mesafe) 3 ve 4km=2 puan verildi.

Yükseklik için (m): (yerleşim yeri yüksekliğinden daha düşük veya eşit) <50=0; (yükseklik farkı) 50-100=1; 100-150=2; 150-200=3; 200-250=4; 250-300=5; 300-350=6; >350=7 puan verildi. SQM Ölçümleri için: <21.00=0; 21.01-21.20= 1; 21.21-21.40=2; 21.41-21.60=3; 21.61-21.80=4; >21.80=5 puan verildi. Nüfus sınıflaması için: (Nüfus arttıkça ışık kirliliğine katkı artacağı prensibi ile) >800=1; 800-700=2; 700-600=3; 600-500=4; 500-400=5; 400-300=6; 300-200=7; 200-100=8; <100=9 puan verildi. Yerleşim yerlerinin merkezlerinden ve merkeze 1'er km aralıklar ile 5km'ye kadar uzaklıklardan alınan topoğrafik yükseklikler ile en büyük yükseklik farkı olan değerler Güney ufkunun 3 farklı yönü (Güney-Batı, Güney ve Güney-Doğu) için puanlanarak ÇÖKDP olarak dikkate alındı (Tablo 1).

Tablo 1. Güney Ufku Yönelmesi İçerikli ÇÖKDP Uygulaması Puanlama Değerlendirmesi

Yerleşim Yeri	Güney-Batı			Güney			Güney-Doğu			Yük. Puan
	Merkez Yük. (m)	Uzaklık Puan	Yük. Farkı (m)	Yük. Puan	Uzaklık Puan	Yük. Farkı (m)	Yük. Puan	Uzaklık Puan	Yük. Farkı (m)	
Gülçayır	840	2	20	0	2	66	1	1	18	0
Koltan	928	1	47	0	1	102	2	1	39	0
Kınık	936	0	15	0	2	9	0	2	25	0
Buhara	824	2	74	1	2	97	1	1	58	1
Ballıhisar	940	1	21	0	0	16	0	0	28	0
Dinek	1208	0	0	0	0	0	0	1	200	3
Halilbağı	1032	1	170	3	1	183	3	0	59	1
Oğlakçı	809	1	94	1	2	118	2	1	78	1
Elcik	965	1	238	4	2	230	4	1	121	2
İstiklalbağı	1176	0	0	0	0	0	0	1	108	2
Hamamkarahisar	929	1	110	2	1	82	1	0	0	0
Dikmen	857	1	34	0	2	26	0	2	9	0
Yenikent	856	1	135	2	1	133	2	0	0	0
Ayvalı	852	2	271	5	2	195	3	0	156	3
Nasrettin Hoca	924	1	221	4	1	128	2	2	73	1
Aşağıkepen	936	0	0	0	0	10	0	2	49	0
Körhasan	854	2	22	0	1	45	0	1	7	0
Yunusemre	744	2	195	3	1	509	7	1	285	5
Dümrek	1134	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gümüşkonak	917	1	236	4	1	94	1	1	205	4
Kayakent	998	2	370	7	1	269	5	1	221	4

Yerleşim yerlerinin çevreleri 10 km yarıçaplı alan kapsamında çevresel etki açısından değerlendirildi. E90, E96, D200 çevre yolu, farklı nitelikte işlek ulaşım yolları, tren yolları, hava alanı, fabrika, maden sahaları, askeri bölgeler gibi alanlar negatif; göl, nehir, yüksek topoğrafya, kamp için uygun sahalar, tarihi, arkeolojik ve turistik bölgeler gibi alanlar ise pozitif katkı niteliğinde ÇÖKDP kapsamında "Çevresel Etki" katkısı 0-5 arası puanlanarak değerlendirildi. Sivrihisar merkez olmak üzere belirlenen 60km çaplı alan 5km'lik halka alanlar içinde kalan yerleşim yerleri merkeze uzaklık (km) olarak ÇÖKDP kapsamında katkısı 25-30=1, 20-25=2, 15-20=3, 10-15=4, 5-10=5 puan olarak belirlendi. Yerleşim yerlerinin nüfusları açısından ışık kirliliğine katkı potansiyeli için ÇÖKDP kapsamında katkısı, her 100 kişi için 1 puan artış

aralıkları ile 1-9 arası puanlandı. Yerleşim yerlerine 5km uzaklığa kadar belirlenen optimum topoğrafik yükseklik koordinatından alınan SQM ölçüm değerlerinin ÇÖKDP kapsamında katkısı için, 21.87-20.68 arası ölçüm değerleri sınıflandırılarak; >21.80=5, 21.79-21.60=4, 21.59-21.40=3, 21.39-21.20=2, 21.19-21.00=1 ve <21.00=0 olarak puanlandı. Elde edilen tüm puanlar ile Tablo 1’deki puanlamalar ÇÖKDP uygulaması çerçevesinde birleştirilerek, Güney ufkunun 3 yönü için sonuçlandırıldı (Tablo 2).

Tablo 2. Güney Ufku Yönelmesi İçerikli ÇÖKDP Uygulaması Puanlama Değerlendirmesi

Yerleşim Yeri	Çevresel Etki Puanı	Sivrihisar Uzaklık (km)	Sivrihisar Uzaklık Puanı	Nüfus	Nüfus Puanı	SQM Ölçümü	SQM Puanı	Güney Batı Yön Puanı	Güney Yön Puanı	Güney Doğu Yön Puanı
Gülçayır	0	25	2	61	9	21.82	5	18	19	17
Koltan	0	20	3	80	9	21.81	5	18	20	18
Kırık	0	10	5	94	9	21.86	5	19	21	21
Buhara	0	30	1	96	9	21.87	5	18	18	17
Ballıhisar	1	15	4	105	8	21.85	5	19	18	18
Dinek	0	15	4	109	8	21.76	4	16	16	20
Halilbağı	4	30	1	165	8	21.74	4	21	21	18
Oğlakçı	0	25	2	181	8	21.68	4	16	18	16
Elcik	0	15	4	182	8	21.55	3	20	21	18
İstiklalbağı	1	10	5	232	7	21.71	4	17	17	20
Hamamkarahisar	1	20	3	287	7	21.73	4	18	17	15
Dikmen	1	25	2	288	7	21.73	4	15	16	16
Yenikent	1	25	2	354	6	21.52	3	15	15	12
Ayvalı	1	30	1	368	6	21.68	4	19	17	15
Nasrettin Hoca	4	15	4	383	6	21.72	4	23	21	21
Aşağıkepen	2	10	5	398	6	21.66	4	17	17	19
Körhasan	4	30	1	506	4	21.57	3	14	13	13
Yunusemre	1	30	1	597	4	21.42	3	14	17	15
Dümrek	3	20	3	598	4	21.23	2	12	12	12
Gümüşkonak	2	30	1	822	1	20.81	0	9	6	9
Kayakent	2	30	1	849	1	20.68	0	13	10	9

ÇÖKDP uygulaması kapsamında değerlendirilen veriler (topoğrafik özellikler, nüfus, Sivrihisar merkezine uzaklık, SQM ölçüm sonucu, turistik, tarihi ve arkeolojik kapasite, Güney ufku gözlenebilirlik açısı, yapay ve doğal çevre bileşeni faktörleri) CBS platformunda analiz edilerek, Karanlık Gökyüzü Parkı potansiyeli olabilecek adaylar coğrafi özellik ve öznetelik bilgisi temelinde puanlandırılmıştır, Nasrettin Hoca yerleşim yeri en uygun alan olarak sonuçlandırılmıştır (Tablo 2).

3.2.3. Nasrettin Hoca Yerleşim Yeri Mikrozonlama Aşaması

Aday bölgeler arasında yapılan CBS Analizleri ve ÇÖKDP uygulaması sentezi ile yapılan puanlama sonucunda öncelikli sırada yer alan Nasrettin Hoca yerleşim bölgesinin turistik ve kültürel mirasının daha da detaylandırılması, sürdürülebilir turizm stratejilerinin geliştirilmesi ve yerel yönetimlerin bu değerleri koruma altına alması açısından önemli bir bilimsel temel oluşturacağı öngörüsü ile, bölge ve yakın çevresine yönelik mikrozonlama çalışması için CBS uygulama altyapısı hazırlanmıştır.

3.2.4. Nasrettin Hoca Bölgesi Turistik Kapasitesi

Yerleşim yeri merkezi ve yakın çevresinde bulunan ve efsanevi halk kahramanı Nasrettin Hoca'nın anısına ithafen oluşturulmuş simgesel yapılar, eski yerleşim alanlarına ait kalıntılar, tarihsel ve kültürel dokusunu yansıtan ve yaşatan geleneksel evler, türbe, camii, müze ve kültür merkezi gibi yapılar ve tarihi çeşmeler, bölgenin çok katmanlı tarihini ve kültürel zenginliğini ortaya koymakta ve ziyaretçilere zengin kültürel deneyimler sunmaktadır. Ayrıca ulaşım kolaylığı, turizm kültürü ve doğal zenginlikleri açısından da hem yerel, hem de uluslararası turistler için cazibe merkezi niteliği taşımaktadır (Şekil 4).



01. Nasrettin Hoca Anıt Parkı,
02. Nasrettin Hoca Köylü Evleri,
03. Nasrettin Hoca Camii,
04. Nasrettin Hoca Piknik Alanı,
05. Nasrettin Hoca Kültür Evi.

Şekil 4. Nasrettin Hoca Yerleşim Yeri Turistik Gezi Potansiyeli

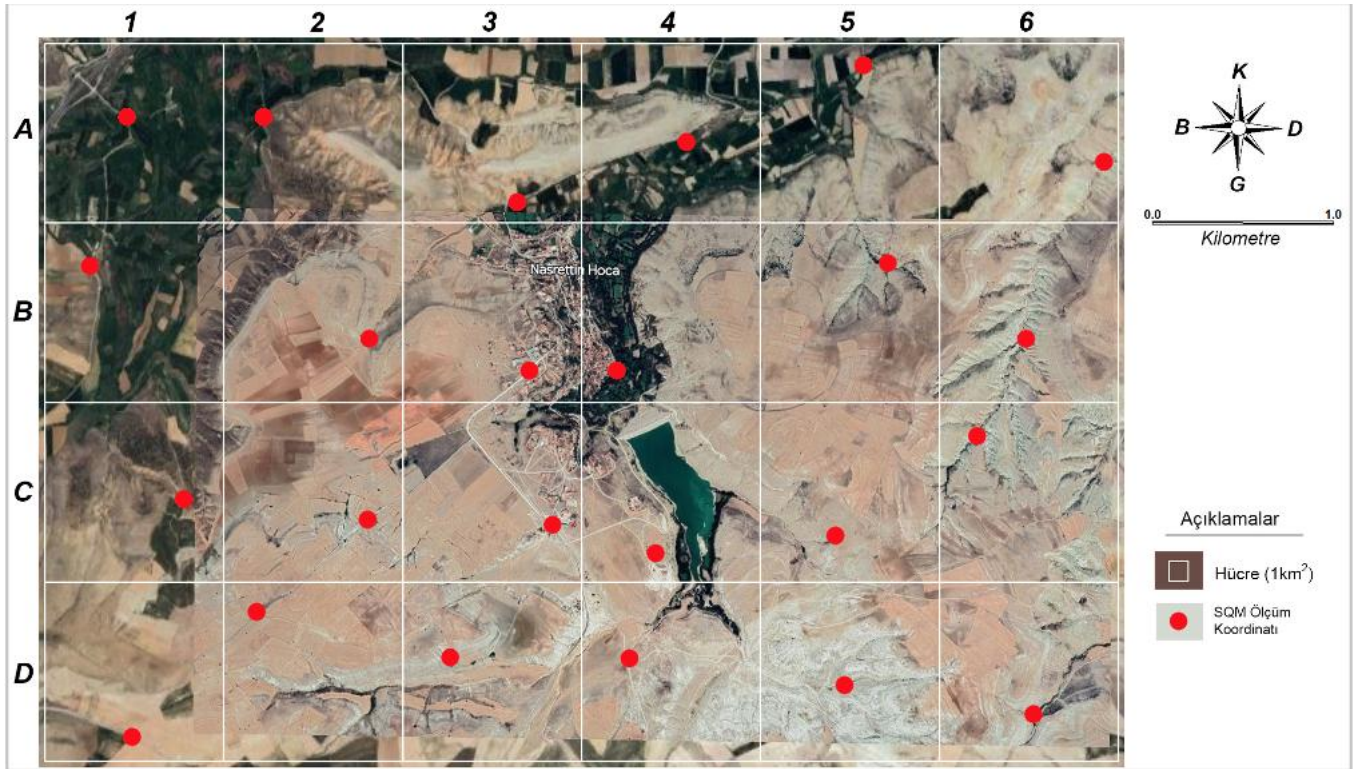
Nasrettin Hoca yerleşim alanı ve yakın çevresi, etkili turizm uygulamaları açısından temel gereklilikleri sağlamakta ve bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen ÇÖKDP uygulaması ve CBS analiz ve modellemeleri sonucunda 21 yerleşim alanı içinde de en uygun astronomi odaklı gökyüzü gözlem sahası potansiyeline de sahip olabileceği önerilmektedir. Bu aşamada, belirlenen bölge kapsamında rastgele seçilen herhangi bir yer AstroTurizm uygulamalarının verimi açısından risk taşır. Bu nedenle, daha detaylı analiz ve modelleme teknikleri kullanarak risklerin azaltılması, gökyüzü kalitesi ve mekansal uygunluk açısından optimizasyon yaklaşımları, gereklidir.

4. Mikrozonlama Çalışmaları

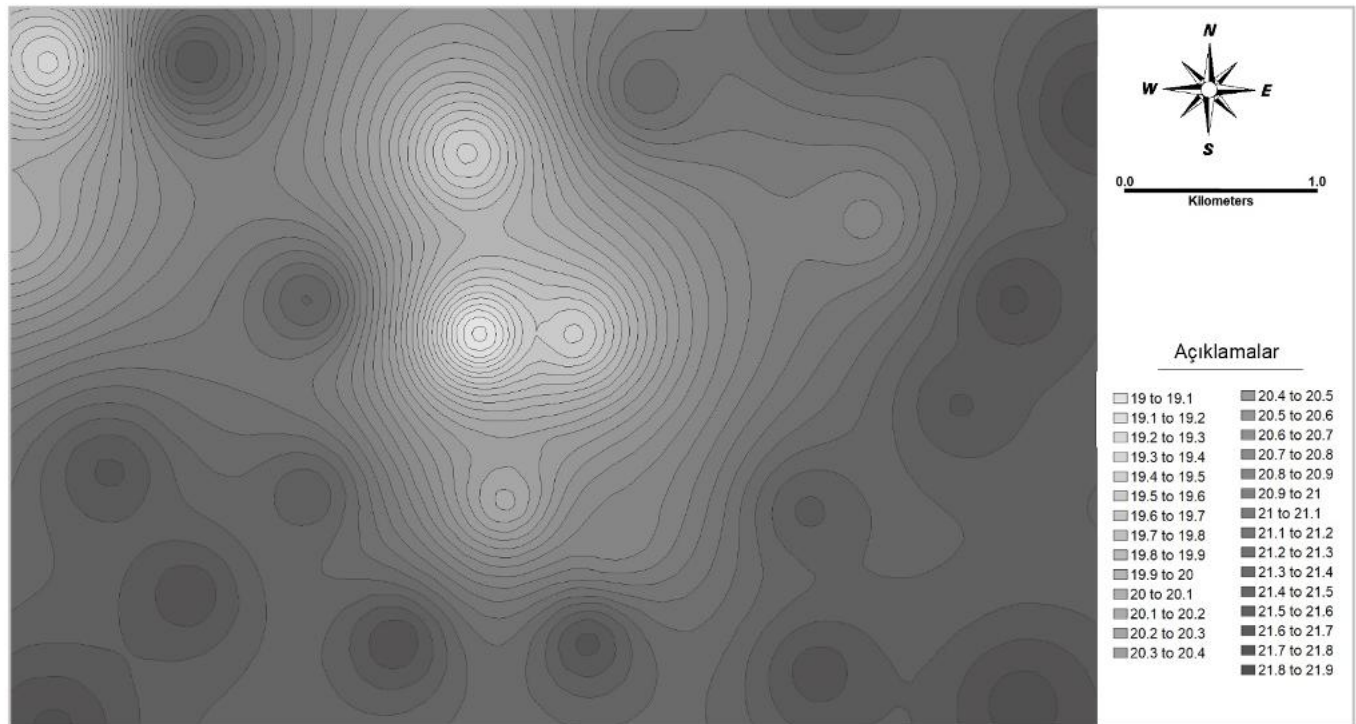
AstroTurizm uygulamalarına en uygun kamp sahası alternatiflerinin belirlenmesine destek niteliğinde bilimsel ipuçları sunabilmek için Mikrozonlama çalışması gerçekleştirilmiştir. Gökyüzü kalitesi ve mekansal uygunluk kriterlerinin optimizasyonu hedefli Mikrozonlama çalışması sonucunda belirlenen sahalarda, etkin AstroTurizm uygulamalarının daha verimli ve sağlıklı gerçekleştirilebileceği, yerel mirasın korunmasına, ekonomiye ek gelir sağlanmasına ve sürdürülebilir yerel ve küresel turizmin geliştirilmesine katkı sağlayacak potansiyel oluşturmasına destek niteliği taşıyacağı öngörülmektedir.

4.1. Işık Kirliliği Odaklı Gökyüzü Kalitesi Ölçümleri Dağılım Haritası

Dağılım haritası oluşturulma sürecinin ilk aşamasında, çalışma sahası 1km²'lik 24 alana bölünmüş ve her alanın gökyüzü kalitesini temsil edecek birer SQM ölçümü alınarak, CBS platformunun ilgili bileşenine aktarılmıştır (Şekil 5). Sayısal analiz ve modelleme çalışmalarına katman olması açısından, gerekli CBS platformu yapılandırılarak SQM ölçümlerinin sayısal değerlerinin konumsal ilişkilerini yansıtan dağılım haritası oluşturulmuş, 19.00-21.90 arası SQM ölçüm sonuçlarının dağılımını temsil eden eş potansiyel eğrileri değişim aralıkları (mekansal çözünürlüğü) 0.1 olarak uygulanmıştır (Şekil 6).



Şekil 5. Çalışma Alanı SQM Ölçüm Noktaları



Şekil 6. SQM Ölçümleri Dağılım Haritası

4.2. İstatistiksel Yaklaşımlar ile Mekansal Dağılım Analizi

Nasrettin Hoca yerleşim yerine yönelik, koordinatlı alınan SQM ölçüm değerlerinin konumsal ilişkileri açısından yapılan **temel istatistiksel analizler** sonucunda; Ortalama 21.11, Medyan 21.63 ve Varyans 0.86 olarak elde edilmiştir. 0.93 olarak belirlenen Standart Sapma değerinin nispeten yüksek çıkması, ölçümler arasında belirgin farklılık olduğunu göstermektedir. KDE (Kernel Density Estimation) değerlendirmesine göre, ölçüm değerleri 18.9 ile 21.9 arasında değişmekte olup, en yoğun bölge 21.5 civarında toplanmıştır. SQM ölçüm değerlerinin 21'in üzerinde olduğu bölgeler, karanlık gökyüzü olan alanları işaret ederken, 21.5 civarında bir yoğunluk görülmesi, bu bölgelerdeki ışık kirliliğinin düşük seviyelerde olduğunu göstermektedir. SQM değeri 20'nin altında olan bölgeler ve özellikle de 18.95 civarındaki düşük değerlere

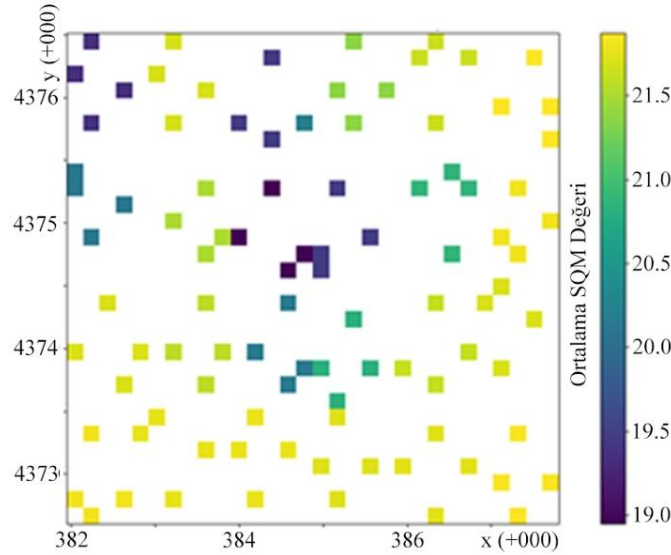
sahip bölgeler, ışık kirliliğinin yüksek olduğu ve yoğun yapay ışık kaynaklarının bulunduğu alanları işaret etmektedir. Oluşturulan mekânsal dağılım haritasında, SQM değerlerinin konumsal dağılımı incelendiğinde, belirli bölgelerde yoğunlaşan düşük SQM değerleri (18.95-19.5 aralığı), yerleşim merkezlerinde yoğun yapay aydınlatmanın, kırsal ve koruma alanlarına yakın bölgelerde ise daha düşük yapay aydınlatmanın etkili olduğunu göstermiştir. Yüksek SQM değerlerinin (21.5-21.8 aralığı) genellikle daha geniş bir alana yayılmış durumda olduğu tespit edilmiştir.

4.2.1. Mekânsal ve Çok Değişkenli Regresyon Analizi

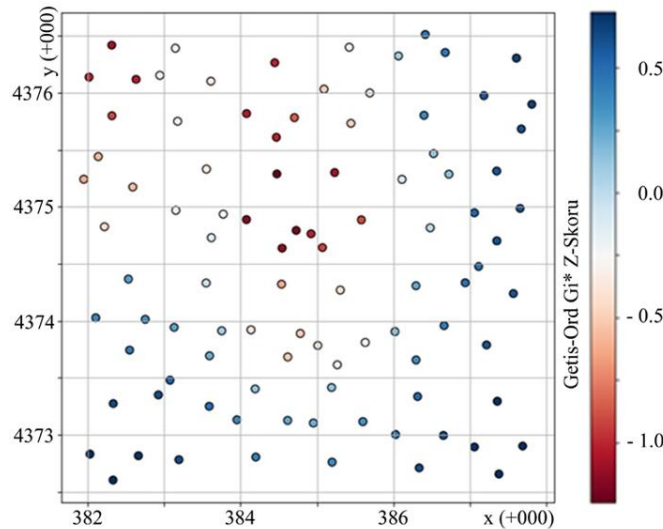
Işık kirliliğinin belirli noktalarda yoğunlaştığı ve mekânsal olarak kümelenmeler olduğu gözlenmiştir. Mekânsal ve çok değişkenli regresyon analizi ile, SQM değerlerini etkileyen mekânsal faktörler detaylandırılmış, p değeri 0.05'ten küçük olarak elde edilmiş ve analiz sonuçlarının anlamlı ve katsayının sıfırdan farklı olduğu %95 güvenle tespit edilmiştir.

4.2.2. Moran's I ve Getis-Ord Gi* Analizi

Işık kirliliği dağılımındaki farklı düzeylerin görsel olarak karşılaştırılabilmesi amacı ile, hesaplanan ortalama SQM değerleri, mekânsal olarak bölgelere ayrılmış kare hücreler şeklinde görselleştirilmiştir. Açık renkler daha yüksek SQM (daha karanlık, düşük ışık kirliliği) iken, koyu renkler daha düşük SQM (daha aydınlık, yüksek ışık kirliliği) değerlerine sahip olduğunu ortaya koymakta, 'Viridis' renk ölçeği referansı ile renk geçişleri ortalama SQM değerlerindeki değişimi işaret etmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Mekansal 2D Binned Isı Haritası

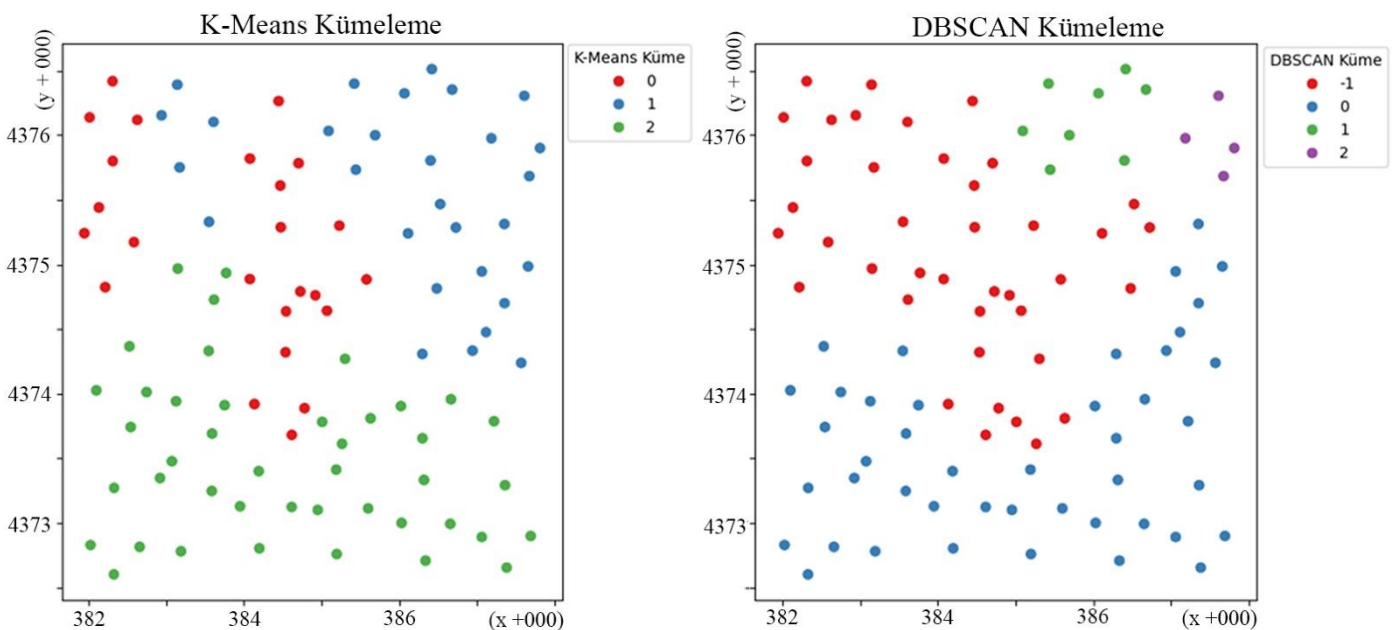


Şekil 8. Getis-Ord Gi* Mekansal Otokorelasyon Sonuçları

SQM değerlerine yönelik mekânsal otokorelasyon analizi için hem küresel (**Moran's I**) hem de yerel (**Getis-Ord Gi***) istatistik sonuçlarına göre; Moran's I: 0.3125, Expected I: -0.0105, Variance: 0.00072 ve Z-score: 12.04089 olarak elde edilmiştir. +1'e yakın değerlerin pozitif otokorelasyonu (benzer değerlerin kümelenmesi), -1'e yakın olması ise negatif otokorelasyonu (farklı değerlerin yan yana gelmesi) göstermektedir. $p < 0.05$ olarak elde edilmesine dayanarak, mekânsal otokorelasyonun anlamlı olduğu, verilerin mekânsal heterojenliği ve bölgesel etkilerin varlığı göz önünde bulundurularak, verilerin mekânsal olarak benzer değerler bazında kümelenmediği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen Moran's I değeri pozitif (0.3125) olup, bu durum benzer SQM değerlerinin mekânsal olarak kümelenme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu aşamada yapılan Getis-Ord Gi* istatistik uygulaması ile, her bir nokta için yerel mekânsal otokorelasyon elde edilerek mekânsal "sıcak nokta" ve "soğuk nokta" bölgeleri belirlenmiştir. Pozitif Z-skorları (kırmızı tonlarda) yüksek değer kümelerini, negatif Z-skorları (mavi tonlarda) ise düşük değer kümelerini temsil etmektedir (Şekil 8). Elde edilen dağılımda, mekânsal etkilerin yerel düzeyde incelenmesi sağlamıştır. Moran's I, tüm çalışma alanında tek bir özet otokorelasyon değeri sağlarken, Getis-Ord Gi* her bir gözlem noktasının yerel ölçekte değerlendirilmesine imkân vermiştir. Çalışma sahasına yönelik elde edilen Z-skoru ve p-değeri gerçekçi sonuçlar ortaya koymakta ve gözlemlenen otokorelasyonun rastgele dağılımdan sapma gösterdiğine işaret etmektedir. Elde edilen $|Z| > 1.96$ ve $p < 0.05$ sonuçları ile, belirgin kırmızı ve mavi bölgeler olarak görselleştirilmiş bölgelerdeki kümelenmenin rastlantısal olmadığı ve mekânsal düzenin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2.3. K-Means ve DBSCAN Analizi

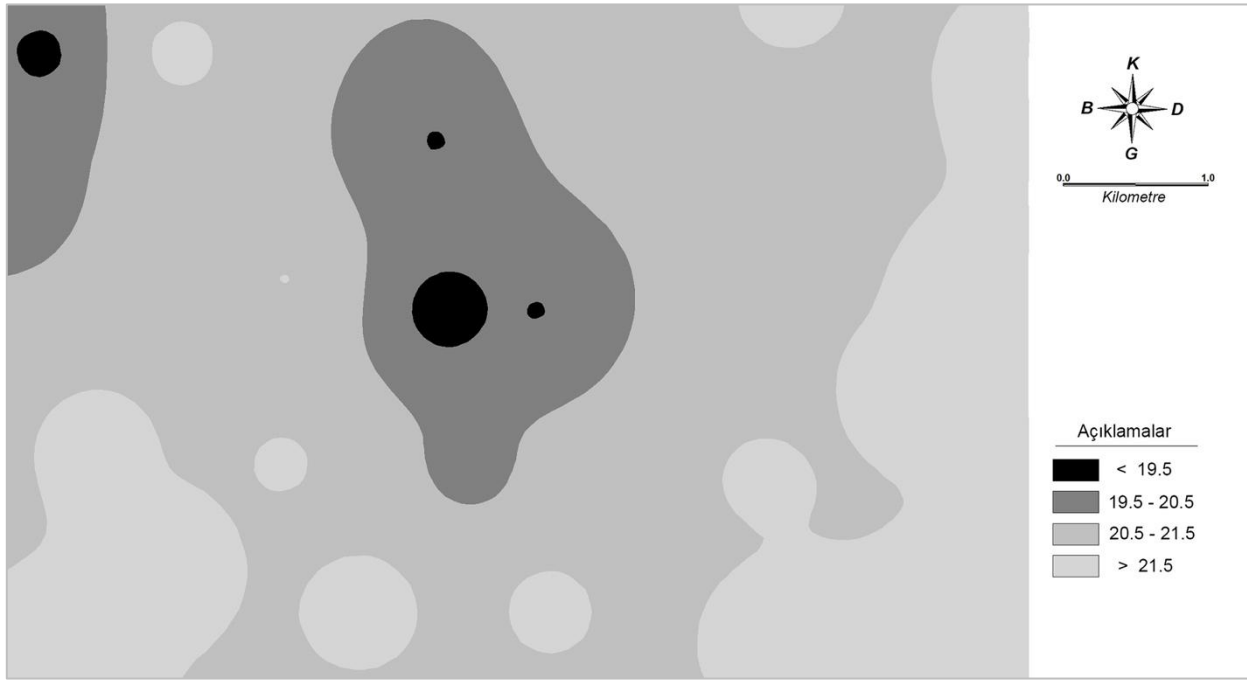
SQM ölçümlerinin mekânsal olarak dağılımına yönelik farklı bir analiz aşamasında, **K-Means** ve **DBSCAN** istatistiksel yaklaşımı da değerlendirilmiştir. Bu süreçte, tüm özelliklerin ortalaması 0 ve standart sapması 1 olacak şekilde normaliz edilmiş, her özelliğin kümeleme algoritması üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Sıcak nokta belirleme işleminde, K-Means sonuçları, belirli kümelerin varlığını net bir şekilde ortaya koyarken, DBSCAN'ın yoğunluk temelli yaklaşımı, veri setindeki anomalileri ve yerleşim noktalarını tespit etmede ek bilgi sağlamıştır. Her iki yöntem de birbirini tamamlayacak nitelikte olup, K-Means genel kümeler oluştururken, DBSCAN veri setindeki yoğunluk sapmalarını ve uç değerleri daha belirgin ortaya koymuş, veri setinde yoğunluk temelli kümeleme gerçekleştirilmiş, noktanın maksimum mesafe (eps-epsilon) ve minimum komşu sayısı (min_samples) kriterlerine göre veri noktaları kümelendirilmiştir. Belirlenen -1 etiketli noktalar, yerleşim yerlerinden kaynaklanan ışık kirliliğinin arttığı alanlar olarak değerlendirilmiştir. Grafiklerin x ve y eksenleri SQM ölçümlerinin sahadaki koordinatlarını göstermektedir (Şekil 9).



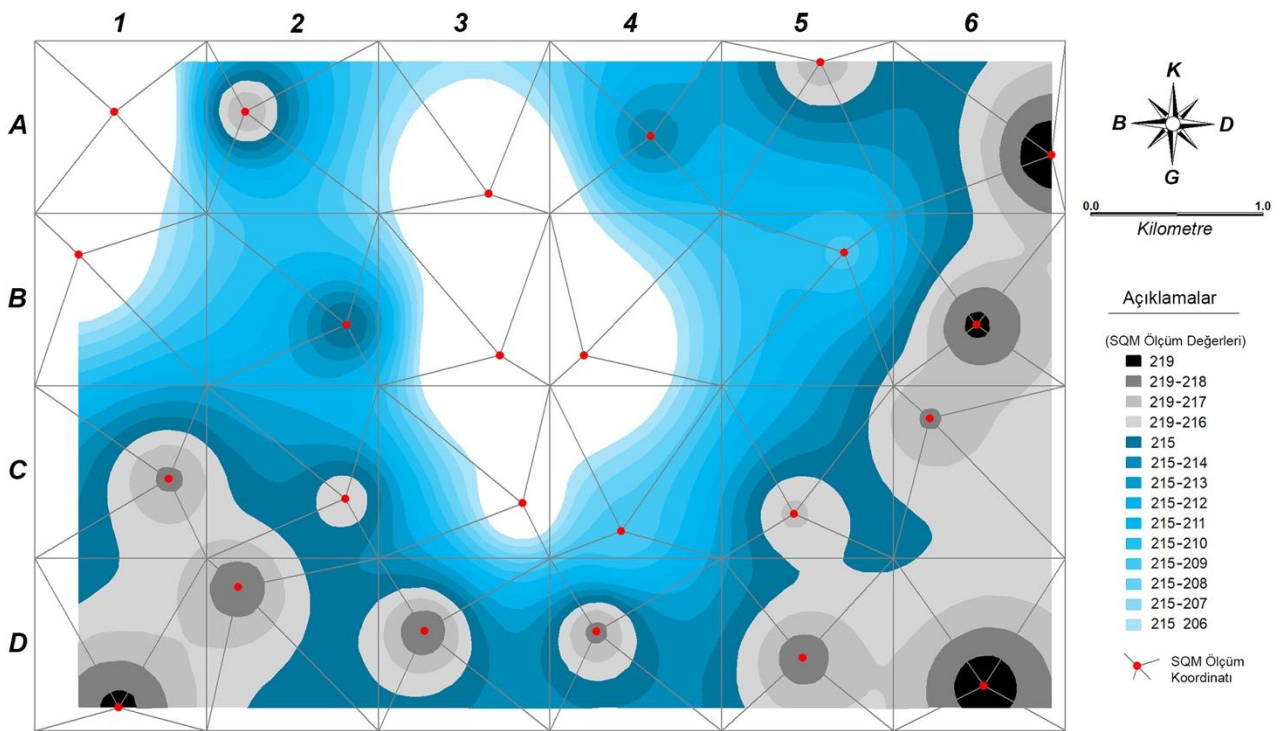
Şekil 9. Getis- K-Means ve DBSCAN Kümelendirme Analizleri

4.3. Mikrozonlama Uygulamasında Üçgenleme Aşaması

SQM ölçüm sonuçlarına göre oluşturulan 0.1 çözünürlüklü dağılım haritası yeniden kodlanarak puanlanmış ve 4 ışık kirliliği bölgesine sınıflandırılarak CBS platformunda sayısal harita katmanı oluşturulmuştur (Şekil 10).



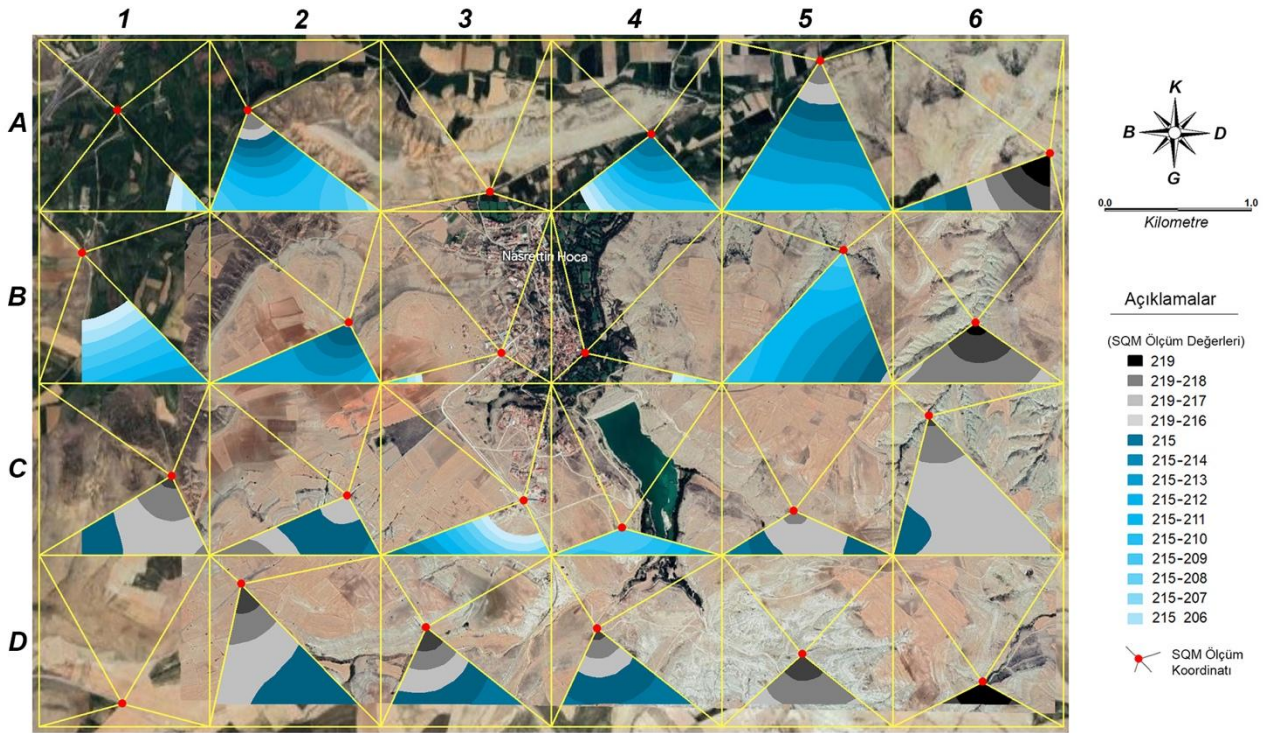
Şekil 10. SQM Değerlerinin Kirlilik Dağılım Sınıflarına Göre Grupları



Şekil 11. Mikrozonlama İşlemine Yönelik Yön Tanımlı Koordinat Noktaları

Belirlenen 20.5 değerinden küçük SQM ölçümleri içeren alanlar ışık kirliliği açısından yüksek sınıfta olduğundan, maskelenerek mikrozonlama uygulaması kapsamındaki analiz ve modelleme çalışmalarına dahil edilmemiştir. Odaklandığımız değerler (>20.5), **21.9-21.6** aralığında **1. derecede** (gri tonlu renklerde) temiz gökyüzü alanları olarak, **21.5-20.6** aralığında **2. Derecede** (mavi tonlu renklerde) ise ışık kirliliğinin nispeten kademeli olarak biraz daha fazla olduğu alanlar olarak sınıflandırılmış ve CBS platformunda katmanlanmış, kare alanlar yatayda sayı, dikeyde harf olacak şekilde adreslenerek referans verilebilmesi

sağlanmıştır. Her bir SQM ölçüm noktası merkez olmak üzere, kare alan içinde dört yöndeki kirliliğin kıyaslanarak yorumlanabilmesi için üçgensel bölgelere ayrılmıştır (Şekil 11). SQM ölçüm noktaları merkezinden itibaren her bir alan aşamalı olarak sahip olduğu ışık kirliliği karakteri değerine paralel olarak, en uygun alan en yüksek SQM ölçüm değeri olacak şekilde, mikrozonlanmış ve alanı hesaplanarak uydu görüntüsü üzerinden değerlendirilmiştir. Bu aşamada ölçüm koordinatlarına sahada güvenli şekilde ulaşılabilirliğine, SQM cihazının kalibre edilmiş olmasına ve ölçüm anında cihazın doğrudan ışığa maruz bırakılmamasına özen gösterilmiştir. Bir diğer önemli parametre olan sahanın topoğrafik ve doğal yapısının değerlendirilmesi kapsamında, ölçüm noktasında her yön için doğal doku bütünlüğünün korunması olmuştur. SQM ölçümü alınan koordinatlar seçilirken, mümkün olduğunca her bir yöndeki doğal dokunun bütünlük içermesine öncelik verilmiştir (Şekil 12).

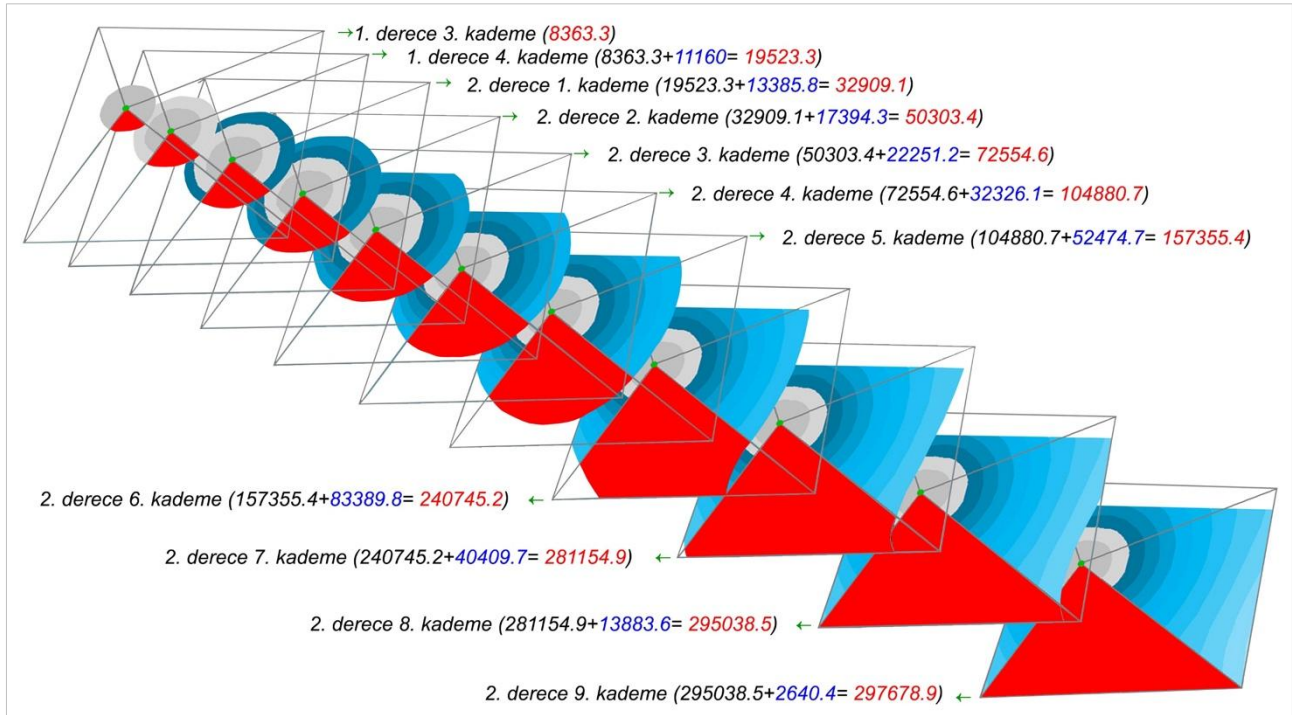


Şekil 12. Mikrozonlama İşlemine Yönelik Güney Yönü SQM Dağılımı

AstroTurizm hedefli kamp alanı aday sahası öneri parametresi belirlenirken, mekânsal alanların optimum kullanılabilirliği açısından en yüksek uygunluk derecesinden itibaren sıralama aşamasında, önceki alanlar ile toplanarak yeni alanların kodlanması (recodding) gerçekleştirilmiştir. SQM ölçümlerinin dağılım aralıkları referansı ile, mikrozonlanan bir **sonraki** alan, bir **önceki** alan ile toplanarak değer atanmıştır. Örneğin A2 kare alan içinde 1. dereceden 2, 2. dereceden 9 alt alan bulunmaktadır. Alt alanlar “kademe” şeklinde isimlendirilmiştir. (Şekil 13). Her bir kademe alan, SQM dağılım haritasındaki bir poligona karşılık gelmekte olup (Şekil 6), kare alan sınırları içinde kalan poligon alanları kadarı derecelendirilmiştir (Şekil 13).

AstroTurizm faaliyetleri farklı sayıda katılımcı ile gerçekleştirileceği için, planlamada kamp sahalarının m² olarak alan miktarlarının gözönünde bulundurulması, etkinliğin optimizasyonu açısından önceliklidir. Katılımcı sayısı arttıkça, AstroTurizm uygulamaları için gereken saha yüzölçümünün de artması gerektiği öngörüsü ile, aday alanlar da derecelendirilmiştir. 1 teleskop kullanımı için ortalama 2 katılımcı olarak 100m²lik alan gerektiği öngörüsü ile yapılacak organizasyon için 8000 m²lik alan 160 katılımcı için yeterli olacaktır. 1. derece 1. kademe alanlar öncelikli olarak, katılımcı sayısı değişkenliği esnekliğinde kullanıma sunulacak, diğer alanlar aşama aşama, AstroTurizm etkileşimleri amaçlı, taleplerin kişi sayısına göre değerlendirilebilecektir. Örneğin; A2 kare alanındaki ışık kirliliği 1. derece temiz gökyüzü alan sınıfının 3. kademesinde yer alıp, temiz gökyüzü alanı 8363.3 m² için yaklaşık 167 kişi olarak uygulanacaktır. Talep edilen kişi sayısı arttığında, 1. derece 4. kademe alanı uygulamaya alınacak ve 19523.3 m²lik alan 390

katılımcı için kullanıma sunulacaktır. Kamp alanları kullanımı temiz gökyüzü hedefli olacağından, 4. kademe gökyüzü temizliği niteliğine sahip alanın kullanımı, 3. kademe alanının kalitesini de içerdiği için artı bir avantaj olacak, AstroTurizm açısından optimum mikrozonlanmış alan, ikisinin toplamı şeklinde değerlendirilecektir. Bu prensip ile, her bir gökyüzü kalitesi azalış kademesinde bir önceki yüksek kaliteli alan, bir sonraki düşük kalitedeki alana eklenerek kümülatif toplam şeklinde kamp alanları sınıflandırılmıştır. Belirlenen toplam alanın tamamı her yönü kapsadığından, CBS destekli mikrozonlama uygulamasına sadece güney ufkü (kırmızı alanlar) dahil edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Mikrozonlama Uygulaması Sonucunda Elde Edilen Alternatif Alanların Sınıflandırma Örneği

AstroTurizm kapsamında yapılacak temiz gökyüzü gözlemleri kamp sahası için alt sınır 500m² (5 teleskop, 10 kişi) olarak öngörülmüş, mikrozonlama sonucu elde edilen daha küçük alanlar turist sayısı belirleme aşamasına dahil edilmemiştir. 1. ve 2. derece olarak sınıflandırılan ve 9 kademe olarak alt sınıfları oluşturulan mikrozon bölgelerinin alan miktarları ve bu alanlarda kamp yapacak katılımcıların sayısı her iki derecenin 4 kademesi için örnek olarak hesaplanmış, katılımcı sayısının ÇÖKDP uygulaması katkılı, CBS destekli Mikrozonlama analizi sonucunda, m² ölçeğinde büyüklüklerine göre sıralaması ile, D6, A6 ve B6 hücrelerindeki 3 alan, temiz gökyüzü öncelikli alanları olarak belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Işık Kirliliği 21.9 – 21.6^m Sınırlarındaki Mikrozonlar ve Alan (m²) Değerleri

	21.9	21.9-21.8	21.9-21.7	21.9-21.6		21.9	21.9-21.8	21.9-21.7	21.9-21.6
A2			8363.3	19523.3	C2			19419.0	68771.5
A5			9411.1	33122.2	C5			6899.0	85685.7
A6	20191.9	59014.8	94247.6	119281.3	C6	1885.5	41749.1	361831.0	
B2				534.2	D2	13784.9	52587.3	181575.2	
B5				2856.2	D3	11998.4	38383.8	87148.3	
B6	5122.1	51336.2	162322.8	175773.6	D4	2835.5	19716.0	52248.2	
C1		3882.0	50386.5	166467.9	D5		20315.4	87783.6	99124.3
					D6	26430.3	30797.8	-	-

Tablo 4. Işık Kirliliği 21.5 – 20.6^m Sınırlarındaki Mikrozonlar ve Alan (km²) Değerleri

	21.5	21.5-21.4	21.5-21.3	21.5-21.2	21.5-21.1	21.5-21.0	21.5-20.9	21.5-20.8	21.5-20.7	21.5-20.6
A1								3233.0	13703.3	28249.4
A2	32909.1	50303.4	72554.6	104880.7	157355.4	240745.2	281154.9	295038.5	297678.9	
A3									19.5	639.3
A4		13651.9	37357.0	66702.9	109959.2	155045.9	176341.8	190927.6	201817.3	211006.3

Tablo 4'ün devamı										
A5	64659.3	111388	184869.9	305752	437941.3	442586.5	-	-	-	-
A6	138656.9	150470.7	155828	156562.5	-	-	-	-	-	-
B1				29264.1	68627.7	112549.5	148754.0	179775.8	205130.2	226775.4
B2	15553.6	37863.3	84079	173097.4	178334.4	178655.7	-	-	-	-
B3						301.8	1389.4	3033.8	5126.4	7393.5
B4							475.6	2456.5	5501.7	9434.0
B5	22164.7	60368.3	121447.8	211998.8	333237.3	382929.9	390013.1	-	-	-
C1	212465.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C2	168295	174182.7	-	-	-	-	-	-	-	-
C3		3497.4	13284.5	24121.8	35343.5	47250.8	60473.6	81432.0	103139.3	121089.1
C4			708.2	4942.0	13351.0	33471.3	79809.4	-	-	-
C5	121545.4	129215.8	130000.2	-	-	-	-	-	-	-
C6	405329	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D2	294122.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D3	149585.9	173511.8	-	-	-	-	-	-	-	-
D4	134285.3	170004.5	-	-	-	-	-	-	-	-

AstroTurizm etkinlikleri kapsamında gökyüzü gözlemi yapacak turistlerin sayısı, örnek olması açısından, hem 1. hem de 2. derece için ilk 4 kademesi optimize edilmiş (Tablo 5), talepler doğrultusunda katılımcı sayısı arttıkça tahsis edilecek alanlar, öncelikle “4 kademe alanı ile birlikte 1. derece (Tablo 3)” ve “9 kademe alanı ile birlikte 2. derece (Tablo 4)” mikrozon bölgeleri, “turist sayısına uygun olarak (Tablo 5)” belirlenen alanların kullanıma sunulmasına yönelik bir öngörü modeli oluşturulmuştur.

Tablo 5. Her Bir Derece Bölgesindeki 4 Kademe Alanlar İçin Öngörülen Turist Sayıları

	1. Derece				2. Derece			
	1. kademe	2. kademe	3. kademe	4. kademe	1. kademe	2. kademe	3. kademe	4. kademe
A2	-	-	167	390	658	1006	1451	2097
A4	-	-	-	-	-	273	747	1334
A5	-	-	188	662	1293	2227	3697	6115
A6	403	1180	1884	2385	2773	3009	3116	3131
B1	-	-	-	-	-	-	-	585
B2	-	-	-	10	311	757	1681	3461
B5	-	-	-	57	443	1207	2428	4239
B6	102	1026	3246	3515	-	-	-	-
C1	-	77	1007	3329	4249	-	-	-
C2	-	-	388	1375	3365	3483	-	-
C3	-	-	-	-	-	69	265	482
C4	-	-	-	-	-	-	14	98
C5	-	-	137	1713	2430	2584	2600	-
C6	-	37	834	7236	8106	-	-	-
D2	-	275	1051	3631	5882	-	-	-
D3	-	239	767	1742	2991	3470	-	-
D4	-	56.71	394.32	1044	2685	3400	-	-
D5	-	406	1755	1982	-	-	-	-
D6	528	615	-	-	-	-	-	-

5. Sonuç ve Öneriler

Gökyüzü gözlemleri etkinliklerinin, geleneksel turizm faaliyetleri kapsamına alınması avantajlarının ve bu hedef ekseninde önerilen saha ve laboratuvar analiz ve modelleme sonuçlarının, turistik etkileşimlere katacağı pozitif artı değer bilimsel sonuçlar desteği ile somut olarak ortaya koyulması, bu çalışmanın omurgasını oluşturmuştur. Geleneksel Turistik etkileşim içeriğine sahip Sivrihisar ilçesini merkez alan 60 km çapındaki alan kapsamında alternatif 21 yerleşim yerinin turizm açısından belirlenen öznelikleri ÇÖKDP değerlendirmesi ile derecelendirilmiş ve CBS platformunda yapılandırılarak analiz ve modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Nasrettin Hoca yerleşim alanı ve yakın çevresinin, etkili turizm uygulamaları açısından temel gereklilikleri sağlamakta olduğu belirlenmiş ve gerçekleştirilen ÇÖKDP

destekli CBS analiz ve modellemeleri sonucunda aday yerleşim yerleri içinde en uygun astronomi odaklı gökyüzü gözlem sahası potansiyeline sahip olabileceği önerilmiştir.

Belirlenen saha kapsamında, kamp alanı olarak rastgele seçilen herhangi bir bölge, gökyüzü gözleminin verimi açısından risk taşır. Bu nedenle, çalışmamızın son aşamasında, daha detaylı analiz ve modelleme teknikleri kullanarak risklerin azaltılmasına yönelik gökyüzü kalitesi ve mekânsal uygunluk kriterlerinin optimizasyon yaklaşımları geliştirilmiştir. Nasrettin Hoca yerleşim bölgesinin turistik ve kültürel mirasının daha da detaylandırılmasına ek destek sağlanmasına katkı açısından etkin gökyüzü gözlemlerinin pozitif katkısı konusunda farkındalık oluşturulmasının, sürdürülebilir turizm stratejilerinin geliştirilmesi ve yerel yönetimlerin bu değerleri koruma altına alması açısından önemli bir bilimsel temel oluşturacağı öngörüsü ile, bölge ve yakın çevresine yönelik mikrozonlama çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte ilgili ÇÖKDP destekli CBS analiz ve modelleme uygulamaları sonucunda 2 farklı derecede AstroTurizm etkileşimlerine bileşen olabilecek gökyüzü gözlemi kamp alanı belirlenmiştir. Işık kirliliğinden nispeten daha az etkilenen 1. derece alanlar 4 kademe olarak, 2. derece alanlar ise 9 kademe olarak sınıflandırılmıştır. AstroTurizm etkileşimlerine katılacak turist sayısına göre alanların boyutlarının optimizasyonu ile elde edilen alanlar ve bu alanlardaki katılımcı sayıları tespit edilmiştir. Mikrozonlama çalışmalarının sonucunda 3 alan AstroTurizm etkileşimlerinde gökyüzü gözlemi için en uygun 1. derece kalitesinde alanlar olarak belirlenmiştir. Mikrozonlama uygulaması sonucunda belirlenen AstroTurizm etkinliklerine katılacak turist sayısına uygun optimize edilen alanların önceden tespit edilmiş olması; gerekli altyapı odaklı teknik destek, mekânsal yeterlik, hizmet yetkinliği, ulaşım, konaklama, medikal ve güvenlik önlemleri gibi organizasyon detaylarının her aşamasının daha sağlıklı ve problemsiz gerçekleştirilmesinde anahtar rol oynayacağı önerilmektedir. Gökyüzü kalitesi ve mekânsal uygunluk kriterlerinin optimizasyonu hedefli olarak AstroTurizm uygulamalarına en uygun kamp sahası alternatiflerinin belirlenmesine destek niteliğinde bilimsel ipuçları sunabilmek için yapılan Mikrozonlama çalışmasının, keyifli gökyüzü gözlemlerinin daha verimli ve sağlıklı gerçekleştirilebileceği, geleneksel turizme, yerel mirasın korunmasına, ekonomiye ek gelir sağlanmasına ve sürdürülebilir yerel ve küresel turizmin geliştirilmesine katkı sağlayacak potansiyel oluşturmasına destek niteliği taşıyacağı düşünülmektedir.

Teşekkür ve Bilgi Notu

Destek Bilgisi: Bu makale, Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı'nda tamamlanan Doktora tezinden üretilmiştir.

Etik Onayı: Makalede ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu yazarlar beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde **GSI Journals Serie A: Advancements in Tourism Recreation and Sports Sciences** Dergisinin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk makale yazarlarına aittir.

Etik Kurul Onayı: Bu çalışma, TR Dizin etik kurul izni gerektiren çalışma grubunda yer almamaktadır. alınmıştır.

Çıkar Çatışması: Makalede herhangi bir çıkar çatışması ya da kazancı yoktur.

Araştırmacıların Katkı Oranı: Çalışma, iki yazarın katkısı ile hazırlanmıştır. Katkı oranları; 1. Yazar = % 60, 2. Yazar = % 40.

Kaynaklar

Avcu, T. (2021). Kentlerin aydınlatılması bağlamında ışık kirliliği sorunsalı ve İzmir Büyükşehir ve ilçe belediyelerinin yaklaşımları. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(2), 72–80. <https://doi.org/10.47130/bitlissos.966378>

- Blue Flag Global. (2024). Economic growth, tourism and sustainable management through the Blue Flag programme. In M. Prats & F. Merino (Eds.), *Blue Flag Global*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003323570>
- Dark-Sky Switzerland. (2022). *Light pollution in Swiss tourism destinations*. Retrieved January 9, 2026, from <https://www.darksky.ch/dss/de/>
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K., Portnov, B. A., Rybnikova, N. A., & Furgoni, R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6), e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- INNS Pub. (2021). *Light pollution: A brief overview*. Retrieved January 9, 2026, from <https://innspub.net/light-pollution-a-brief-overview/>
- Kültür ve Turizm Bakanlığı Yatırım ve İşletmeler Genel Müdürlüğü. (n.d.). *Mavi bayrak hakkında genel bilgiler*. Retrieved January 9, 2026, from <https://yigm.ktb.gov.tr/TR-11570/mavi-bayrak-hakkinda-genel-bilgiler.html>
- Kültür ve Turizm Bakanlığı Yatırım ve İşletmeler Genel Müdürlüğü. (n.d.). *Plajlar için mavi bayrak kriterleri*. Retrieved January 9, 2026, from <https://yigm.ktb.gov.tr/TR-11572/plajlar-icin--mavi-bayrak-kriterleri.html>
- Kunz, M. (2021). Cartographic visualisation of light pollution measurements. *Cities*, 8(4), 254. <https://doi.org/10.3390/2413-8851/8/4/254>
- Kyba, C. C. M., Kuester, T., de Miguel, A. S., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Elvidge, C. D., Gaston, K. J., & Guanter, L. (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 3(11), e1701528. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>
- Mander, S., Alam, F., Lovreglio, R., & Ooi, M. (2023). How to measure light pollution – A systematic review of methods and applications. *Sustainable Cities and Society*, 92, Article 104465. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104465>
- Mu, H., Li, X., Du, X., Huang, J., Su, W., Hu, T., Wen, Y., Yin, P., Han, Y., & Xue, F. (2021). Evaluation of light pollution in global protected areas from 1992 to 2018. *Remote Sensing*, 13(9), 1849. <https://doi.org/10.3390/rs13091849>
- Öksüz, B., Demir, Ş. Ş., & Özdemir, N. (2025). Astro-tourism and its role in environmental conservation and tourism development. *Journal of Tourism Theory and Research*, 11(1), 17–26. <https://doi.org/10.24288/jttr.1631484>
- Puschnig, J., Wallner, S., Schwope, A., & Näslund, M. (2023). Long-term trends of light pollution assessed from SQM measurements and an empirical atmospheric model. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 518(3), 4449–4465. Retrieved January 9, 2026, from <https://academic.oup.com/mnras/article/518/3/4449/6907523>
- Yılmaz, A. (2024). Işık kirliliği tespitinde uzay ve yer ölçüm yöntemleri ve Türkiye perspektifinde sistematik inceleme. *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 5(2), 22–27. <https://doi.org/10.55064/tjaa.1449416>
- Zhao, M., Zhou, Y., Li, X., Cao, W., He, C., Yu, B., Li, X., Elvidge, C. D., Cheng, W., & Zhou, C. (2019). Applications of satellite remote sensing of nighttime light observations: Advances, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*, 11(17), 1971. <https://doi.org/10.3390/rs11171971>



All articles published in this journal are licensed under the Creative Commons Attribution–NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0). This license permits the copying, distribution, and reuse of the published articles (the work) for non-commercial purposes, provided that appropriate credit is given. Commercial use is subject to permission. Authors retain the copyright of their published articles and grant the journal a non-exclusive right to publish and distribute the work.