

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**IŞIK KİRLİLİĞİNİN UYDU VE YER TABANLI VERİLERLE ANALİZİ:
ANTALYA ÖLÇEĞİ**

Farhan Rafique SHAH

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİM 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**İŞIK KİRLİLİĞİNİN UYDU VE YER TABANLI VERİLERLE ANALİZİ:
ANTALYA ÖLÇEĞİ**

Farhan Rafique SHAH

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİM 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞİK KİRLİLİĞİNİN UYDU VE YER TABANLI VERİLERLE ANALİZİ:
ANTALYA ÖLÇEĞİ

Farhan Rafique SHAH
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİM 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

IŞIK KİRLİLİĞİNİN UYDU VE YER TABANLI VERİLERLE ANALİZİ:
ANTALYA ÖLÇEĞİ

Farhan Rafique SHAH
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 14/10/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Çiğdem MORAL (Danışman)

Doç. Dr. Güray DOĞAN

Doç. Dr. Sinan Kaan YERLİ

ÖZET

IŞIK KİRLİLİĞİNİN UYDU VE YER TABANLI VERİLERLE ANALİZİ: ANTALYA ÖLÇEĞİ

Farhan Rafique SHAH

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Çiğdem MORAL

Ekim 2024; 87 sayfa

Bu tez, ışık emisyonlarının ve etkilerinin kapsamlı bir değerlendirmesini sunmak için hem uydu hem de yer tabanlı verileri kullanarak Antalya, Türkiye'deki ışık kirliliğini araştırmaktadır. Araştırma, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki Gökyüzü Kalitesi Ölçer (SQM) ve NASA'nın VIIRS Black Marble veri setlerinden elde edilen ölçümleri birleştirerek bölge için ışık kirliliği çalışmalarındaki önemli bir boşluğu ele almaktadır. Çalışma, 2012'den 2023'e kadar ışık kirliliği eğilimlerini ölçmeyi, yapay aydınlatmadan kaynaklanan enerji kaybını değerlendirmeyi ve PM_{2,5} konsantrasyonları ile ışık parlaklığı arasındaki korelasyonları incelemeyi amaçlamaktadır. Yöntemler, doğruluk ve karşılaştırılabilirliği sağlamak için özel aylık ve yıllık kompozitler içermekte, bulut örtüsünü ve piksel kalitesini yönetmek için dikkatli bir ön işleme tabi tutularak hassas parlaklık değerleri elde edilmektedir. Bulgular, Antalya'nın ilçelerinde, özellikle de kentsel gelişmelerin çevresinde ışık parlaklığında önemli bir artış olduğunu ve ışık emisyonlarının on yıl boyunca önemli bir düşüş göstermediğini ortaya koymaktadır. Işık kirliliği nedeniyle uzaya giden toplam enerji kaybının 2023 yılında Türkiye'nin toplam enerji tüketiminin %0,256'sına denk geleceği tahmin edilmektedir. Korelasyon analizi, ışık parlaklığı ölçümleri ile PM_{2,5} konsantrasyonları arasında önemli bir bağlantı olmadığını ortaya koymaktadır; bu da partikül maddenin ışık kirliliği üzerindeki etkisinin bölgedeki diğer faktörler tarafından sınırlandırılmış veya bastırılmış olabileceğini düşündürmektedir. Bu tez, Antalya'nın ışık kirliliği dinamikleri hakkında çevre politikası ve kentsel planlama için değerli temel bilgiler sunmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, bu tezde kabul edilen sınırlamaları ele alırken, genişletilmiş yer tabanlı izleme ve biyolojik veya kentsel etkilere odaklanmalıdır.

ANAHTAR KELİMELEER: Coğrafi Bilgi Sistemi, Gökyüzü Kalite Ölçer, Hava kirliliği, Işık kirliliği, NASA Black Marble

JÜRİ: Doç. Dr. Çiğdem MORAL

Doç. Dr. Güray DOĞAN

Doç. Dr. Sinan Kaan YERLİ

ABSTRACT

ANALYSIS OF LIGHT POLLUTION USING SATELLITE AND GROUND-BASED DATA: THE MEASUREMENT OF ANTALYA

Farhan Rafique SHAH

MSc Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Associate Professor Çiğdem MORAL

October 2024; 87 pages

This thesis investigates light pollution in Antalya, Turkey, employing both satellite and ground-based data to offer a comprehensive assessment of light emissions and their implications. The research addresses a significant gap in light pollution studies for the region, combining measurements from the Sky Quality Meter (SQM) at TÜBİTAK National Observatory and NASA's VIIRS Black Marble datasets. The study aims to quantify light pollution trends from 2012 to 2023, assess energy loss due to artificial lighting, and examine correlations between PM_{2.5} concentrations and light radiance. Methods include custom monthly and annual composites to ensure accuracy and comparability, and careful pre-processing to manage cloud cover and pixel quality, resulting in precise radiance values. Findings reveal a substantial increase in light radiance across Antalya's districts, particularly around urban developments, with light emissions showing no significant declines across the decade. Total energy loss into space due to light pollution is estimated, amounting to 0.256% of Turkey's total energy consumption in 2023. Correlation analysis reveals no significant link between light radiance measurements and PM_{2.5} concentrations, suggesting that particulate matter's impact on light pollution may be limited or overwhelmed by other factors in the region. This thesis provides foundational insights into Antalya's light pollution dynamics, valuable for environmental policy and urban planning. Future research should focus on expanded ground-based monitoring and biological or urban impacts, while addressing the limitations acknowledged in this thesis.

KEYWORDS: Air pollution, Geographic Information System, Light pollution, NASA Black Marble, Sky Quality Meter

COMMITTEE: Assoc. Prof. Çiğdem MORAL

Assoc. Prof. Güray DOĞAN

Assoc. Prof. Sinan Kaan YERLİ

ÖNSÖZ

Bu tezi yazmak zorlu ve ödüllendirici bir deneyim oldu ve birçok kişinin rehberliği ve desteği olmadan tamamlayamazdım.

Her şeyden önce, tez danışmanım Doç. Dr. Çiğdem MORAL'a teşekkür etmek istiyorum. Kendisinin paha biçilmez bilgisi, içgörülü tavsiyeleri ve bu konuya olan tutkusu tüm süreç boyunca bana rehberlik etti. Bu benim için yeni bir konu olmasına rağmen, onun coşkusu ve teşviki bu konuyu güvenle kucaklamama yardımcı oldu. Ayrıca jüri üyeleri Doç. Dr. Güray DOĞAN ve Sinan Kaan YERLİ'ye tezimi geliştirmeme yardımcı olan yorumları için teşekkür ediyorum.

Ayrıca aileme ve arkadaşlarıma da sarsılmaz destekleri ve cesaretlendirmeleri için derinden minnettarım. Özellikle zor zamanlarda bana olan inançları bu başarının temelini oluşturdu ve onlar olmadan bu tezi tamamlayabilir miydim, gerçekten bilmiyorum.

Işık kirliliği konusundaki kitabıyla ilgimi çeken ve araştırma yolculuğumun yönünü şekillendiren Bülent ASLAN'a teşekkürlerimi sunmak isterim. Yardımcı açıklamalarının yanı sıra gökyüzü kalitesi ölçer verileriyle yaptığı katkı, çalışmamda çok önemli bir rol oynadı.

Ayrıca, beni TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi ile buluşturduğu ve bu tezdeki analizler için çok değerli olan SQM istasyon verilerini sağladığı için Tuncay ÖZİŞİK'a teşekkür etmek isterim.

Son olarak, Prof. Dr. Reynier PELETIER'e teşekkür etmek istiyorum. Hollanda'daki “Keep It Dark” projesinde kendisiyle birlikte çalışmam, temel bilgi ve deneyim kazanmamı sağladı ve bunların çoğu doğrudan bu teze uygulandı.

Bu yolculuk boyunca bana destek olan herkese içtenlikle minnettarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Işık.....	1
1.2 Işık Kirliliği	2
1.3 Problem Tanımı.....	3
1.4 Araştırma Amaçları	4
1.5 Araştırmanın Önemi	4
1.5 Kapsam Ve Sınırlılıklar.....	4
2. KAYNAK TARAMASI	6
2.1 Işık Kirliliğinin Etkileri	6
2.2 Işık Kirliliğinin Akdeniz Ekosistemleri Üzerindeki Etkileri.....	9
2.2.1 Mağara ekosistemleri.....	9
2.2.2 Kuş göç modelleri.....	9
2.2.3 Amfibi üremesi.....	10
2.2.4 Deniz kaplumbağasının yuvalaması	10
2.2.5 Sulak alan ekosistemi	10
2.3 Işık Kirliliği Ve Hava Kirliliği Arasındaki İlişki	10

2.4 Kentsel Alanlardaki Işık Kirliliği	11
2.5 EUMETSAT	13
2.6 NASA'nın Black Marble Veri Seti	14
2.7 Yer Tabanlı Işık İzleme Ekipmanları	17
2.7.1 Gökyüzü Kalite Ölçer	18
2.7.2 Diğer ölçüm cihazları	20
2.8 Önceki Çalışmalar	21
3. MATERYAL VE METOT	24
3.1 Çalışma Bölgesi	24
3.1.1 Antalya'nın ilçeleri	25
3.2 Veri Toplama	26
3.3 Veri İşleme Ve Analizi	29
3.3.1 SQM verisi işleme ve analizi	29
3.3.2 Black Marble verisi işleme ve analizi	30
4. BULGULAR	38
4.1 Bakırlıtepe İçin SQM Verilerine Göre Işık Seviyeleri	38
4.2 Özel Aylık Kompozitler: Günlük VNP46A2 Ürünü İle Doğrulama	43
4.3 Işık Emisyonlarındaki Yüzde Artış (2019-2023)	46
4.3.1 Antalya Havalimanı, Muratpaşa	47
4.3.2 Antalya Şehir Hastanesi, Kepez	49
4.3.3 Çakallık, Serik	51
4.4 Uzun Vadeli Trendlerin Sayısallaştırılması (2012-2023)	53
4.4.1 Ortalama ve 12 ilçe için toplam parlaklık	55

4.4.2 Dört merkez ilçe için ortalama ve toplam parlaklık.....	58
4.5 2020'de Aylık Trendler.....	59
4.6 Uzaya Toplam Enerji Kaybının Tahmin Edilmesi.....	61
4.7 Işık Parlaklığı Ve PM2,5 Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon Analizi	63
5. TARTIŞMA.....	70
5.1 Gökyüzü Kalite Ölçüm Cihazı (SQM) Verilerinin Değerlendirilmesi	70
5.2 Özel Kompozitler Ve İşleme.....	71
5.3 Yüzde Artış (2019-2023) Ve Pilot Çalışmalar	71
5.4 Uzun Vadeli Trend Analizi (2012-2023)	72
5.5 2020'de Aylık Trendler: COVID-19 Etkileri Ve SQM Karşılaştırması	73
5.6 Uzaya Toplam Enerji Kaybının Tahmini	73
5.7 PM2,5 Konsantrasyonları ve Işık Parlaklığı Arasındaki Korelasyon	74
5.8 Sonuçların Literatürle Karşılaştırılması	74
6. SONUÇLAR.....	76
7. KAYNAKLAR.....	78
8. EKLER	84
EK-1.	84
EK-2.	85
EK-3.	86
EK-4.	87
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Işık Kirliliğinin Uydu ve Yer Tabanlı Verilerle Analizi: Antalya Ölçeği” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

14/10/2024

Farhan Rafique SHAH



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

BRDF	: Bidirectional Reflectance Distribution Function (İki Yönlü Yansıma Dağılım Fonksiyonu)
COVID-19	: Coronavirus Disease 2019 (Koronavirüs Hastalığı 2019)
CLM	: Cloud Mask (Bulut Maskesi)
CSV	: Comma-Separated Values (Virgülle Ayrılmış Değerler)
CV	: Coefficient of Variation (Varyasyon Katsayısı)
DMPS	: Defense Meteorological Satellite (Savunma Meteoroloji Uydusu)
DNB	: Day/Night Band (Gündüz/Gece Bandı)
EUMETSAT	: European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (Avrupa Meteorolojik Uydu İşletme Kuruluşu)
FWHM	: Full width at half maximum (yarı yükseklikteki tam genişliği)
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
KDE	: Kernel Density Estimate (Kernel Yoğunluk Tahmini)
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NO _x	: Nitrogen Oxides (Azot Oksitleri)
NSB	: Night Sky Brightness (Gece Gökyüzü Parlaklığı)
OLS	: Operational Linescan System (Operasyonel Çizgisel Tarama Sistemi)
PM	: Particulate Matter (Partikül Madde)
QGIS	: Kuantum Coğrafi Bilgi Sistemi
SQM	: Sky Quality Meter (Gökyüzü Kalite Ölçer)
TIFF	: Tagged Image File Format (Etiketlenmiş Resim Dosyası Formatı)
VIIRS	: Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (Görünür Kızılötesi Görüntüleme Radyometre Paketi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Göreceli spektral güç dağılımları	2
Şekil 1.2. Işık karmaşası, ışık ilhali, aşırı aydınlatma ve gök parlamasını temsil eden illüstrasyon	3
Şekil 2.1. Bazı hayvanların ışık kirliliği koşullarındaki davranışları.....	7
Şekil 2.2. Bortle Ölçeği'nin dokuz sınıfı.....	12
Şekil 2.3. EUMETSAT Bulut Maskesi - MSG - 0 derece - Küresel görünüm (solda) ve Türkiye'nin Akdeniz Kıyısı (sağda)	14
Şekil 2.4. NASA'nın çevrimiçi Worldview hizmetinden görüntülenen bir Black Marble ürünü	14
Şekil 2.5. DMSP / OLS (siyah) ve Suomi NPP / VIIRS / DNB'nin (mavi) temsili spektral yanıtı.....	16
Şekil 2.6. SQM'nin spektral yanıtı	18
Şekil 2.7. Koruyucu muhafazasına yerleştirilmiş yağış sonrası bir SQM	20
Şekil 2.8. Koruyucu muhafazasına yerleştirilmiş tipik bir All Sky Kamera	21
Şekil 3.1. Antalya şehri için ızgara karesi içinde yer alan ilçelerin temsili	26
Şekil 3.2. TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi.....	27
Şekil 3.3. Black Marble verileri için kullanılan 36x18 kare ızgara	28
Şekil 3.4. Özel kompozit oluşturulması için metodoloji.....	32
Şekil 4.1. Bakırlitepe'de gece gökyüzü parlaklığını gösteren histogram	39
Şekil 4.2. Bakırlitepe'de günün farklı zamanlarında gece gökyüzü parlaklığını gösteren "Denizanası" grafiği (SQM verileri için).....	40
Şekil 4.3. Olasılık yoğunluğunu tahmin eden bir gauss eğrisi de dahil olmak üzere tüm SQM verileri (Ay veya Güneş olmadan) için histogram	41
Şekil 4.4. Olasılık yoğunluğunu tahmin eden bir gauss eğrisi içeren 2020 SQM verileri (Ay veya Güneş olmadan) için histogram.....	41
Şekil 4.5. Bakırlitepe için SQM verilerinden elde edilen medyan gökyüzü parlaklığı ve sıcaklığının karşılaştırılması.....	42
Şekil 4.6. Antalya'daki 14 ilçe için 2019'dan 2023'e yüzde artış	47
Şekil 4.7. Antalya Havalimanı ve doğusundaki bölge için 2019'dan 2023'e yüzde artış (siyah alanlarda veri bulunmamaktadır).....	48
Şekil 4.8. Google Earth'ün 24 Kasım 2018 tarihinde Antalya Havalimanı'nın doğu bölgesini gösteren tarihi görüntüleri	48
Şekil 4.9. Antalya Havalimanı'nın doğu bölgesini 2 Ekim 2023 tarihinde gösteren Google Earth tarihi görüntüleri	49
Şekil 4.10. Antalya Şehir Hastanesi bölgesinin Google Earth görüntüsü üzerine bindirilmiş her piksel için yüzde artış değerleri.....	50
Şekil 4.11. Ağustos 2019'da Antalya Şehir Hastanesi çevresindeki bölgeyi gösteren Google Earth tarihi görüntüleri	50
Şekil 4.12. Nisan 2023'te Antalya Şehir Hastanesi çevresindeki bölgeyi gösteren Google Earth tarihi görüntüleri.....	51
Şekil 4.13. Kasım 2018'de Çakallık çevresindeki bölgeyi gösteren Google Earth geçmiş görüntüleri	52
Şekil 4.14. Mayıs 2023'te Çakallık çevresindeki bölgeyi gösteren Google Earth geçmiş görüntüleri.....	52
Şekil 4.15. Antalya'nın farklı ilçelerinde 2012 yılı için ışık parlaklığının mekânsal dağılımı (seçilen varyans katsayısı (CV) eşliği 0,9'dur)	54

Şekil 4.16. Antalya'nın farklı ilçelerinde 2023 yılı için ışık parlaklığının mekânsal dağılımı (seçilen varyans katsayısı (CV) eşiği 0,9'dur)	54
Şekil 4.17. Antalya'nın 12 ilçesi için 2012'den 2023'e ortalama parlaklık (CV eşiği $\leq 0,5$)	55
Şekil 4.18. Antalya'nın 12 ilçesi için 2012'den 2023'e ortalama parlaklık (CV eşiği $\leq 0,9$)	56
Şekil 4.19. Antalya'nın 12 ilçesi için 2012'den 2023'e parlaklık toplamı (CV eşiği $\leq 0,5$)	57
Şekil 4.20. Antalya'nın 12 ilçesi için 2012'den 2023'e parlaklık toplamı (CV eşiği $\leq 0,9$)	57
Şekil 4.21. Antalya'nın 4 merkez ilçesi için 2012'den 2023'e ortalama parlaklık (CV eşiği $\leq 0,5$)	58
Şekil 4.22. Antalya'nın 4 merkez ilçesi için 2012'den 2023'e ortalama parlaklık (CV eşiği $\leq 0,9$)	58
Şekil 4.23. Antalya'nın 4 merkez ilçesi için 2012'den 2023'e radyasyon toplamı (CV eşiği $\leq 0,5$)	59
Şekil 4.24. Antalya'nın 4 merkez ilçesi için 2012'den 2023'e radyasyon toplamı (CV eşiği $\leq 0,9$)	59
Şekil 4.25. Konyaaltı, Muratpaşa ve Kepez için 2020 yılı ölçümlerindeki aylık eğilimler, SQM değerleriyle karşılaştırılmıştır	60
Şekil 4.26. Antalya ilindeki dört istasyonda 2023 yılı için ortalama saatlik PM _{2,5} konsantrasyonları	64
Şekil 4.27. 2023'te gece 1 ve gece 2'de aylık ortalama PM _{2,5} konsantrasyonları	65
Şekil 4.28. 2023'te hava kalitesi izleme istasyonlarının konumları için aylık ortalama radyans değerleri (yakın nadir gözlemleri)	66
Şekil 4.29. Temmuz 2023'te Kepez istasyonundaki bulut örtüsü (01.00 ile 02.00 arasında tüm ay boyunca açık gökyüzü koşulları)	67
Şekil 4.30. Temmuz 2023 için Kepez istasyonu yakınındaki bağıl nem değerleri	68
Şekil 4.31. Temmuz 2023'te Kepez'de gece 1 ile gece 2 arasındaki PM _{2,5} konsantrasyonları (düzeltilmemiş) ve parlaklık	68
Şekil 4.32. Temmuz 2023'te Kepez'de gece 1 ile gece 2 arasındaki PM _{2,5} konsantrasyonları (RH ile düzeltilmiş) ve radyans	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bortle Ölçeği değerlerinin bir SQM tarafından üretilen değerlerle karşılaştırılması.	12
Çizelge 3.1. TÜİK'in son verilerine göre Türkiye'nin ve en büyük beş ilinin son beş yıldaki nüfus değişimi. (Son erişim tarihi 31 Temmuz 2024)	24
Çizelge 3.2. Toplanan yer tabanlı verilerin zamansal ölçeğinin bir özeti.....	27
Çizelge 3.3. VNP46A3 ve VNP46A4 ürünleri için uygulanan temel filtreleme kriterlerinin özeti.	33
Çizelge 4.1. Bakırlıtepe'deki SQM istasyonu tarafından ölçülen geceler.....	39
Çizelge 4.2. TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde en karanlık ve en aydınlık aylar ve geceler için medyan değerler.	42
Çizelge 4.3. Mart 2020'de AÜ stadyum pikselindeki VNP46A2 ürününe ait günlük verilerin özeti.	43
Çizelge 4.4. Haziran 2024'te AÜ stadyum pikselindeki VNP46A2 ürününe ait günlük verilerin özeti.	45
Çizelge 4.5. Işık kirliliği – renk sınıflandırması.	53
Çizelge 4.6. Şekil 4.25'teki veri noktalarını temsil eden ortalama piksel sayıları.	61
Çizelge 4.7. Uzaya enerji kaybından kaynaklanan ekonomik kaybın tahmini için hesaplama tablosu.	62
Çizelge 4.8. Tahmini toplam enerji kaybının ulusal tüketim ile karşılaştırılması.	63
Çizelge 4.9. Her istasyon için aylık PM _{2,5} konsantrasyonları ve radyans değerleri arasındaki regresyon analizi sonuçları.	66

1. GİRİŞ

Geceleri yapay ışığın aşırı veya uygunsuz kullanımı olan ışık kirliliği, 21. yüzyılda kritik bir çevre sorunu olarak ortaya çıkmıştır. Bu yaygın sorun sadece gece gökyüzünü görmemizi engellemekle kalmaz, aynı zamanda insan sağlığı, yaban hayatı ekolojisi ve enerji tüketimi üzerinde de geniş kapsamlı etkilere sahiptir (Kyba vd., 2017). Bu tez, Antalya'daki ışık kirliliğinin hem yer tabanlı ölçümler hem de uydu verileri kullanılarak kapsamlı bir analizini yapmayı ve böylece konunun ve sonuçlarının çok yönlü bir şekilde anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

Hızla artan nüfusu ve gelişen turizm endüstrisiyle Antalya şehri, gelişmekte olan bir kentsel çevrede ışık kirliliğinin dinamiklerini incelemek için ideal bir vaka çalışması sunmaktadır (TÜİK, 2023). Bu araştırma, yer tabanlı Gökyüzü Kalite Ölçer (Sky Quality Meter – SQM) okumaları, uydu görüntüleri ve hava kalitesi ölçümleri dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan elde edilen verileri entegre ederek ışık kirliliği eğilimlerinin, potansiyel itici güçlerinin ve çevresel etkilerinin ayrıntılı bir resmini çizmektedir.

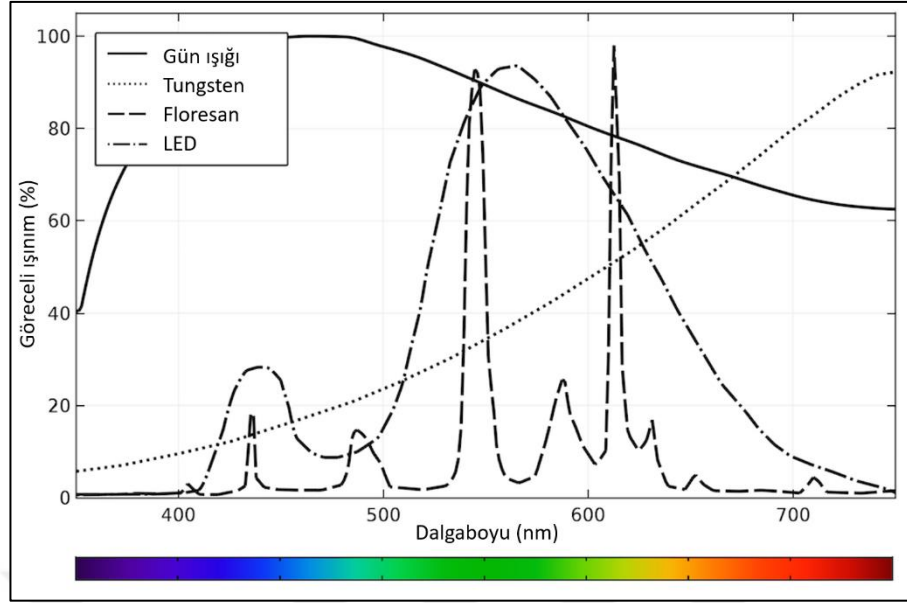
1.1 Işık

Bilimsel anlamda ışık, hem bir duyum hem de bir radyasyon biçimi olarak tanımlanır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından yayınlanan Uluslararası Aydınlatma Sözlüğü'ne (ILV) göre ışık şu şekilde tanımlanabilir:

1. “Görmeye özgü tüm duyum ve algıların bir özelliği.”
2. “İnsan görme sistemini uyarma yeteneği açısından değerlendirilen radyasyon” (CIE, 2006, #17-659).

Esasen ışık, insan gözünü uyararak etrafımızdaki dünyayı algılamamızı sağlayan görünür radyan enerjiyi ifade eder. Hem güneş gibi doğal kaynaklardan hem de lamba ve aydınlatma armatürleri gibi yapay kaynaklardan gelebilir (Sliney, 2016). İnsan gözünün algılayabildiği görünür ışık spektrumu, yaklaşık 380 ila 700 nanometre dalga boyu aralığında yer alır (National Aeronautics and Space Administration, 2010). Bu spektrum, mordan kırmızıya kadar gördüğümüz tüm renkleri kapsar ve daha geniş elektromanyetik spektrumun yalnızca küçük bir kısmını oluşturur.

Teknolojiler ilerledikçe, her biri benzersiz spektral özelliklere sahip farklı yapay aydınlatma türleri geliştirilmiştir. Örneğin, geleneksel tungsten lambalar modern floresan ve LED lambalara kıyasla çok az, kısa dalga boylu ışık yayar ve LED'ler genellikle koyu kırmızı ve yakın kızılötesi emisyonlardan yoksundur. Bu durum Şekil 1.1'de gösterilmektedir (Sliney, 2016).



Şekil 1.1. Göreceli spektral güç dağılımları

1.2 Işık Kirliliği

Işık kirliliği fiziksel bir kirletici olarak sınıflandırılır ve diğer kirlilik türleri gibi çevrenin doğal durumunu bozar. Bu durumda doğal durum, geceleri yalnızca Ay ve yıldızlar gibi doğal ışık kaynaklarının mevcut olduğu bir durumdur. Ancak, modern kentsel ortamlarda gece gökyüzü genellikle yapay ışıkla doludur ve yıldızları ve diğer gök cisimlerini gizleyerek astronomik gözlemleri önemli ölçüde etkileyebilir (Hollan, 2009).

Işık kirliliğinin iki temel özelliği yönü ve spektrumudur. Yapay ışık her yöne yayılabilir ve genellikle gökyüzüne doğru olduğu gibi alanları gereksiz yere aydınlatabilir. Bu ışığın spektrumu da bir rol oynar, çünkü LED'ler gibi farklı ışık kaynakları, doğal döngüleri diğerlerinden daha fazla bozabilecek farklı dalga boylarında ışık yayarlar.

Küresel olarak geceleri yapay ışıktaki önemli artış, mevcut uydu sensörleri tarafından tespit edilemeyen daha kısa dalga boylarında ışık yayan LED ışıklarının kullanılmaya başlanmasıyla daha da artmıştır (de Miguel vd., 2021). Işık kirliliği bağlamında odaklanmamış ışık, istenmeyen yönlere yayılan ve amacına hizmet etmeden önemli miktarda enerji israfına neden olan yapay aydınlatma anlamına gelir. Örneğin, Türkiye'de 2012'den 2019'a kadar uzaya salınan enerjide %80'lik bir artış görülürken, bu dönemde nüfus artışı sadece %9,1 oranında olmuştur (Kyba vd., 2017; Yerli vd., 2021). Bu sorunlara karşı farkındalık yaratmak için hükümetlerin ve kuruluşların doğru ve hassas ışık kirliliği ölçüm sistemlerine/ağlarına yatırım yapmaları ve bunların izlenmesine dayalı politikalar oluşturmaları önemlidir. DarkSky International'a göre, ışık kirliliğinin bileşenleri arasında ışık ihlali, göz kamaşması, gök parlaması, aşırı aydınlatma ve ışık karmaşası yer almaktadır.



Şekil 1.2. Işık karmaşası, ışık ilhali, aşırı aydınlatma ve gök parlamasını temsil eden illüstrasyon

Burada gök parlaması, gece gökyüzünün kontrastını azaltan ve ışığın yere geri saçılmasından oluşan dolaylı bir ışık kirliliği türüdür (Rajkhowa, 2014). Özellikle büyük şehirler üzerindeki gök parlaması, ışık kirliliğinin en görünür etkilerinden biridir. Gece gökyüzünü, bazen Avrupa ve Kuzey Amerika'nın büyük kentsel alanlarında gökyüzünün parlaklığının normal seviyeleri 2 ila 4 kat aştığı noktaya kadar aydınlatır. Bu olgu, gökbilimcilerin soluk gök cisimlerini gözlemleme çabalarını önemli ölçüde engeller (Hollan, 2006). Bu tezde, uydular tarafından ölçülen ışık emisyonlarının yanı sıra, dolaylı ışık kirliliğinin (gök parlaması) ölçümüne odaklanılmaktadır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan bir cihaz Unihedron tarafından üretilen “Sky Quality Meter (SQM)” adlı bir fotometredir (Cinzano, 2005). 2019-2023 yılları arasında Google Scholar'da “Sky Quality Meter” için 758 referansla (01 Ağustos 2024 tarihinde yapılan arama) çok sayıda ışık kirliliği çalışmasında kullanılmıştır.

1.3 Problem Tanımı

Hızla gelişen kentsel alanlarda yer tabanlı ölçümleri, uydu verilerini ve çevresel faktörleri entegre eden kapsamlı, konuma özgü ışık kirliliği analizine kritik bir ihtiyaç vardır. Gökyüzü Kalite Ölçer gibi ölçüm araçlarının mevcudiyetine rağmen, ışık kirliliği dinamikleri, bunların hava kalitesi ile ilişkisi ve ilgili enerji israfı hakkındaki mevcut anlayış, özellikle büyüyen kentsel peyzajlara ve önemli turizm sektörlerine sahip şehirlerde sınırlı kalmaktadır. Bu bilgi boşluğu, Antalya gibi yerlerde ışık kirliliğinin ve

çevre, insan sağlığı ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerinin azaltılması için etkili, bağlama özgü stratejilerin geliştirilmesini engellemektedir.

1.4 Araştırma Amaçları

Bu çalışma aşağıdaki araştırma hedeflerine odaklanmaktadır:

1. Türkiye'nin Antalya ilinde bulunan Bakırlıtepe SQM istasyonundan alınan yer tabanlı ışık kirliliği verilerini analiz etmek.
2. Çalışma alanındaki bulut örtüsü ve gece ışıkları için uydu verilerini incelemek.
3. Işık emisyon ölçümlerini Antalya'daki mevcut yer tabanlı hava kalitesi verileriyle karşılaştırmak.
4. Işık emisyon seviyelerindeki ve ilgili çevresel faktörlerdeki zaman eğilimlerini araştırmak.
5. Çalışma alanındaki ışık kirliliği nedeniyle uzaya kaybolan enerjiyi tahmin etmek.

1.5 Araştırmanın Önemi

Bu araştırma, ışık kirliliği çalışmaları ve kentsel çevre yönetimi alanına önemli katkılar sağlamaktadır:

1. Kapsamlı Veri Analizi: Bu çalışma, Antalya'daki ışık kirliliği dinamiklerini anlamak için bulut örtüsüne ilişkin bilgileri de dahil ederek yer tabanlı SQM okumalarını ve uydu verilerini analiz etmektedir.
2. Küresel Etkileri Olan Yerel Bağlam: Antalya'ya odaklanmış olsa da, bu çalışmanın metodolojisi ve bulguları, dünya çapında hızla gelişen diğer kentsel alanlarda ışık kirliliği araştırmaları ve yönetim stratejileri konusunda bilgi sağlayabilir.
3. Hava Kalitesi Korelasyonu: Bu çalışma, ışık kirliliği ve hava kalitesi arasındaki potansiyel korelasyonları araştırarak, farklı kirlilik türleri arasındaki etkileşimler üzerine gelişmekte olan araştırma alanına katkıda bulunmaktadır. Çalışmalar, hava kirliliği (PM_{2,5}) ile yapay ışığın yayılımı arasında bir korelasyon olduğunu gözlemlemektedir (J. Wang vd., 2016).
4. Enerji ve Ekonomik Etkiler: Işık kirliliği nedeniyle kaybedilen enerjinin ölçülmesi, politika yapımcılar ve şehir planlamacıları için değerli veriler sağlar. Bu çalışma, ışık kirliliğinin küresel maliyetini tahmin eden ancak daha ayrıntılı, konuma özgü analizler yapılmasını gerektiren önceki çalışmaya (Gallaway vd., 2010) dayanmaktadır.

1.5 Kapsam Ve Sınırlılıklar

Bu çalışma, Antalya, Türkiye'deki dolaylı ışık kirliliğinin (gök parlaması) uzun vadeli ölçümü ve analizine odaklanmaktadır. Birincil veri kaynakları bir Gökyüzü Kalitesi Ölçer (SQM) istasyonu, NASA'dan alınan uydu verileri ve ulusal yer tabanlı hava kalitesi ölçüm istasyonlarıdır.

Bu çalışmanın sınırlılıkları şunlardır:

1. SQM istasyonu Antalya şehri dışında dağlık bir bölgede bulunmaktadır. Kentsel alanın tamamını tam olarak temsil etmemektedir. Önceki çalışmalar, nokta ölçümlerinden daha geniş alanlara ekstrapolasyon yapmanın zorluklarını tartışmıştır (Schnitt vd., 2013).
2. SQM tarafından sağlanan dört yıllık verilerde bazı veri boşlukları vardır ve ışık kirliliği modellerindeki uzun vadeli eğilimleri veya döngüleri yakalayamaz, ancak metodoloji başka yerlerde kullanılmak üzere uyarlanabilir.
3. Işık kirliliğinden kaynaklanan enerji kaybının doğru tahmin edilmesindeki zorluklar, belirli varsayımlar veya tahminler gerektirebilir. Uydu sensörlerinin daha yüksek frekanslardaki ışığı algılamadığı düşünüldüğünde, yeni LED'lerden kaynaklanan enerji kaybı ölçülemeyebilir.

2. KAYNAK TARAMASI

Bu bölüm, ışık kirliliğine ilişkin bu çalışmayla ilgili mevcut araştırma ve kavramların kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Çevresel, sağlık ve sosyo-ekonomik etkilerini vurgulayarak ışık kirliliğinin etkilerine genel bir bakışı kapsamaktadır. İnceleme aynı zamanda ışık kirliliği ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyi de ele alarak bu iki çevresel faktörün nasıl kesiştiğini ve birbirini nasıl etkilediğini incelemektedir. Ek olarak, çalışma için kullanılan uydu veri setleri, kapsamaları ve sınırlamaları vurgulanarak incelenmektedir. Doğrudan ölçümlerde kullanılan teknolojiler ve metodolojiler sergilenerek yer tabanlı izleme ekipmanları tartışılmaktadır. Son olarak, Türkiye'de ve uluslararası alanda yapılan önceki çalışmaların bir değerlendirmesi yapılarak bu araştırma daha geniş bir bağlama oturtulmuştur.

2.1 Işık Kirliliğinin Etkileri

Işık kirliliği esasen gece ortamını bozan aşırı yapay ışığın varlığıdır. Etkileri çok çeşitli ve önemlidir. Sadece geceleri yıldızları görmemizi engellemekle kalmaz, aynı zamanda ekosistemdeki organizmalara da zarar verir. Olumsuz etkilerinin birçoğu incelenmiştir ve aşağıda detaylandırılmıştır:

1. Ekolojik Bozulma: Geceleri yapay ışık ekosistemleri ciddi şekilde bozabilir. Küresel biyoçeşitliliği oluşturan canlıların büyük bir kısmı gece hareketli olduğu için (tüm omurgalıların %30'u ve omurgasızların %60'ından fazlası) bu durum özellikle önemlidir (Hölker vd., 2010). Bu organizmalar düşük ışıklı gece ortamı için son derece özelleşmiş duyular geliştirmiştir ve geceleri ışığın varlığı, av-avcı ilişkilerini değiştirmek ve bitki fenolojisini bozmak gibi birçok davranışı etkiler (C. Rich ve T. Longcore, 2004). Farklı hayvan türleri aşırı ışık nedeniyle farklı davranışsal etkiler sergiler. Bazı örnekler Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Aslan, 2018). Aşırı aydınlatma koşulları altında, bazı hayvanlar ışığı gördüklerinde ona doğru giderler, bazılarının kafası karışır ve düzensiz davranırlar, bazıları ise avlarını bulamazlar.



Şekil 2.1. Bazı hayvanların ışık kirliliği koşullarındaki davranışları

Geleneksel olarak suya yansıyan ay ışığıyla okyanusa yönlendirilen deniz kaplumbağası yavruları, kıyı aydınlatması nedeniyle yönlerini kaybedebilir ve bu da ölümlerin artmasına neden olabilir (M. Salmon, 2003). Benzer şekilde, göçmen kuşlar da Dünya üzerindeki belirli işaretleri tanır ve yollarını bulmak için gökyüzünün ışığını kullanırlar. Karanlık gecede aydan gelen ışıklarla belirli bir açıda hareket ederler, buna enine yönelim denir. Ne yazık ki, noktasal ışık kaynağı olarak hareket eden uzaktaki şehir ışıkları için de benzer bir davranış gösterirler ve kuşlar rotalarından saparlar (C. Rich and T. Longcore, 2004). Buna fototaksi denir ve güveler gibi diğer hayvanlarda da görülür.

Yapay aydınlatmanın kuşlar üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışmada, New York'taki 11 Eylül Anıt Işıklarının etkisi ele alınmıştır (Van Doren vd., 2017). Bunlar 88 (7,000 watt) xenon lambadır. Işıklar 6,5 km yüksekliğe ulaşmakta ve 100 km'lik bir yarıçap içinde görülebilmektedir. Işıklar açıkken bölgedeki kuş yoğunluğu 20 kat artmış ve 1,1 milyondan fazla kuş etkilenmiştir. Bu, yılın sadece bir gününün etkisidir ve ışıkların tüm yıl boyunca açık olması durumunda sorunun ne kadar büyük olacağı konusunda bir perspektif vermektedir. Yolcu gemilerinin, açık deniz petrol platformlarının ve balıkçı teknelerinin ışıkları da göçmen kuşları okyanuslara çekebilir.

Birçok hayvan üreme döngüleri için geceye bağımlıdır. Örneğin, kurbağalar ve kara kurbağaları üreme ritüellerinin bir parçası olarak geceleri vıraklarlar. Işık bu ritüeli bozar çünkü kurbağalar ne zaman vıraklayacaklarını bilemezler. Kurbağaların ve kara kurbağalarının ışık kirliliğinin olduğu bölgelerde çiftleşme faaliyetlerini tamamen durdurdukları bilinmektedir (Kobisk & Kwiatkowski, 2023).

Işık kirliliği sadece hayvanları etkilemez; aynı zamanda 24 saatlik gece/gündüz döngüsüne büyük ölçüde bağlı olan bitkilerin doğal ritimlerini de bozar. Yapay gece aydınlatması bitkilerin sirkadiyen saatlerini karıştırarak büyüme düzenlerinin değişmesine ve erken çiçeklenmeye yol açabilir. Yapay

- aydınlatma, bazı bitki türlerinin doğal olarak yetişen benzerlerinden bir hafta kadar önce çiçek açmasına neden olur (Bennie vd., 2016). Fenolojideki bu değişimin ekosistemler üzerinde basamaklı etkileri olabilir, potansiyel olarak bitki ve polinatör böcekleri arasındaki etkileşimleri bozabilir ve türler arasındaki rekabet dinamiklerini değiştirebilir.
2. İnsan Sağlığı: Melatonin insan vücudunda bulunan ve uykuda rol oynayan bir hormondur. Geceleri üretilir ve ilk ışıkla birlikte salgılanması durur. Melatonin hücre yenileyici, yaşlanmayı geciktirici ve antioksidan özelliklere sahiptir; uykuyu tetikler, bağışıklık sistemini güçlendirir, kolesterolü düşürür ve diğer birçok organın düzgün çalışmasına yardımcı olur (J Reiter vd., 2013). Geceleri yapay ışığa maruz kalmak, günlük melatonin üretimini sekteye uğratar. Bu durum çeşitli sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilmiştir. Işık kirliliğinin sirkadiyen ritimleri bozduğunu, uyku bozukluklarına, depresyona ve hatta bazı kanser türlerine potansiyel olarak katkıda bulunduğunu gösteren kanıtlar vardır (Chepesiuk, 2009). Kötü tasarlanmış veya aşırı dış aydınlatma, istenmeyen ışığın komşu mülklere ve evlere yayılmasına ve izinsiz girişine de yol açabilir. Bu müdahaleci ışık uyku düzenini bozar ve rahatsızlığa neden olur.
 3. Güvenlik: Yaygın inanışın aksine, evlerin yakınında artan aydınlatma her zaman daha iyi güvenlik ile ilişkili değildir. Aslında, aşırı parlak veya kötü yerleştirilmiş ışıklar sert gölgeler ve parlamalar yaratarak potansiyel olarak görünürlüğü azaltabilir ve gerçek tehditlerin tespit edilmesini zorlaştırarak güvenliği tehlikeye atabilir (Gaston vd., 2015).
 4. Astronomik Girişim: Işık kirliliği astronomik gözlemleri önemli ölçüde engellemektedir. Samanyolu'nun Avrupalıların %60'ı ve Kuzey Amerikalıların yaklaşık %80'i dahil olmak üzere insanlığın üçte birinden fazlası tarafından artık görülemediği tespit edilmiştir (Falchi vd., 2016).
 5. Enerji İsrafı: Gereksiz veya verimsiz aydınlatma enerji israfına önemli ölçüde katkıda bulunur. Sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde bu israfın yılda yaklaşık 6,9 milyar dolara mal olduğu tahmin edilmektedir (Gallaway vd., 2010). Ancak bunun sonuçları ekonomik maliyetlerin çok ötesine uzanmaktadır. Türkiye, 2023 yılında 326.301 GWh elektrik üreterek 2000 yılından bu yana %161'lik bir artış göstermiştir. Türkiye, 2022 yılında 328.379 GWh elektrik üretimiyle Avrupa'da üçüncü, dünya genelinde ise 15. sırada yer alarak önemli enerji üretiminin altını çizmiştir. Kömür ve doğal gaz, toplam elektrik üretiminin sırasıyla %36 ve %21'ine katkıda bulunarak enerji karışımına hakim olmuştur (IEA, 2023). Sonuç olarak, verimsiz aydınlatmadan kaynaklanan enerji israfı dolaylı olarak fosil yakıt tüketiminin artması anlamına gelmektedir. Fosil yakıtların bu şekilde gereksiz yere yakılması, atmosfere zararlı partikül ve gazların salınmasına neden olarak hava kirliliğini daha da arttırmaktadır. Ayrıca, artan karbondioksit emisyonları yoluyla küresel ısınmanın hızlanmasına katkıda bulunur. Kümülatif etki iklim değişikliğini güçlendirerek potansiyel olarak aşırı hava olaylarına, yükselen deniz seviyelerine ve ekosistemler ile biyoçeşitlilikte bozulmalara yol açar.
 6. Kültürel Etki: Işık kirliliği nedeniyle karanlık gökyüzünün kaybolmasının derin kültürel ve bilimsel etkileri vardır. Araştırmalar, doğal bir gece gökyüzünü görebilmenin, çeşitli dini, felsefi ve sanatsal gelenekler için önem taşıyan ve genellikle göz ardı edilen önemli bir kültürel kaynak olduğunu savunmaktadır (Falchi vd., 2016; Gallaway vd., 2010). Tarih boyunca pek çok kültür

takvimlerini, navigasyonlarını ve mitolojilerini göksel gözlemlere dayandırmıştır. Görünür yıldızların kent ve banliyö gökyüzünden giderek kaybolması, insanları bu kozmik mirastan koparmaktadır. Ayrıca, ışık kirliliği astronomik araştırmaları ciddi şekilde engellemekte, yer tabanlı gözlemlerinin etkinliğini sınırlamakta ve potansiyel olarak önemli göksel olayları veya keşifleri gizlemektedir. Bu kayıp sadece profesyonel astronomları etkilemekle kalmaz, aynı zamanda amatör yıldız gözlemcilerini ve genel halkı gerçekten karanlık bir gece gökyüzünün huşu uyandıran deneyiminden mahrum bırakır ve potansiyel olarak halkın uzay araştırmaları ve astronomik bilimlere olan ilgisini ve desteğini azaltabilir.

2.2 Işık Kirliliğinin Akdeniz Ekosistemleri Üzerindeki Etkileri

Akdeniz bölgesi, dünya yüzölçümünün sadece %2'sini kaplamasına rağmen küresel bitki türlerinin yaklaşık %20'sine ev sahipliği yaparak dünyanın en önemli biyoçeşitlilik sıcak noktalarından birini temsil etmektedir (Medail & Quezel, 1997). Bu istisnai biyolojik çeşitlilik, bölgeyi çeşitli ekosistemleri ve türleri önemli ölçüde etkileyebilecek ışık kirliliği de dahil olmak üzere çevresel rahatsızlıklara karşı özellikle savunmasız hale getirmektedir.

2.2.1 Mağara ekosistemleri

Akdeniz bölgesindeki, özellikle Antalya ve çevresindeki mağara ekosistemleri, yapay ışık müdahalesiyle bozulabilen karmaşık ekolojik ilişkiler göstermektedir. Kadıni Mağarası (Antalya) ve Erdal Şekeroğlu Mağarası'nda (Isparta) yapılan araştırmalar, farklı ışık bölgelerine özel adaptasyonları olan ve beş sınıfta 51 türden oluşan çeşitli eklembacaklı topluluklarını ortaya çıkarmıştır (Aydın & Şen, 2020). Çalışma, alacakaranlık ve karanlık bölgelerdeki eklembacaklı topluluklarının karşılaştırılabilir abiyotik koşullar nedeniyle daha yüksek benzerlikler paylaştığını göstererek, yapay ışık penetrasyonunun bu hassas ekolojik dengeleri önemli ölçüde değiştirebileceğini düşündürmektedir.

2.2.2 Kuş göç modelleri

Türkiye'nin Akdeniz kıyı şeridi, özellikle de Antalya, göçmen kuşlar için önemli bir mola bölgesi olarak hizmet vermektedir. Artan ışık kirliliği bu göç düzenleri için bir tehdit oluşturabilir. Antalya'nın Akdeniz kıyısındaki Boğazkent'te yürütülen araştırma, birden fazla kuyrukkakan türü için önemli mola modellerini belgelemiştir. Çalışma, farklı türler arasında farklı göç zamanlamalarını ortaya koymuştur; Kuzey kuyrukkakanı (*Oenanthe oenanthe*) iki aylık bir bahar göçü dönemine ihtiyaç duyarken, Isabelline kuyrukkakanı (*O. isabellina*) ve Kara kulaklı kuyrukkakanı (*O. hispanica*) Akdeniz'i geçtikten sonra yaklaşık bir ay içinde göçlerini tamamlamaktadır (Karadıç & Erdoğan, 2019).

Antalya da dahil olmak üzere Türkiye'nin güneyindeki kıyı bölgeleri, bu göçmen kuşlar için önemli beslenme alanlarıdır. Buna ek olarak, Çöl kuyrukkakanı (*O. deserti*) ve Finsch kuyrukkakanı (*O. finschii*) bölgede belgelenecek bölgenin bir göç koridoru olarak önemini daha da vurgulamıştır. Bu önemli mola noktaları boyunca yapay

aydınlatmanın varlığı, doğal göç düzenlerini bozabilir ve kuşların etkili bir şekilde yön bulma ve beslenmelerini etkileyebilir (Karadıç & Erdoğan, 2019).

2.2.3 Amfibi üremesi

Akdeniz amfibileri ay ışığı evrelerine özel davranışsal adaptasyonlar geliştirerek doğal ışık döngülerinin önemini ortaya koymuştur. *Hyla intermedia* ve *Rana dalmatina* üzerinde yapılan çalışmalar, bu türlerin dolunay evrelerinde yumurtlamaktan aktif olarak kaçındığını göstermiş, bu da doğuştan gelen bir yırtıcı karşıtı strateji olduğunu düşündürmüştür (Vignoli & Luiselli, 2013). Bu davranış, yapay aydınlatmanın amfibilerin doğal ay-senkronize üreme döngülerine müdahale ederek üreme düzenlerini önemli ölçüde bozabileceğini göstermektedir.

2.2.4 Deniz kaplumbağasının yuvalaması

Türkiye'nin Akdeniz kıyı şeridi, özellikle de Antalya bölgesi, deniz kaplumbağaları için kritik yuvalama habitatını temsil etmektedir. Araştırmalar bölgede birkaç önemli yuvalama kumsalı belirlemiştir; bunların en önemlisi, Türkiye kıyılarındaki tüm kaplumbağa yuvalarının %27,9'unu oluşturan Belek'tir. Antalya bölgesindeki diğer önemli yuvalama alanları arasında Kızılot (%8,9) ve Kumluca (%11,3) yer almakta olup, bunlar birlikte "1. Derece Öne Sahip Yuvalama Alanları"nın bir parçasını oluşturmaktadır. (Canbolat, 2004).

Bu kumsalları iki ana tür kullanmaktadır: *Caretta caretta* ve yeşil kaplumbağa (*Chelonia mydas*). Yıllık izleme çalışmaları, Türkiye'nin Akdeniz kıyısı boyunca *C. caretta* için yaklaşık 2.000 ve *C. mydas* için 650 yuva olduğunu tahmin etmektedir. Her dişi kaplumbağanın sezon başına üç kez yuva yaptığı varsayımına dayanarak, bu, *C. caretta* için yılda tahmini 500-800 ve *C. mydas* için 130-300 yuva yapan dişi anlamına gelir. İzlenen 204 km'lik sahil şeridi boyunca yuvalama yoğunluğu *C. caretta* için ortalama 11,3 yuva/km ve *C. mydas* için 19,2 yuva/km'dir (Canbolat, 2004). Bu yüksek yuvalama yoğunlukları bölgeyi ışık kirliliğine karşı özellikle savunmasız hale getirmektedir, bu da hem yuvalayan dişilerin hem de yavruların yönünü değiştirebilir ve tehdit altındaki bu türlerin üreme başarısını potansiyel olarak tehlikeye atabilir.

2.2.5 Sulak alan ekosistemi

Akdeniz bölgesindeki sulak alan ekosistemleri, ışık kirliliğine karşı özellikle hassas olan karmaşık biyolojik toplulukları desteklemektedir. Benzer ekolojik sistemlerde yapılan araştırmalar, yapay aydınlatmanın çeşitli türlerin davranışlarını ve dağılımını etkileyebileceğini göstermiştir. Örneğin Yaylıyaka Bataklıkları, aralarında nesli kritik derecede tehlike altında olan türlerin de bulunduğu 39 familyadan 137 kuş türünü desteklemektedir (Adizel vd., 2010). Işık kirliliği bu türlerin doğal davranışlarını ve düzenlerini bozarak hayatta kalmalarını ve üreme başarılarını potansiyel olarak etkileyebilir.

2.3 Işık Kirliliği Ve Hava Kirliliği Arasındaki İlişki

Işık kirliliği ile hava kirliliği, özellikle de PM_{2,5} gibi partikül maddeler arasındaki etkileşim, karmaşık bir çevresel sorun teşkil etmektedir. Çapı 2,5 mikrometre

veya daha küçük olan ince partikül madde anlamına gelen PM_{2,5}, aerosol saçılması yoluyla ışık kirliliğinin şiddetlenmesinde bir rol oynamaktadır. Bu ince partiküller yapay ışığı dağıtarak (H. Wang vd., 2015) gökyüzü parıltısı etkisini güçlendirebilir ve ışık kirliliğinin erişimini kaynağının çok ötesine taşıyabilir. Bu saçılma etkisi özellikle yüksek PM_{2,5} seviyelerine sahip kentsel alanlarda belirgindir ve ışık kaynaklarından önemli mesafelerde bile gece gökyüzünün parlaklığını ölçüde artırabilir. Birçok çalışma, havadaki PM_{2,5} konsantrasyonlarını tahmin etmek üzere modeller geliştirmek için uydulardan alınan ışık radyansı verilerini de kullanmıştır (Li vd., 2015; Ma vd., 2023; J. Wang vd., 2016). Ancak, özellikle Türkiye için ışık radyansı ile yer PM_{2,5} seviyeleri arasındaki korelasyonu ayrıntılı olarak açıklayan bir çalışma yapılmamıştır.

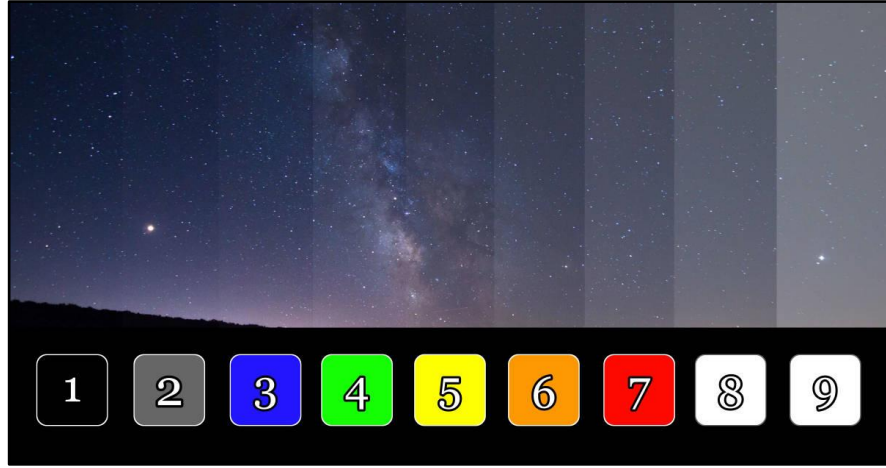
Işık kirliliği ve hava kirliliği arasındaki ilişki çift yönlüdür. PM_{2,5} ışık saçılımını artırırken, yapay gece aydınlatması atmosferik kimyayı değiştirerek dolaylı olarak hava kirliliğine katkıda bulunabilir. Yapay aydınlatmanın bazı hava kirleticilerinin, özellikle de gün içinde ozon oluşumunun artmasına neden olabilen nitrojen oksitlerin (NO_x) oluşumunu ve parçalanmasını etkilediği gösterilmiştir (Stark vd., 2011). Bu karmaşık etkileşim, kentsel planlama ve politika geliştirmede her iki kirlilik biçimini de dikkate alan çevre yönetimine yönelik entegre yaklaşımlara duyulan ihtiyacı göstermektedir.

2.4 Kentsel Alanlardaki Işık Kirliliği

Kentsel alanlar ışık kirliliğinin başlıca kaynaklarıdır; sokaklardan, binalardan ve araçlardan gelen yapay aydınlatma “gök parlaması” olarak bilinen olguya katkıda bulunur. Bu aşırı parlaklık sadece gece gökyüzünü gizlemekle kalmaz, aynı zamanda hem insanlarda hem de vahşi yaşamda doğal sirkadiyen ritimleri bozar. Kapsamlı bir araştırma, dünya nüfusunun %80’inden fazlasının ışıkla kirlenmiş gökyüzü altında yaşadığını ve bu oranın Avrupa ve Kuzey Amerika’da %99’a yükseldiğini ortaya koymuştur (Falchi vd., 2016). Kentsel ışık kirliliğinin yoğunluğunun nüfus yoğunluğu ve ekonomik faaliyetlerle güçlü bir şekilde ilişkili olduğu gösterilmiştir, bu da onu kentleşme ve kalkınmanın önemli bir göstergesi haline getirmektedir.

John E. Bortle tarafından geliştirilen **Bortle Ölçeği**, belirli bir konumdaki gece gökyüzünün karanlık derecesini kategorize eden sayısal bir ölçektir. Class 1 (mükemmel karanlık gökyüzü siteleri) ile Class 9 (şehir içi gökyüzü) arasında değişir. (Görsel olarak Şekil 2.2’de gösterilmektedir.) Ölçek, gökyüzündeki parıltı, hava parıltısı, yapay ışık kaynakları ve gök cisimlerinin görünürlüğü gibi faktörleri dikkate alır. Bortle Ölçeği sınıflarının kısa bir özeti aşağıda sunulmuştur:

1. Class 1 (Mükemmel): İsrafsız karanlık gökyüzü.
2. Class 2 (Tipik): Düşük ışık kirliliği olan kırsal veya banliyö gökyüzü.
3. Class 3 (Kırsal): Orta düzeyde ışık kirliliği olan kırsal alanlar.
4. Class 4 (Banliyö): Önemli ışık kirliliği olan banliyö veya şehir dışı bölgeler.
5. Class 5 (Banliyö Geçiş): Banliyö ve kırsal alanlar arasındaki geçiş bölgeleri.
6. Class 6 (Parlak Banliyö): Yüksek ışık kirliliği olan banliyö bölgeleri.
7. Class 7 (Banliyö/Şehir Geçiş): Şehir ve banliyö bölgeleri arasındaki geçiş bölgeleri.
8. Class 8 (Şehir): Ciddi ışık kirliliği olan şehir bölgeleri.
9. Class 9 (Şehir İçi): Aşırı ışık kirliliği, sadece en parlak gök cisimleri görülebilir.



Şekil 2.2. Bortle Ölçeği'nin dokuz sınıfı

Bortle ölçeği görsel bir temsildir ve niceliksel olarak tanımlanmamıştır. Çizelge 2.1, bortle ölçeğini bir SQM'den alınan değerlerle karşılaştırmaya yönelik bir girişimdir (Góez Therán & Vargas Domínguez, 2021). SQM Bölüm 2.4.1'de daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Çizelge 2.1. Bortle Ölçeği değerlerinin bir SQM tarafından üretilen değerlerle karşılaştırılması.

Gökyüzünün Parlaklığı (kadir/açısanıye ²)	Bortle Ölçeği
>21,90	1
21,90 – 21,50	2
21,50 – 21,30	3
21,30 – 20,80	4
20,80 – 20,10	4,5
20,10 – 19,10	5
19,10 – 18,00	6,7
<18,00	8,9

Kentsel ışık kirliliği sadece yıldızların görünürlüğünü engellemekle kalmaz, uyku bozuklukları, depresyon ve kanser gibi sağlık sorunlarıyla da ilişkilidir (Chepesiuk, 2009). Ayrıca, yapay aydınlatma gece yaşayan hayvanların davranışlarına, göç yollarına ve ekosistem dengesine ciddi şekilde zarar verebilir. Şehirler büyümeye ve gelişmeye devam ettikçe, kentsel ışık kirliliğinin azaltılması sürdürülebilir şehir

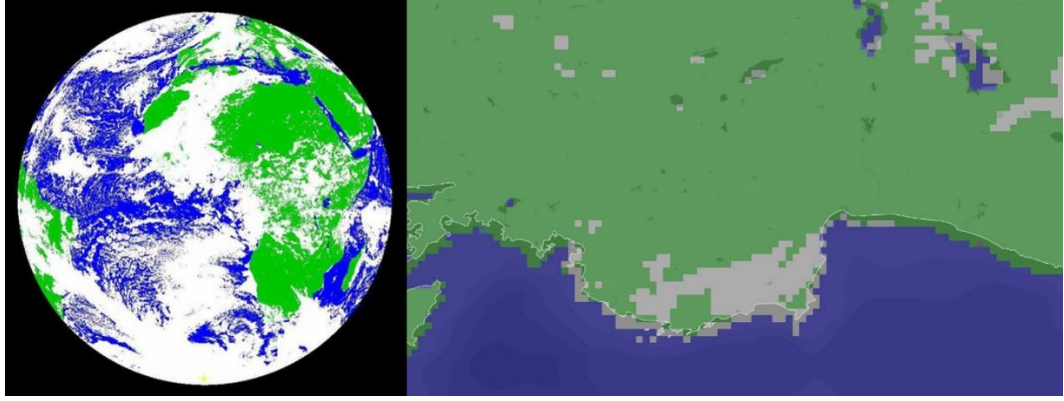
planlamasında giderek daha önemli bir husus haline gelmiş, bazı şehirler gereksiz aydınlatmayı azaltmak ve çevresel etkilerini en aza indirmek için “karanlık gökyüzü” girişimlerini uygulamaya koymuştur. Bursa Büyükşehir Belediyesi'nin DarkSky International'a üye olması ve ülkedeki ilk Karanlık Gökyüzü Parkı'nı (Dark Sky Park) kurmak için başlattığı çalışmalar Türkiye'yi de kapsamaktadır (Hürriyet Daily News, 2024).

Işık kirliliğini azaltmaya yönelik kılavuz ilkeler sağlamak için kentsel planlama ve aydınlatma tasarımı alanında da sürekli çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin böyle bir çalışma, sorumlu aydınlatma için şu 7 ana hususu vermektedir. (Kretzer & Reichenbach, 2022):

1. Gereklilik: Bir şey ya da bir alan sadece gerekliyse aydınlatılmalıdır.
2. Işık miktarı: Sadece görsel görev için gerektiği kadar ışık kullanılmalıdır.
3. Işık spektrumu: Işık spektrumu aydınlatma amacına ve ortama göre ayarlanmalıdır.
4. Armatür tipi ve konumlandırma: Doğru armatürü (özellikle yeterli ışık yoğunluğu dağılımına sahip) ve montaj yerini seçerek ışık yayılmasını önlemek için mümkün olduğunca hassas bir şekilde aydınlatma yapılmalıdır.
5. Armatür hedeflemesi: Işık aşağı doğru yayılmalı ve kurulum işlemi sırasında armatür dikkatlice ayarlanmalıdır.
6. Zaman yönetimi ve aydınlatma kontrol sistemi: Günün/yılın farklı zamanlarına veya varlık tespitine göre ışık azaltılmalı veya kapatılmalıdır.
7. Armatür koruması: Sorunlu durumlarda bir armatürün ek olarak korunması düşünülmelidir.

2.5 EUMETSAT

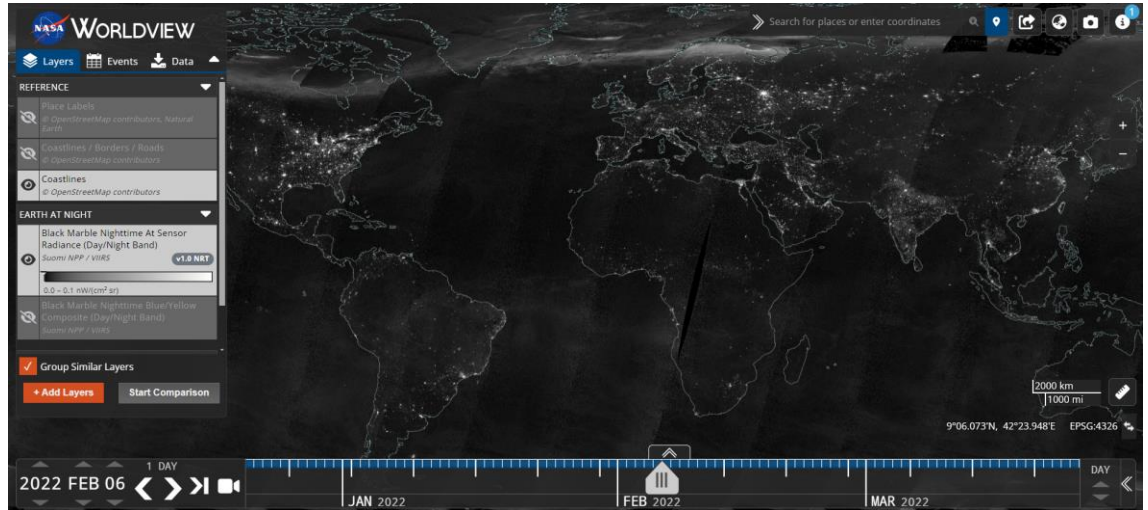
EUMETSAT hava, iklim ve çevrenin uzaydan izlenmesi için kurulmuş Avrupa uydu ajansıdır (Avrupa operasyonel uydu ajansı hava, iklim ve çevrenin uzaydan izlenmesi için). Bulut Maskesi (CLM) ürünü (Cloud Mask - MSG - 0 derece), piksel düzeyinde konumu ('açık' veya 'bulutlu') tanımlar. Her piksel şu dört türden biri olarak sınıflandırılır: su üzerinde açık gökyüzü, zemin üzerinde açık gökyüzü, bulut, veya işlenmemiş (Dünya'nın diski dışında). Bir pikselin bulutlu olup olmadığı, uydu görüntülerindeki spektral imzaların analiz edilmesi, yansıma ve termal radyasyon gibi bulutlarla ilişkili karakteristik modellerin tanımlanmasıyla belirlenir. Gelişmiş algoritmalar daha sonra pikselleri bulutlu veya bulutsuz olarak sınıflandırmak için eşikler ve doku analizi uygulayarak hava tahmini ve iklim izleme yeteneklerini geliştirir. Bu, algoritmanın teorik temeline ilişkin belgede açıklanmaktadır (EUMETSAT, 2007). Şekil 2.3 tipik bir haritanın nasıl görüneceğini göstermektedir. Derece cinsinden piksel boyutu 0,041'dir, bu da orta enlemler için bir pikselin yaklaşık 15 km²'lik bir alanı temsil ettiği anlamına gelmektedir. Bu ürüne ait veri dosyaları her 15 dakikalık aralık için kamuya açıktır. Araştırmacılar pikselleri seçerken dikkatli olmalı, böylece SQM'lerin 20 derecelik görüş alanından daha geniş bir kapsama alanı (maksimum bulut tavan yüksekliğinde) sağlanmalıdır (Cinzano, 2005).



Şekil 2.3. EUMETSAT Bulut Maskesi - MSG - 0 derece - Küresel görünüm (solda) ve Türkiye'nin Akdeniz Kıyısı (sağda)

2.6 NASA'nın Black Marble Veri Seti

Görünür Kızılötesi Görüntüleme Radyometre Paketi (VIIRS) Gündüz/Gece Bandı (DNB) paketinin bir parçası olan NASA Black Marble veri seti, küresel gece ışık emisyonları hakkında değerli bilgiler sağlar. Farklı seviyelerde veri işleme ve analiz sunan VNP46A2, VNP46A3 ve VNP46A4 ürünleri özellikle ilgi çekicidir. VNP46A2 ürünü günlük sensör içi gece radyans değerleri sağlayarak ışık emisyonlarının neredeyse gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak tanır. Bu ürün özellikle yapay aydınlatmadaki kısa vadeli değişiklikleri izlemek için kullanışlıdır ve kentsel gelişim ve enerji tüketim modellerini değerlendirmek için çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır (Roman vd., 2018). Şekil 2.4 NASA'nın Worldview arayüzünden alınmıştır ve Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP) uydusunun Gündüz/Gece Bandını (DNB) kullanarak atmosferin tepesinden gece ışıklarını yakalayan VNP46A1 Black Marble veri setinin çıktısını göstermektedir. Altta zaman çizelgesi herhangi bir tarihin seçilmesine olanak tanırken, yukarıdaki harita o gecedan alınan görüntülerin bir bileşimidir.



Şekil 2.4. NASA'nın çevrimiçi Worldview hizmetinden görüntülenen bir Black Marble ürünü

İşte görüntüdeki temel unsurların açıklaması:

1. Daha parlak alanlar

Parlak alanlar, öncelikle kentsel ve yoğun nüfuslu alanlar olan yüksek düzeyde yapay aydınlatmaya sahip bölgelere karşılık gelir. Bu bölgeler, sokak lambaları, binalar ve araçlar gibi önemli insan yapımı ışık kaynakları nedeniyle kolayca tespit edilebilir. Görüntüde, Avrupa bölgesi, güney ve doğu Asya ve doğu Amerika Birleşik Devletleri, gelişmiş altyapı ve yüksek nüfus yoğunluğunu yansıtan yüksek parlaklık ile öne çıkmaktadır. Kutup dairesine yakın yüksek enlem bölgesinde, bu özel gece için aurora borealis'i temsil eden daha parlak bir yama görülebilir. Bu yama jeomanyetik koşullara bağlı olarak geceden geceye yoğunluk ve yayılma açısından farklılık gösterebilir. Örneğin, güneş döngüsü 25 sırasında 10-13 Mayıs 2024 tarihleri arasında aşırı güneş patlamaları ve jeomanyetik fırtına bileşenleri içeren bir dizi güçlü güneş fırtınası meydana gelmiştir. Bu fırtına hem kuzey hem de güney yarımkürede normalden çok daha fazla ekvator enleminde aurora oluşturmuş ve bu durum Siyah Mermer görüntüsünde gözlemlenmiştir.

2. Daha karanlık alanlar

Daha koyu bölgeler, genellikle seyrek nüfuslu veya gelişmemiş bölgelerle ilişkili olan, minimum yapay aydınlatmaya sahip alanları temsil eder. Bu alanlar, insan faaliyetlerinin ve altyapısının sınırlı olduğu kırsal veya vahşi bölgeleri, okyanusları veya çölleri içerebilir. Örneğin Afrika'da, orta ve Sahra altı bölgeler, muhtemelen kıtanın kuzey bölgelerine kıyasla daha düşük elektrikleştirme ve kalkınma seviyeleri nedeniyle çok daha karanlıktır. Avrupa, Afrika ve Amerika'yı çevreleyen okyanus bölgeleri de ağırlıklı olarak karanlıktır, bu da insan yapımı ışık kaynaklarının yokluğunu gösterir.

3. Düzensiz karanlık bölge

Afrika'da harita boyunca uzanan koyu renkli kesik gibi bazı tutarsızlıklar bulunmaktadır. Bu, yörüngeler arasındaki kapsama eksikliği nedeniyle uydunun görüntü alanındaki bir boşluğa işaret eder. NASA'ya göre, uydunun görüntü alanı 3000 km'dir ve her gün neredeyse küresel bir kapsama alanı sağlamalıdır. Daha detaylı bir araştırma sonucunda bu boşluğun sadece Afrika kıtasında mevcut olduğu ve beş günlük bir döngüde konum değiştirdiği tespit edilmiştir. Her gece yaklaşık 5 derece doğuya doğru hareket ederken, ancak 5. gecede orijinal konumuna geri dönmektedir.

4. Türkiye'ye Odaklanma

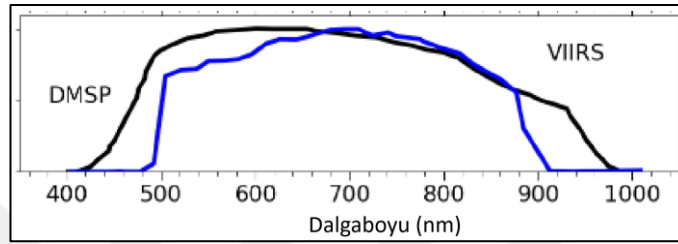
Türkiye, özellikle de Antalya bölgesi bağlamında, aydınlatılmış alanlar büyük şehirlerin ve turizm merkezlerinin varlığına işaret etmektedir. Kıyı ve iç kesimlerdeki gelişmiş şehirleriyle Türkiye, özellikle İstanbul'da önemli ışık emisyonları göstermektedir.

Afrika'nın veri boşlukları veya karanlık çizgiler gösteren bazı bölgelerinin aksine, Türkiye tutarlı bir kapsama alanına sahiptir ve bu veri toplamadaki potansiyel anormallikleri en aza indirir. Türkiye ve Antalya bölgesi söz konusu olduğunda, kuzey ışıkları aşırı jeomanyetik koşullarda bile uydu tabanlı ışık kirliliği analizi için önemli bir endişe kaynağı değildir.

Suomi NPP güneşle eşzamanlı bir uydudur ve her gün yaklaşık 14 kez ekvatoru geçerek Dünya yüzeyinin tamamını her gün iki kez gözlemler. NPP'nin Dünya

yüzeyinden 824 km yükseklikteki kutupsal yörüngesinden yerel saatle sabah 1:30 ve öğleden sonra 1:30 civarında ekvatoru geçer. VIIRS cihazı, MODIS ile tutarlılığı sağlamak için NASA tarafından üretilen veri ürünlerinde 500 m, 1 km ve 0,05 dereceye yeniden örneklenen 375 metre (m) ve 750 m olmak üzere iki uzamsal çözünürlükte 412 nanometreden (nm) 12 mikrometreye (μm) kadar 22 spektral bant sağlar.

Şekil 2.5'te uydu sensörünün spektral tepkisi, uydulardan en uzun süredir (1992'den günümüze) küresel gece ışık algılama sistemi olan önceki nesil Savunma Meteoroloji Uydusu / Operasyonel Linescan Sistemi (DMPS / OLS) ile karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. VIIRS / DNB'nin daha yüksek frekans aralıklarında yanıtı yoktur.



Şekil 2.5. DMSP / OLS (siyah) ve Suomi NPP / VIIRS / DNB'nin (mavi) temsili spektral yanıtı

VNP46A3 ve VNP46A4 ürünleri uzun vadeli analizler için daha rafine veriler sunar. VNP46A3 ürünü, bulut örtüsünün ve diğer geçici ışık kaynaklarının etkisini azaltarak gece ışıklarının aylık kompozitlerini sağlar. VNP46A4 ürünü bir adım daha ileri giderek ışık kirliliği ve kentsel büyümedeki uzun vadeli eğilimleri incelemek için ideal olan yıllık kompozitler sunar.

NASA Black Marble veri seti, özellikle de VNP46A2, VNP46A3 ve VNP46A4 ürünleri, belirli birimler kullanır ve birden fazla bilgi katmanı içerir. Aşağıda bu hususlar incelenmiştir

Black Marble veri setindeki birimler:

Black Marble ürünlerinde gece ışıklarını ölçmek için kullanılan birincil birim nano Watt/cm²/stereadian'dır (nW/cm²/sr). Bu birim, sensör tarafından algılanan gece ışıklarının parlaklığını temsil eder. Bunun yerde yayılan ışığın doğrudan bir ölçümü olmadığını, daha ziyade atmosferden geçtikten sonra uydu sensörüne ulaşan ışığın ölçümü olduğunu unutmamak önemlidir (Z. Wang vd., 2022).

VNP46A2 (günlük) ürünü için radyans değerleri sensör içi spektral radyans olarak sağlanır. VNP46A3 (aylık) ve VNP46A4 (yıllık) ürünleri hem sensör içi radyans hem de ay BRDF ayarlı gece ışıkları (NTL) sunar. Ay BRDF (Çift Yönlü Yansıtma Dağılım Fonksiyonu - Bidirectional Reflectance Distribution Function) ayarlaması, ay aydınlatması ve görüntüleme geometrisindeki değişiklikleri hesaba katarak zaman içinde karasal aydınlatmanın daha tutarlı bir ölçüsünü sağlar (Z. Wang vd., 2022).

Black Marble veri dosyalarındaki katmanlar:

Black Marble ürünlerinin her biri (VNP46A2, VNP46A3 ve VNP46A4), gece ışık emisyonlarının ve ilgili kalite bilgilerinin kapsamlı bir görünümünü sunan birden fazla veri katmanını içerir. VNP46A2 (günlük) ürünü aşağıdaki katmanlara sahiptir:

1. DNB_BRDF-Corrected_NTL: Bu katman, BRDF etkileri için düzeltilmiş birincil gece ışıkları verilerini sağlar.
2. Gap_Filled_DNB_BRDF-Corrected_NTL: Bu katman, bulut örtüsünün veya diğer sorunların ölçümleri gizlemiş olabileceği yerlerde boşlukları dolduran veriler sunar. Özellikle sürekli zaman serileri oluşturmak için kullanışlıdır.
3. DNB_Lunar_Irradiance: Bu katman, gece görüntülerindeki doğal ışık bileşenini anlamak için çok önemli olan ay aydınlatmasının miktarı hakkında bilgi sağlar.
4. Quality_Flag: Bu katman, bulut örtüsü, kar örtüsü veya veri kalitesini etkileyebilecek diğer koşullar gibi faktörleri gösteren piksel düzeyinde kalite güvence bilgileri sunar.
5. Mandatory_Quality_Flag: Bu katman, verilerin tüm kullanıcıları için gerekli olan temel kalite bilgilerini sağlar.
6. QF_Cloud_Mask: Bu katman, gece ışık ölçümlerinin güvenilirliğini değerlendirmek için kritik öneme sahip olan bulut örtüsü hakkında ayrıntılı bilgi verir.
7. QF_Snow_Flag: Bu katman, gece ışık yansımaları önemli ölçüde etkileyebilen kar örtüsünün varlığını gösterir.

VNP46A3 (aylık) ve VNP46A4 (yıllık) ürünleri iki ana kategoriye ayrılan katmanlara sahiptir: Karla kaplı ve karsız katmanlar, çünkü kar varlığı yüzey albedosunu etkiler. Ayrıca tüm açılar, nadir'e yakın ve nadir dışı kompozitlere ayrılırlar. Her kategori, parlaklık değeri katmanını, belirli bir ay veya yıl için gözlem sayısını, standart sapma değeri katmanını ve bir kalite bayrağı katmanını içerir.

Bu birimleri ve katmanları anlamak, Black Marble veri setini kullanan araştırmacılar için çok önemlidir. Çoklu katmanlar, gece ışık ölçümlerini etkileyebilecek çeşitli faktörleri göz önünde bulundurarak kapsamlı analiz yapılmasına olanak tanır. Örneğin, kalite bayrakları ve bulut maskesi katmanları güvenilir olmayan veri noktalarını filtrelemek için gerekliyken, BRDF düzeltmeli katmanlar zaman ve mekan içinde daha tutarlı ölçümler sağlar (Levin & Zhang, 2017).

Bu çeşitli katmanları kullanarak ve ilgili birimleri anlayarak, araştırmacılar yerel, bölgesel ve küresel ölçeklerde kentsel gelişim, enerji kullanım modelleri ve ışık kirliliği eğilimleri hakkında daha doğru analizler yapabilirler.

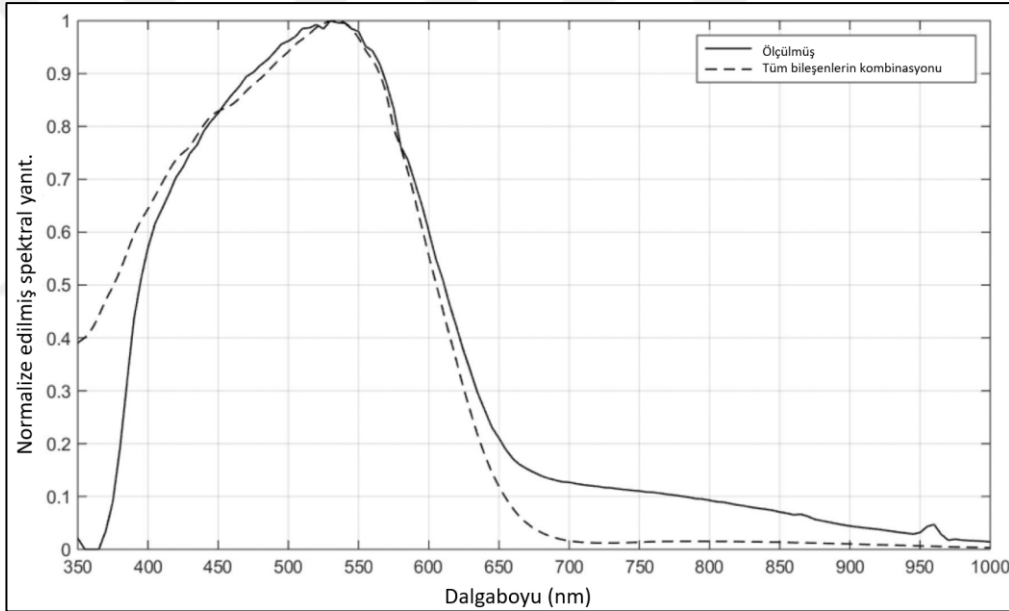
2.7 Yer Tabanlı Işık İzleme Ekipmanları

Yer tabanlı ışık izleme ekipmanı, ışık kirliliğinin doğru bir şekilde ölçülmesi ve analiz edilmesi için gereklidir. Uydulara kıyasla ışık kirliliği konusunda yerel bir bakış açısı ve daha hassas ölçümler sağlar. Bu bölümde, bu amaçla kullanılan çeşitli cihazlar incelenmekte, güçlü ve zayıf yönleri vurgulanmaktadır. Aşağıdaki alt bölümler Gökyüzü Kalite Ölçer (SQM) ve ışık kirliliği anlayışına katkıda bulunan diğer yer tabanlı cihazlara odaklanacaktır.

2.7.1 Gökyüzü Kalite Ölçer

İlk olarak Unihedron tarafından geliştirilen SQM, ışık kirliliğinin ölçülmesinde önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir (Birriel & Adkins, 2010). Bu tek boyutlu cihaz tek bir kanal kullanarak çalışır, tipik olarak zenitte gözlem yapar ve ışık-frekans dedektörü (TAOS TSL237S) kullanır ve geniş bir spektral bant ile yeşil renkte çalışır (Hänel vd., 2018; Sánchez de Miguel vd., 2017).

Her cihaz küçük ($3,6 \times 2,6 \times 1,1$ inç), taşınabilir bir ışık ölçerdir ve bir kızılötesi engelleme filtresi ile donatılmıştır (Birriel & Adkins, 2010). Ölçümler, ışık kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde birkaç saniye, en karanlık gökyüzünde ise 80 saniyeden fazla sürmez. Her cihaz bir NIST ışık ölçer kullanılarak kalibre edilir. Unihedron, tek bir cihazla yapılan ölçümler için $\pm 0,10$ kadir/açısanıye² hassasiyet bildirmektedir ve bu hassasiyetin saha gözlemleriyle tutarlı olduğu bildirilmektedir (Birriel vd., 2010). Şekil 2.6 SQM'nin spektral tepkisini göstermektedir. Kesikli çizgi, bileşenlerin tüm spektral tepki/iletim değerlerinin kombinasyonuna karşılık gelirken, siyah çizgi ölçülen toplam tepkidir.



Şekil 2.6. SQM'nin spektral yanıtı

SQM, parlaklık değerlerini logaritmik bir ölçek olan kadir/açısanıye² biriminde rapor eder, ancak Unihedron tarafından sağlanan bir denklem kullanılarak doğrusal değerlere dönüştürülebilir (Unihedron, 2023).

$$L = 10.8 \times 10^4 \times 10^{-0.4 \times mag}$$

"Kadir/açısanıye²" (**Mag/arcsec²**) gece gökyüzünün veya gök cisimlerinin parlaklığını ölçmek için kullanılan bir ölçü birimidir. Bu, gökyüzünün yüzey parlaklığını, gökyüzü küresi üzerindeki birim alan başına görünür büyüklük cinsinden ifade etmenin bir yolunu sağlar.

1. Görünür Büyüklük (mag): Bu, bir gök cisminin Dünya'dan gözlemlendiğindeki parlaklığını ölçen bir birimdir. Büyüklük ne kadar düşükse, cisim o kadar parlaktır. Negatif büyüklükler, olağanüstü parlak cisimleri gösterir. Örneğin, dolunayın görünür büyüklüğü yaklaşık -12,6 iken, zayıf yıldızlar pozitif büyüklüklerle ölçülür.
2. Kare Saniye (arcsec²): Bu, göksel küre üzerindeki bir katı açı birimidir. Bir saniye açısal (arcsec) bir dakikanın 1/60'ı, bir dakika bir derecenin 1/60'ıdır. Kare alındığında, arcsec², gökyüzündeki küçük bir alanı temsil eder.
3. Kadir/açısanıye²: Bu iki birimi birleştirdiğimizde, belirli bir gökyüzü alanı üzerinde yayılan parlaklığı ölçen bir birim elde ederiz. Astronomlar ve gökbilimciler için, belirli bir konumdaki gece gökyüzünün genel parlaklık seviyesini değerlendirmede kullanılır.

Kadir/açısanıye² ölçümü, ışık kirliliği bağlamında kritik bir öneme sahiptir, çünkü bu, yapay ışıkların gece gökyüzünün karanlığı üzerindeki etkisini nicel olarak ölçmeyi sağlar. Yüksek ışık kirliliği olan bölgelerde, Kadir/açısanıye² değeri daha yüksek olacak, daha parlak ve daha az mükemmel bir gece gökyüzünü gösterecektir. Öte yandan, düşük ışık kirliliği olan bölgelerde, bu değer daha düşük olacak, daha karanlık ve daha doğal bir gece gökyüzünü işaret edecek, gök cisimleri daha görünür olacak ve genel gözlem deneyimi artacaktır.

Unihedron'a göre, kalibrasyon adımı maksimum ve minimum frekansları ara değerlere sabitlediği için SQM'nin aralığı üzerinde belirli bir sınır yoktur. Normal gece görüşünde, ölçüm cihazı yaklaşık 16 ila 23 kadir/açısanıye² arasında doğru okuma yapmalıdır, ancak yaklaşık 7 (en parlak) ila 23 (en karanlık) arasında bir aralığa sahiptir. Ölçüm cihazı, TSL237S sensörünün ışık doygunluğu spesifikasyonu olan 400kHz'lik bir parlaklık sınırı belirler. Sensör frekansı bu değere ulaştığında, çıkış 0 olarak ayarlanır. Parlak ayarlarda hassasiyeti artıracak tek şey, alınan ışık miktarını optik bir filtre ile sınırlamaktır (Unihedron, 2023).

Öncelikli olarak ele alacağımız SQM-L versiyonu, cihazın görüş alanını 20° (FWHM) ile sınırlayan ve böylece özellikle doğrudan aydınlatma varlığında değer ölçümlerinde tutarlılığı artıran bir lens içerir. Şekil 2.7'de bir SQM gösterilmektedir. Uzun süreler boyunca, SQM'ler muhafazanın bozulması nedeniyle bir yaşlanma etkisi yaşayabilir ve bu da kararlılık ile sonuçlanabilir (Fiorentin vd., 2022). Literatürde bu etkiyi sistematik olarak ölçmek için çeşitli yöntemler araştırılmış, alacakaranlığın kalibratör olarak kullanılması gibi teknikler öne çıkmıştır. Bir çalışmada, üç farklı SQM cihazı da yılda ortalama $44,33 \pm 0,26$ milikadir/açısanıye²'lik bir kararlılık etkisi hesaplanmıştır (Puschnig vd., 2020). Bu da bir yıl sonra %4,1 daha karanlık bir okuma anlamına gelmektedir. Sınırlamalara rağmen, SQM ışık kirliliğini izlemenin ve değerli veriler toplamanın uygun maliyetli bir yolu olmaya devam etmektedir.



Şekil 2.7. Koruyucu muhafazasına yerleştirilmiş yağış sonrası bir SQM

2.7.2 Diğer ölçüm cihazları

Gökyüzü Kalite Ölçere (SQM) ek olarak, ışık kirliliğini ölçmek için diğer bazı yer tabanlı cihazlar da önemlidir (Hänel vd., 2018).

1. STARS4ALL projesi tarafından geliştirilen TESS-W fotometresi, ışık ölçümlerini yakalamak için özel bir ışık detektörü ve filtre kullanır. Büyük ağlar için tasarlanmıştır ve kızılötesi sensör kullanarak bulutları da tespit edebilir.
2. Tüm Gökyüzü Kameraları gibi iki boyutlu görüntüleme cihazları, geniş alanlardaki parlaklığın haritasını çıkarmak için gökyüzünün geniş açılı fotoğraflarını çeker. Bunlar, tüm gökyüzü görüntülerini yakalamak için balık gözü lensli DSLR kameralar kullanan gelişmiş cihazlardır. Bu görüntüler, gökyüzü parlaklığının mekansal dağılımı hakkında ayrıntılı veriler sağlar ve araştırmacıların çeşitli ışık kaynaklarının gece gökyüzü üzerindeki etkisini analiz etmelerine olanak tanır. Bu sistemler aynı zamanda yüksek doğruluk derecesine sahip kalibre edilmiş veriler de verebilir; ancak bu tür görüntülerin veri indirgeme ve analizi hala oldukça karmaşıktır. Şekil 2.8'de bir Tüm Gökyüzü Kamerası gösterilmektedir.
3. Karanlık Gökyüzü Ölçer, gökyüzü parlaklığını ölçmek için telefonun kamerasını kullanan bir iPhone uygulamasıdır. Veriler Globe at Night veri tabanına gönderilerek bilimsel araştırmalara katkıda bulunur.
4. Lüksetreler ve parlaklık ölçerler, geceleri daha az hassas olmalarına rağmen ışık seviyelerini ölçmek için kullanılabilen cihazlardır.

Bu araçlar, gece gökyüzünün kapsamlı ve ayrıntılı ölçümlerini sağlayarak ışık kirliliğinin etkilerini izleme ve azaltma becerimizi toplu olarak geliştirmektedir.



Şekil 2.8. Koruyucu muhafazasına yerleştirilmiş tipik bir All Sky Kamera

2.8 Önceki Çalışmalar

Işık kirliliği dünya çapında giderek artan bir endişe kaynağı haline gelmiştir ve dünyanın dört bir yanındaki araştırmacılar yaygınlığını ve etkisini anlamak için kapsamlı çalışmalar yürütmektedir. Son yıllarda, hem yerel hem de küresel ölçekte ışık kirliliğini ölçmeyi ve analiz etmeyi amaçlayan araştırma çabalarında önemli bir artış olmuştur. Örneğin, Polonya'nın Torun kentinde yapılan bir çalışmada, şehir genelinde gece gökyüzü parlaklığı değişimlerini değerlendirmek için SQM'ler kullanılmış ve astronomik ve hava koşulları karşılaştırılmıştır (Karpińska, 2020). Benzer şekilde, Endonezya'da yapılan mevsimsel bir analizde (Herdiwijaya vd., 2020), SQM'ler tarafından ölçüldüğü üzere, gece gökyüzünün en karanlık seviyelerine yaz aylarında ulaştığını gözlemlemiştir. Ayrıca, İtalya'nın Veneto bölgesinde yürütülen araştırma, gece gökyüzü parlaklığı seviyelerini haritalamak için bir SQM ağı kullanmış ve farklı bir coğrafi alandaki ışık kirliliğinin mekansal ve zamansal modellerine ilişkin değerli bilgiler sağlamıştır (Bertolo vd., 2019). İspanya'nın Galiçya bölgesinde gece gökyüzü parlaklığında yıllık +0,09 kadirlik bir artış olduğunu belgelemiş ve bu artışı olası aerosol varlığına veya SQM cihazının yaşlanma etkilerine bağlamıştır (Bará vd., 2019).

Işık kirliliği araştırmalarının kapsamını daha da genişleten, Avusturya'nın doğusundaki 26 lokasyonda yapılan bir çalışma, yapay gece gökyüzü parlaklığının yüksek çözünürlüklü haritalarını oluşturmak için yer tabanlı ölçümleri uydu verileriyle birleştirmenin etkinliğini göstermiştir (Posch vd., 2018). Ayrıca PM10 seviyeleri gibi diğer çevresel faktörleri de araştırmışlardır. (Cavazzani et al., 2020) tarafından Şili ve İtalya'da yapılan araştırma, hem SQM ölçümlerinden hem de uydu verilerinden yararlanarak %95 gibi etkileyici bir doğruluk oranına sahip bir bulut örtüsü korelasyon algoritması geliştirmiştir. Son olarak, 'Keep it Dark' adlı bir proje, Hollanda'daki bir SQM ağından elde edilen uzun vadeli gece gökyüzü parlaklığı eğilimlerini incelemiştir. Bu yerel çalışmalar, dünya çapındaki diğer birçok çalışmanın yanı sıra, ışık kirliliğinin küresel boyutu hakkında giderek artan bir bilgi birikimine katkıda bulunmuştur. Uydu

tabanlı araştırmalar, araştırmacıların gece ışık emisyonlarındaki değişiklikleri küresel ölçekte takip etmelerini sağlayarak kentsel alanlarda ve hatta daha önce karanlık olan bölgelerde yapay aydınlatmadaki endişe verici artışları ortaya çıkarmıştır (Kyba vd., 2017). Bu küresel bakış açısı, etkileri ulusal sınırları aşan ve dünya çapında ekosistemleri, insan sağlığını ve astronomik gözlemleri etkileyen ışık kirliliğinin ele alınmasında uluslararası işbirliğine duyulan acil ihtiyacın altını çizmiştir.

Türkiye'de ışık kirliliği araştırmaları son yıllarda önemli bir ivme kazanmış, konunun ülke genelindeki yaygınlığını ve etkisini ele alan çok sayıda önemli çalışma yapılmıştır. Bu alanda yapılan bazı çalışmalar, Türkiye'de ışık kirliliğinin daha iyi anlaşılmasına vesile olmuştur. (Aslan, 2018) Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde hem yer tabanlı ölçümler hem de uydu veri analizi kullanarak ışık kirliliği üzerine kapsamlı çalışmalar yürütmüşlerdir. Eskişehir ve çevresindeki gece gökyüzü parlaklığına Gökyüzü Kalite Ölçerler (SQM'ler) kullanılarak erişilmiştir (Altan vd., 2013). Araştırmaları, kentsel alanlar arasında ışık kirliliği seviyelerinde önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Aynı yıl, Antalya için DMSP/OLS uydu verileri kullanılarak 2010 yılı için yapılan analizde yapay ışık kirliliğine dikkat çekilmiştir (Koc-San vd., 2013). www.isikkirliligi.org/ web sitesi de Türkiye'de ışık kirliliğinin önlenmesine yönelik çalışmalarda önemli bir kaynaktır. Karaman ve İzmir şehirleri için bir ışık kirliliği ölçüm çalışması ve harita üretimi gerçekleştirilmiştir (Yazıcı vd., 2022; Yetiş vd., 2019). Bu yerleştirilmiş çalışmalar, ışık kirliliğinin kentsel ortamlardaki mekânsal dağılımına ilişkin değerli bilgiler sağlamakta ve hedeflenen azaltma çabaları için sıcak noktaların belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Malatya şehrinde (Yılmaz & Özdemir, 2021) ve Erzurum ilinde ışık kirliliği seviyelerini ölçen ve tanımlayan iki çalışma daha yapılmıştır (Bingöl, 2022). Malatya için, yaklaşık aylık elektrik miktarının %27'sinin ışık kirliliğine neden olduğu bulunmuştur.

Bu temel üzerine inşa edilen daha yeni çalışmalar, Türkiye'deki ışık kirliliği araştırmalarının kapsamını genişletmiştir. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, ülke genelinde 2012 ve 2019 yılları arasında gece ışık emisyonlarındaki değişiklikleri analiz etmek için VIIRS DNB verileri kullanılmıştır (Yerli vd., 2021). Elde ettikleri bulgular, Türkiye'nin birçok kentsel ve kıyı bölgesinde ışık kirliliğinde önemli artışlar olduğunu ortaya koymuştur. Bu araştırma, özellikle büyük şehirlerde ve kıyı şeridinde, hem kentsel gelişim hem de ekolojik koruma açısından kritik öneme sahip alanlarda yapay gece aydınlatmasının hızla arttığını vurgulamıştır. Öte yandan, (Levin, 2023) tarafından yapılan bir çalışmada, 2023 depreminin ardından Türkiye'nin güneydoğusundaki gece ışık seviyelerindeki değişiklikler incelenmiş ve VIIRS uydu verilerinden elde edilen bulgular, özellikle gece ışık seviyelerinin %63 oranında azaldığı Antakya'da önemli bir azalma olduğunu göstermiştir.

Ayrıca, ışık kirliliğini diğer çevresel ve sosyal sorunlarla ilişkilendiren disiplinler arası yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. (Uyar, 2024), Türkiye'de yapay gece aydınlatması ile sera gazı emisyonları arasındaki ilişkiyi araştırmış ve 0,8 gibi güçlü bir korelasyon katsayısı bulmuştur. Bazı gelişmiş ülkeler ışık kirliliği konusunda kamu politikaları oluşturarak vatandaşlarının sağlığını ve yaşam biçimlerini korumayı amaçlamıştır. Türkiye'de de benzer kamu politikalarını ve bunların önemini inceleyen bir tez çalışması yapılmıştır (Özarabac, 2017). Işık kirliliğinin ekolojik etkileri de incelenmiştir. Bir çalışma, Akdeniz'deki önemli yeşil kaplumbağa (*Chelonia mydas*) yuvalama kumsallarında uydulardan alınan görüntüleri kullanarak ışık seviyelerini

araştırmış ve çekirdek yuvalama kumsallarında bozulmuş habitat kalitesini ortaya koymuştur (Leader vd., 2024).

Bu farklı çalışmalar, ışık kirliliğinin Türkiye'de önemli bir çevre sorunu olarak giderek daha fazla kabul gördüğünü göstermektedir. Ülke genelinde ışık kirliliğinin mevcut durumuna ilişkin kapsamlı bir resim sunmakta ve olumsuz etkilerini azaltmayı amaçlayan gelecekteki araştırma ve politika geliştirme çalışmaları için sağlam bir temel oluşturmaktadır.



3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, bu çalışmada veri toplama ve analiz için kullanılan prosedürler ve araçlar özetlenmektedir. Araştırma temel olarak dijital yöntemlere dayanmaktadır. Aşağıdaki alt bölümler, saha seçimi, veri toplama ve çalışma boyunca kullanılan ekipman ve yazılım dahil olmak üzere kullanılan belirli metodolojileri detaylandırmaktadır. Bu yöntemlere kapsamlı bir genel bakış sunan bu bölüm, sunulan bulguların tekrarlanabilirliğini ve güvenilirliğini sağlamayı amaçlamaktadır.

3.1 Çalışma Bölgesi

Çalışma, çevresel ve demografik özellikleri nedeniyle seçilen Türkiye'nin Antalya iline odaklanmaktadır. Antalya, deniz ekosistemleri, dağlık bölgeler ve eteklerindeki geniş ormanlar da dahil olmak üzere çok çeşitli doğal habitatla çevrili bir kıyı kentidir. Bu farklı ortamlar, Antalya'yı ışık kirliliğinin çeşitli doğal habitatlar ve yaban hayatı üzerindeki etkilerini incelemek için ideal bir yer haline getirmektedir.

Ayrıca, Antalya son yıllarda önemli bir nüfus artışı yaşamıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Antalya, son beş yılda Türkiye'nin en kalabalık ilk beş ili arasında %7,35 ile en büyük nüfus artışına sahip il olmuştur (TÜİK, 2023). Bu büyüme, son jeopolitik olayların ardından artan göç ve 2020'den sonra bölgeye taşınan insan sayısındaki genel artış da dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlanabilir. Çizelge 3.1 bu büyümeyi diğer şehirlerle karşılaştırmaktadır.

Çizelge 3.1. TÜİK'in son verilerine göre Türkiye'nin ve en büyük beş ilinin son beş yıldaki nüfus değişimi. (Son erişim tarihi 31 Temmuz 2024)

Türkiye'deki Nüfus Artışı (2019-2023)			
Lokasyon	2019	2023	Nüfus Artışı
Türkiye	83.154.997	85.372.377	2,667%
İstanbul	15.519.267	15.655.924	0,881%
Ankara	5.639.076	5.803.482	2,915%
İzmir	4.367.251	4.479.525	2,571%
Bursa	3.056.120	3.214.571	5,185%
Antalya	2.511.700	2.696.249	7,348%

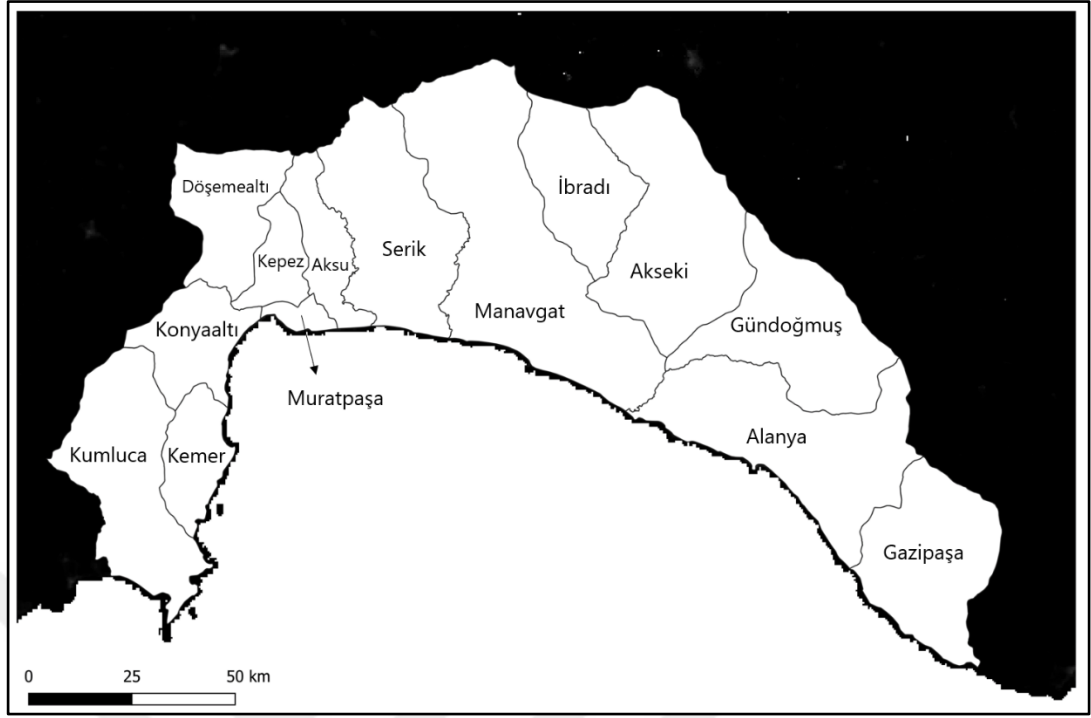
Bu hızlı nüfus artışı, Antalya'nın önemli bir turizm merkezi olmasıyla birleştiğinde, ışık kirliliği seviyelerinin yükselmesine katkıda bulunmuş ve Antalya'yı bu çalışma için kritik bir alan haline getirmiştir.

3.1.1 Antalya'nın ilçeleri

Antalya İli şu aşağıdaki ilçelerden oluşmaktadır:

1. Akseki
2. Aksu
3. Alanya
4. Demre
5. Döşemealtı
6. Elmalı
7. Finike
8. Gazipaşa
9. Gündoğmuş
10. İbradı
11. Kaş
12. Kemer
13. Kepez
14. Konyaaltı
15. Korkuteli
16. Kumluca
17. Manavgat
18. Muratpaşa
19. Serik

NASA'nın ızgara karolara bölünmüş Black Marble veri setinin kısıtlamaları göz önüne alındığında, analiz için yönetilebilir bir alan seçmek gereklidir. Antalya için grid karesi tüm ili kapsamamaktadır; iki ayrı kareye bölünmüştür. Her iki karenin de kullanılması analizi zorlaştıracığı için, bu çalışma, tek bir grid karesi içinde Antalya ana kenti ve çevresindeki ilçelere odaklanmaktadır. Bu yaklaşım, kapsamlı ve uygulanabilir bir analiz sağlamaktadır. İlgili ilçeler Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Burada Demre, Elmalı, Finike, Kaş, ve Korkuteli hariç diğer ilçelerini temsil etmektedir.



Şekil 3.1. Antalya şehri için ızgara karesi içinde yer alan ilçelerin temsili

Ayrıca, ışık kirliliğini hava kirliliği verileriyle karşılaştırmak için ilçeleri daha da daraltmak gerekmiştir. Antalya'daki tüm ilçelerin hava kirliliği verileri mevcut değildir. Bu nedenle, çalışma özellikle hem ışık kirliliği hem de hava kirliliği verilerine sahip olan Muratpaşa, Kepez, Gazipaşa ve Kumluca ilçelerini analiz etmektedir. Seçilen bu ilçeler analizin çekirdeğini oluşturmaktadır.

3.2 Veri Toplama

Bu çalışma için veri toplama süreci, Antalya'daki ışık kirliliği ve hava kirliliği eğilimlerini analiz etmek için hem yer tabanlı hem de uydu verilerinin elde edilmesini kapsar. Bu ikili yaklaşım, uydu verilerindeki eğilimlerin, gerçek zamanlı yer gözlemlerindeki eğilimlerle uyumlu olup olmadığını kontrol etmeyi amaçlamaktadır. Birincil hedef, uydu gözlemleriyle karşılaştırmak için mümkün olduğunca çok yer tabanlı veri elde etmektir. Yer verileri, uydudan elde edilen verilerin doğruluğunu teyit etmek ve yerel varyasyonları anlamak için çok önemli olan ışık kirliliğinin doğrudan bir ölçümünü sağlar.

Antalya'daki TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nden veriler elde edilmiştir ve Çizelge 3.2'de gösterilmektedir. Saklıkent'te (Bakırlıtepe) bir dağın tepesinde bulunan bu istasyon, 2019'dan 2023'e kadar sürekli SQM verileri sağlamıştır. SQM, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde veri kaydı yapmaktadır. Şekil 3.2'de gözlemevinin bulunduğu çevre gösterilmektedir.



Şekil 3.2. TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi

Veri seti bazı boşluklar içermesine rağmen, Antalya için mevcut olan en kapsamlı ve en yeni yer tabanlı verilerdir. En uzun sürekli veri toplama 2020 yılında yapılmıştır. Bu veriler, şehrin dış mahallelerindeki ışık kirliliği eğilimlerini ölçmek için kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Toplanan yer tabanlı verilerin zamansal ölçeğinin bir özeti.

SQM Verileri		
Lokasyon	Yıl	Ölçülen Gece Sayısı
Bakırlitepe, Antalya	2019	54
Enlem: 36,8248	2020	237
Boylam: 30,3356	2021	18
	2022	47
	2023	24

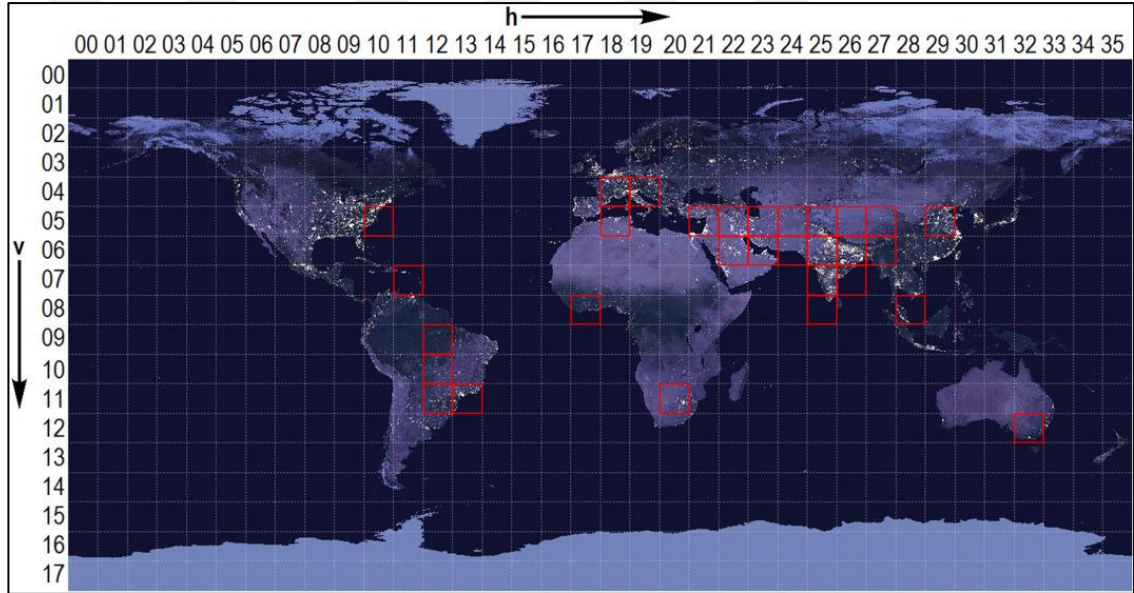
Ayrıca, hava kalitesi verileri T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Sürekli İzleme Merkezi web sitesinden alınmıştır. Bu veriler, Antalya ilindeki çeşitli konumlar için PM2,5 ölçümlerini içermektedir. Veriler aşağıdaki istasyonlardan elde edilmiştir:

1. Antalya-Trafik (bu istasyon Muratpaşa ilçesindedir)

2. Kepez
3. Kumluca
4. Gazipaşa

Bu veriler, hava kirliliği eğilimlerini ışık kirliliği ile karşılaştırmak ve daha kapsamlı bir çevresel analiz sağlamak için çok önemlidir.

Uydu gözlemleri için NASA'nın Black Marble verileri kullanılmıştır. Bu veri seti 2012'den günümüze kadar günlük, aylık ve yıllık kompozitlerle geniş bir kapsama alanı sunmaktadır (Z. Wang vd., 2022). Black Marble verileri, yüksek zamansal çözünürlüğü ve uzun dönemli olması nedeniyle özellikle değerlidir ve zaman içindeki ışık kirliliği eğilimlerinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır. Black Marble veri dosyalarını bölmek için bir döşeme sistemi kullanır. Şekil 3.3, Dünya'nın bu sistem kullanılarak nasıl bölündüğünü göstermektedir. Ekvator yakınındaki karolar kabaca 10x10 derecedir. Boylamsal ekseninde karolar h01'den h35'e kadar numaralandırılırken, enlemlerde v01'den v17'ye kadar numaralandırılır. h21v05 karesi Antalya'nın ilçelerinin çoğunu içerir.



Şekil 3.3. Black Marble verileri için kullanılan 36x18 kare ızgara

Her döşenmiş ürün bir dosya adlandırma kuralını takip eder. Örneğin, VNP46A1.A2019004.h21v05.002.2020244220120.h5 dosya adı şunları gösterir:

1. VNP46A1: Ürünün Kısa Adı
2. A2019004: Edinim yılı ve Jülyen günü (YYYYGGG)
3. h21v05: Döşeme Tanımlayıcısı (yatayXXdüşeyYY) (yukarıda açıklandığı gibi)
4. 002: Koleksiyon Versiyonu
5. 2020244220120: Üretim yılı, Jülyen günü ve saati (YYYYGGGSSDDSS)
6. h5: Veri Formatı (HDF-EOS5)

Veri toplama sırasında, sürekli yer verilerinin eksikliği ve karşılaştırmalı analiz için veri kümelerini hava kirliliği verileriyle filtreleme ve hizalama ihtiyacı da dahil

olmak üzere çeşitli zorluklarla karşılaşmıştır. Bu zorluklara rağmen, nihai veri setleri çalışmanın analizi ve sonuçları için sağlam bir temel oluşturmuştur.

3.3 Veri İşleme Ve Analizi

Bu bölümde toplanan verileri işlemek ve analiz etmek için kullanılan yöntemler ve yazılımlar özetlenmektedir. Sonuçlar daha sonra sunulacak olsa da, bu bölüm tüm verilere uygulanan analitik tekniklere bir bakış sağlamaktadır.

3.3.1 SQM verisi işleme ve analizi

SQM verileri CSV ve DAT dosyaları gibi birden fazla formatta saklanmıştır. Bu büyük veri kümelerini işlemek ve analiz etmek için Python ve Pandas, Matplotlib ve Seaborn gibi kütüphaneler kullanılmıştır. Bu kütüphaneler grafiklerin ve görselleştirmelerin oluşturulmasını kolaylaştırarak eğilimlerin ve kalıpların belirlenmesine yardımcı olmuştur. Analizin önemli bir kısmı, doğruluğu sağlamak için verilerin filtrelenmesini içerir. Güneş ve Ay'ın konumlarını ufkun üstünde veya altında derece cinsinden hesaplamak için özel bir Python kodu (EK-1) kullanılmıştır. Astronomik alacakaranlığın sona ermesinden sonra, tipik olarak Güneş ufkun 18 dereceden daha az altına indiğinde, gece gökyüzü parlaklığı üzerindeki etkisi sona erer. Aynı şekilde, dolunay da ufkun 3 dereceden fazla altına indiğinde gökyüzü parlaklığını önemli ölçüde etkilemeye son verir (L. J. M. U. Astrophysics Research Institute, n.d.). Verileri zaman ve konuma göre filtrelemek için PyEphem kullanılmıştır. PyEphem, gök cisimlerinin konumlarını hesaplamak gibi astronomi hesaplamalarını gerçekleştirmek için kullanılan bir Python kütüphanesidir.

Güneş için -18 derecenin altındaki tüm yükseklik değerleri gece vakti olarak kabul edilir ve 0 ila -18 derece arasındaki tüm yükseklik değerleri alacakaranlık olarak kabul edilir. Bu şekilde, SQM'den gelen tüm değerlerin filtrelendiği -18 derecelik bir eşik ayarlamak kolaydır. Ancak bu durum Ay için daha karmaşıktır. Basitçe -3 derecelik temkinli bir değer belirleyebilir ve bunun üzerindeki herhangi bir değer için verileri filtreleyebiliriz, ancak bu çok fazla ekstra verinin kaldırılmasına yol açacaktır. Bunun nedeni, gece gökyüzünün parlaklığı üzerindeki etkisini değerlendirirken yüksekliğin yanı sıra Ay'ın evresinin de dikkate alınması gerektiğidir. Filtrelemeyi optimize etmek için şu husus göz önünde bulundurulmuştur: Ay 5 derece yüksekliğe kadar ve %10 aydınlatılmışsa veya ufukta ve %50 aydınlatılmışsa veya ufkun 3 derece altında ve %100 aydınlatılmışsa etkili bir şekilde gecedir (L. J. M. U. Astrophysics Research Institute, n.d.). Python kodu, Ay'ın evresinin ek parametresini dikkate alacak şekilde ayarlanırken üç koşul arasında tek tip gradyan tabanlı bir filtreleme uygulanmıştır. Örneğin, bu süreçte orta eşik -1,5 derece yükseklikte Ay'ın %75 aydınlatılması olacaktır.

Ayrıca, EUMETSAT'ın bulut maskesi ürününden alınan bulut örtüsü verileri, gökyüzünün açık veya bulutlu olup olmadığının bir ölçüsünü sağlamak için kullanılmıştır. Bu veriler 24 saatlik bir süre içinde her 15 dakikalık aralık için mevcuttur. Bulut örtüsü koşullarını bulmak için SQM istasyonunun koordinatları üzerine dört piksellik bir ızgara (2x2) yerleştirilmiştir. Bu bölge için her bir pikselin boyutları 3.9x4.7 km olarak hesaplanmıştır. Böylece, toplam piksel ızgarası 7.8x9.4 km'lik bir alanı kapsamaktadır. SQM, 10 derece yarıçaplı konik bir gökyüzü

görünümüne sahiptir. Trigonometrik hesaplamalara göre, bu enlem için toplam bulut örtüsü ve maksimum tavandaki (12.7km) cirrus bulutları göz önüne alındığında (J. Wang vd., 2013), SQM 4,4 km genişliğinde bir bulutu görüntüleyecektir. Bu bulut yine de piksel ızgarası içinde yer alacak ve maksimum yükseklikte toplam bulut örtüsünün en uç durumunu varsayacaktır. Daha sonra, zamansal hizalamayı sağlamak için bulut maskesi verilerinin zaman damgalarının SQM verileriyle senkronize edildiği zamansal eşleştirme yapılır. Son adımda, SQM okumaları ve bulut maskesi verileri için ikili sınıflandırma yapılır. Izgara içindeki herhangi bir bulutlu piksel, ilgili zaman dilimi için bulutlu koşullar olarak sınıflandırılır. Bu temkinli bir yaklaşımdır ve yalnızca açık gökyüzü olasılığının en yüksek olduğu dönemlerden gelen verilerin analize dahil edilmesini sağlayarak ihtiyatlı davranır. Bu yaklaşımın bazı doğal sınırlamaları vardır:

1. Mekânsal Çözünürlük Uyuşmazlığı

Bir pikselin herhangi bir bölümünde tespit edilen bulutlar doğrudan SQM istasyonunun üzerinde olmayabilir, ancak yine de tüm pikselin bulutlu olarak etiketlenmesine neden olur. SQM'nin üzerindeki gökyüzünün açık olduğu ancak çevredeki alanların bulutlu olduğu dönemler, potansiyel olarak geçerli verilerin hariç tutulmasına neden olur.

2. Temkinli Bulut Sınıflandırması

Herhangi bir piksel bulutluysa tüm zaman aralığını bulutlu olarak sınıflandırmak aşırı veri dışlanmasına yol açabilir ve tipik gökyüzü koşullarını temsil etmeyebilir. Kalan veriler olağandışı açıklık dönemlerini aşırı vurgulayarak bulguların genellenebilirliğini etkileyebilir.

3. Zamansal Çözünürlük ve Zamanlama

Her 15 dakikada bir veri olmasına rağmen, bulut örtüsü daha hızlı değişebilir ve uydu verileri SQM okumalarını etkileyen geçici bulut olaylarını yakalayamayabilir. Bunun nedeni, bulut maskesindeki ve SQM ölçümlerindeki zaman adımları arasındaki uyumsuzluktur.

4. Atmosferik Değişkenlik

Farklı bulut türlerinin gökyüzü parlaklık ölçümleri üzerinde farklı etkileri olabileceğinden, bulut maskesi bulut türleri arasında ayırım yapmaz.

Sınırlamalara rağmen, bu yaklaşım otomatik işleme kabiliyeti ile sistematik ve tekrarlanabilir bir metodolojiye sahiptir. İhtiyatlı tahmin, yanlış açık gökyüzü sınıflandırmalarını azaltır ve yer tabanlı hava gözlemlerine dayanmaz. Tüm bu sürecin sonunda, kalıpları analiz etmek ve konum için bir temel oluşturmak amacıyla kullanılan bozulmamış bir SQM veri kümesi elde edilmiştir. Bunlar sonuçlar bölümünde daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

3.3.2 Black Marble verisi işleme ve analizi

Uydu verileri NASA'nın H5 dosya formatında mevcut olan Black Marble veri setinden elde edilmiştir. Bu dosyalar NASA tarafından sağlanan bir Python kodunu kullanarak TIFF formatına dönüştürülmüştür (NASA, 2020). TIFF dosyaları daha sonra bir coğrafi bilgi sistemi (GIS) yazılımı olan QGIS kullanılarak işlenmiştir.

Bu veri seti, Türkiye'nin Antalya bölgesindeki ışık emisyonlarının uzun vadeli analizi için kullanılmıştır. Bölüm 2.6'daki literatür taramasında açıklandığı gibi, VNP46A2 ürününden üretilen her dosya, ay ışığı ışınımı için filtrelenmiş günlük veriler

sağlar ve birden fazla bilimsel katman sunar. Uygun bir seçenek olabilir, ancak bu çalışma için kullanılmamıştır. Bu kararın temel nedeni, özellikle 2012'den 2023'e kadar olan uzun vadeli eğilimleri analiz etmenin hesaplama açısından verimsiz ve günlük verilerle fazla ayrıntılı olmasıdır. Bunun yerine analiz, günlük VNP46A2 verilerinin aylık ve yıllık kompozitleri olan VNP46A3 ve VNP46A4 ürünleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kompozitler uzun vadeli eğilimler için daha uygundur, yönetilebilir bir veri hacmi ve büyük ölçekli analiz için halihazırda birleştirilmiş bilgiler sunar. Bununla birlikte, VNP46A2 günlük verileri iyi belgelenmiş olsa da, NASA'nın bu günlük verileri aylık ve yıllık formlara nasıl birleştirdiği açık değildir. Bu birleştirme sürecinin anlaşılması, bu analizde kullanılan verilerin geçerliliğini ve yorumlanmasını sağlamak için gereklidir.

NASA birleştirme yönteminin doğrulama testi

NASA'nın birleştirme işleminin doğruluğunu teyit etmek için bir test gerçekleştirilmiştir. Bu testte, Mart 2020 ve Haziran 2024 için tüm günlük VNP46A2 dosyaları alınarak bu aylar için özel kompozitler oluşturmak için kullanılmıştır. Test, Antalya'daki Akdeniz Üniversitesi Stadyumu'nda bulunan tek bir piksele odaklanmıştır. Bu konumun spesifik koordinatları aşağıdaki gibidir: 36.8937°N, 30.6467°E

Testin sağlamlığından emin olmak için farklı yıllardan iki farklı ay seçilmiştir. Bu testin amacı, bu özel kompozitin sonuçlarını NASA'nın aynı dönem için sağladığı VNP46A3 aylık kompozit ile karşılaştırmaktır. İki sonucu karşılaştırmadaki amaç, kullanılan birleştirme yöntemini doğrulamaktır. Sonuçlar tutarlıysa, NASA'nın hem aylık hem de yıllık kompozitler oluşturmak için benzer bir yaklaşım izlediği varsayılabilir. Bu, VNP46A3 ve VNP46A4 verilerinin, orijinal günlük verilerin nasıl işlendiğinin net bir şekilde anlaşılmasıyla uzun vadeli analiz için kullanılabileceğine dair güven sağlayacaktır.

Seçilen aylardaki her gün için VNP46A2 ürününden birkaç katman analiz edilmiştir:

1. **“BRDF-Corrected DNB-NTL”**: Bu katman gece ışıklarının düzeltilmiş parlaklık değerlerini içerir. Atmosferik, arazi, ay BRDF'si, termal ve başboş ışık etkilerini hesaba katar. Bu katman, testteki ışık emisyonları için birincil odak noktasıdır.
2. **“Gap Filled BRDF-Corrected DNB-NTL”**: Bu katman analizde kullanılmamıştır. Boşluk doldurma katmanı, önceki en iyi verilerden ekstrapolasyon yaparak eksik değerleri doldurmaya çalışır ve o günkü gerçek durumu temsil etmez.
3. **“Mandatory Quality Flag”**: Kalite bayrağı filtreleme sürecinin önemli bir parçasıdır. Değerleri aşağıdaki gibi yorumlanmıştır:
 - a. **00**: Yüksek kalite (kalıcı gece ışıklarına sahip ana algoritma).
 - b. **01**: Yüksek kalite (geçici gece ışıkları ile ana algoritma).
 - c. **02**: Bulut kirliliği, aykırı değerler veya hatalardan kaynaklanabilecek düşük kalite.
 - d. **255**: Veri yok.

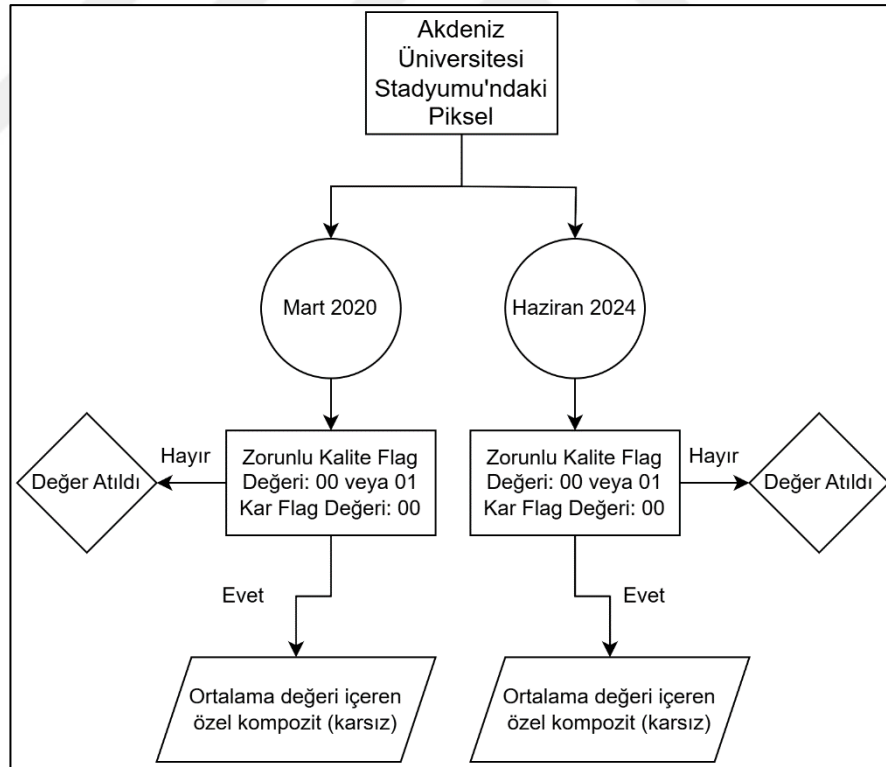
Nihai bileşikte yalnızca 00 veya 01 kalite bayrağına sahip (yüksek kaliteli verileri gösteren) veriler kullanılmıştır.

4. **“Snow/Ice Flag”**: Bu bayrak pikselde kar veya buz olup olmadığını gösterir. Değerler şöyledir:

- 00**: Kar ya da buz yok.
- 01**: Kar ya da buz var.
- 255**: Veri yok.

Veri noktaları yalnızca kar bayrağı 00 değerine sahipse, yani kar veya buz tespit edilmediyse dahil edilmiştir.

Düşük kaliteli veya karlı günler filtreledikten sonra, aylık bir bileşik oluşturmak için her ayın günlük verilerinin ortalaması alınmıştır. Özellikle, BRDF ile düzeltilmiş DNB-NTL değerleri kullanılmış ve ortalama hesaplamaya yalnızca filtrelenmiş yüksek kaliteli, karsız veriler dahil edilmiştir. Bu özel aylık kompozit daha sonra o ay için karşılık gelen NASA VNP46A3 ürünü ile karşılaştırılmıştır. Tutarlılık için, VNP46A3 kompozitindeki “Tüm Açılar Kar Yok” katmanı, benzer bir filtreleme yaklaşımını yansıttığı için (yani, tüm açılar dikkate alınarak ve kar hariç tutularak) kullanılmıştır. Karşılaştırma, özel kompozitten elde edilen ortalama değerlerin NASA kompozitinkilerle eşleşip eşleşmediğini veya bunlara yakın olup olmadığını belirlemeye odaklanmıştır. Benzer sonuçlar elde edilirse, bu NASA'nın birleştirme sürecinin benzer adımları izlediğine dair güven sağlayacak ve böylece uzun vadeli analizde aylık ve yıllık kompozitlerinin kullanılmasına izin verecektir. Şekil 3.4 yukarıda açıklanan sürece genel bir bakışı göstermektedir.



Şekil 3.4. Özel kompozit oluşturulması için metodoloji

Aylık ve yıllık kompozitlerin işlenmesi

Doğrulama testi ile NASA Black Marble kompozitlerinin geçerliliğini teyit ettikten sonra, Antalya bölgesi genelinde nihai piksel seçimi için tutarlı ve güvenilir bir yöntem uygulamak çok önemli hale gelmiştir. Bu adım, gözlem sayısındaki değişkenliği ve ışık emisyonlarının uzun vadeli analizini etkileyebilecek kısa süreli yapay aydınlatma, yangınlar veya atmosferik koşullar gibi potansiyel geçici olayları ele almak için gereklidir. Bu standartlaştırılmış yöntemin amacı, sadece istikrarlı ve temsili ışık emisyonu verilerinin dikkate alınmasını sağlayarak düzensiz olayların veya tutarsız gözlemlerin uzun vadeli eğilimler üzerindeki etkisini en aza indirmektir. Aşağıdaki adımlar, Antalya'nın her ilçesi için uygulanan tekrarlanabilir sürecin ana hatlarını çizmektedir:

1. Bölge Sınırlarının Edinilmesi

İlk adım olarak Harita Genel Müdürlüğü'nden Antalya'nın ilçelerinin idari sınırları (Türkiye Mülki İdare Sınırları) indirilmiştir. Sınırlar shapefile formatında sağlanmıştır. NASA Black Marble verilerinin mekansal çözünürlüğüne uyması için bu vektör dosyaları, Black Marble ürünlerinin piksel boyutuna karşılık gelen 424.326 x 424.326 metre piksel boyutuna sahip bir raster formatına dönüştürülmüştür. Şekil dosyaları için kullanılan koordinat referans sistemi, Yer Bilimsel Etüt Bilgi Sistemi web sitesinin Antalya bölgesi için önerdiği ED50 (EPSG: 2320) olmuştur.

2. Shapefile'ların Raster'a Dönüştürülmesi

Shapefile sınırları, alanlarının %50'sinden fazlası sınır çizgisi içinde kalan piksellerin bir bölgeye dahil edildiği bir kural uygulanarak raster formatına dönüştürülmüştür. Bir pikselin alanının %50'sinden azı sınır içindeyse, o piksel hariç tutulmuştur. Bu adım QGIS'te “clip raster by mask layer” fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her bölge için piksellerin net bir şekilde tanımlanması sağlanmıştır.

3. Piksel Seçim Kriterleri

Filtreleme sürecini otomatikleştirmek için QGIS ortamında Python kodu yazılmış ve çalıştırılmıştır. Bu kod (EK-2), analiz için yalnızca güvenilir piksellerin seçilmesini sağlamak amacıyla Çizelge 3.3'te gösterilen kriterleri uygulamıştır.

Çizelge 3.3. VNP46A3 ve VNP46A4 ürünleri için uygulanan temel filtreleme kriterlerinin özeti.

Kriter	Aylık Kompozit	Yıllık Kompozit
Sınırı	> 50% ilçe sınırı içinde	> 50% ilçe sınırı içinde
Gözlem Sayısı	≥ 10	≥ 100
Varyasyon Katsayısı (CV)	< 0,5 ve < 0,9	< 0,5 ve < 0,9

Pikseller, raster dönüştürme sürecinde tanımlandığı gibi, alanlarının %50'sinden fazlası ilçe sınırları içinde yer alıyorsa veri setine dahil edilmiştir. Yalnızca yeterli veriye sahip piksellerin dahil edilmesini sağlamak için gözlem sayısı için minimum bir eşik belirlenmiştir. Bu kriter, her piksel için bileşik değerin önemli sayıda veri noktasına dayanmasını sağlar ve bu da her dönem için parlaklık değerlerinin güvenilirliğini artırır. Bu eşikler, veri bütünlüğü ile uzamsal kapsamı dengelemek için seçilmiştir. Geçici olayları hesaba katmak ve yüksek değişkenliğe sahip aykırı pikselleri kaldırmak için her piksel için varyasyon katsayısı (CV) hesaplanmıştır. CV, standart sapmanın ortalama parlaklık değerine oranıdır ve pikselin ışık emisyonlarının zaman içindeki değişkenliğinin bir ölçüsünü sağlar. Literatürde gece ışık çalışmaları için ideal CV eşiği konusunda fikir birliği olmadığı için iki farklı değer test edilmiştir:

1. **0,5:** CV'nin 0,5 olması, standart sapmanın ortalama değerin %50'sinden az olduğu anlamına gelir ve nispeten istikrarlı aydınlatma koşullarına işaret eder.
2. **0,9:** 0,9'luk bir CV daha fazla değişkenliğe izin vererek daha dinamik ışık modellerine sahip pikselleri yakalar ancak yine de aşırı aykırı değerleri hariç tutar.

CV eşiklerinin seçimi, verilerin keşifsel bir analizine dayanmaktadır. Temsili bir bölge için standart sapma ve parlaklık değerlerinin histogramları oluşturulmuş ve piksellerin çoğunun ortalama parlaklık değerlerinin %50'sinden daha az bir standart sapmaya sahip olduğu görülmüştür. Bu, 0,5'lik bir CV'nin istikrarlı ışık emisyon modellerini yakalayacağını, 0,9'luk bir CV'nin ise biraz daha yüksek değişkenliğe izin vereceğini ancak yine de önemli aykırı değerleri hariç tutacağını göstermiştir. Bu iki eşiğin kullanılması analizde esneklik sağlamıştır. İki filtrelenmiş veri seti oluşturularak (biri 0,5 CV ve diğeri 0,9 CV ile), bulguların eşik seçimine aşırı duyarlı olmadığından emin olmak için sonuçlar çapraz olarak doğrulanabilir.

NASA Black Marble aylık ve yıllık kompozitleri, pikselleri “iyi” gözlem sayısına göre sınıflandıran bir kalite katmanı da içerir. Bir piksel üçten fazla geçerli gözleme sahipse “iyi kalite” olarak işaretlenir. Ancak bu katman analizde doğrudan kullanılmamıştır, çünkü gözlem katmanı sayısının varlığı bu katmanı gereksiz kılmaktadır.

İşlenmiş kompozitlerin trend analizleri

Antalya'daki tüm ilçeler için aylık ve yıllık kompozitler işlendikten sonra, zaman içinde ışık emisyonlarındaki değişiklikleri incelemek için çeşitli analizler yapılmıştır. İlk analiz, 2019 ve 2023 yılları arasında gece ışık emisyonlarındaki yüzde değişimin hesaplanmasına odaklanmıştır. Amaç, bu süre zarfında parlaklık değerlerinde önemli artışlar veya düşüşler yaşayan alanları belirlemektir. QGIS kullanılarak her iki yıl için işlenmiş kompozitler üzerinde raster hesaplamalar yapılmıştır. Her bölge için 2019'daki parlaklık değerleri 2023'tekilerden çıkarılarak tüm geçerli pikseller için yüzde değişim hesaplanmıştır. Bu analiz, beş yıllık dönem boyunca ışık emisyonlarının nerede arttığını veya azaldığını görsel olarak gösteren bir uzamsal harita oluşturur. Bu harita oluşturulduktan sonra, özellikle yüzde değişimin önemli olduğu sıcak noktalarda, daha belirgin değişikliklerin arkasındaki nedenleri anlamak için daha fazla araştırma yapılmıştır. Google Earth geçmiş uydu görüntüleri kullanılarak özel vaka çalışmaları

yürütülmüştür. Örneğin, Antalya Havalimanı ve Kepez ilçesi yakınlarındaki alanlar, haritada gözle görülür değişiklikler gösterdiği için incelenmiştir.

Beş yıllık yüzde değişim analizine ek olarak, 2012'den 2023'e kadar yıllık bileşimler kullanılarak on bir yıllık bir perspektif sağlayan uzun vadeli bir eğilim analizi yapılmıştır. Bu daha geniş analiz, zaman içinde ilçelerdeki ışık seviyelerinde kademeli değişimler olduğunu ortaya koymuştur. Bu analizde iki temel ölçüt odak noktası olmuştur: ortalama parlaklık ve ışık değerlerinin toplamı. Standart sapma değerleri, bir t-tablosundan 2.201'lik bir t-değeri kullanılarak %95 güven aralıklarını hesaplamak için kullanılmıştır (örneklem büyüklüğü 12 olduğu için 11 serbestlik derecesi varsayılmıştır). Bu ölçütler, yoğunluktaki değişiklikleri yansıtan ve bir alandaki ortalama parlaklığın arttığını mı yoksa azaldığını mı gösteren, ortalama parlaklık ve kentsel genişlemeyi ve daha geniş alanlarda ışık kullanımındaki değişiklikleri yansıtabilecek toplam ışık çıktısını yakalayan ışık toplamı ile farklı bilgiler sunmuştur.

Son olarak, 2020 yılı, COVID-19 karantinaları ve kısıtlamalarının Antalya'nın ilçelerindeki ışık emisyonlarını nasıl etkilediğini incelemek için aylık kompozitleri kullanılmıştır. Türkiye'deki COVID kısıtlamalarının birkaç ay boyunca kademeli olarak uygulandığı göz önüne alındığında, bu analiz için günlük veriler yerine aylık kompozitler kullanılmıştır.

Uzaya kaybedilen toplam enerjinin tahmini

Uzaydaki toplam enerji kaybının tahmini uydu verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Radyansı aydınlığa dönüştürmek ve toplam ışık akısını hesaplamak için genel formül şöyledir:

$$\Phi = L \times \Omega \times A$$

Burada:

$$\Phi = \text{Toplam ışık akısı (W)}$$

$$L = \text{Radyans (W/cm}^2\text{/sr)}$$

$$\Omega = \text{Katı açı (steradyan)}$$

$$A = \text{Alan (m}^2\text{)}$$

Katı açı için, bir yarım kürenin katı açısını temsil eden 2π değeri seçilmiştir. Bu karar, yapay ışıkların öncelikle yukarı doğru yayıldığı ve dolayısıyla odak noktasının Dünya yüzeyinin üzerindeki yarım küre olduğu anlayışına dayanmaktadır. Alanı hesaplamak için daha önce açıklanan aynı işleme yöntemi kullanılmıştır. Şekil dosyası bölge sınırları içinde %50'den fazla yer alan pikseller belirlenmiş ve her bir bölgeyi temsil ettiği düşünülmüştür. Her bir pikselin alanı bilindiğinden ($0,18 \text{ km}^2$), her bir bölge için toplam alan, uygun piksel sayısı ile piksel alanı çarpılarak belirlenmiştir. Radyans için, her bir bölge için yapay ışık emisyonlarının ortalama değeri hesaplanmıştır.

Tartışma bölümünde ayrıntılı olarak ele alınacak olan bu tahminle ilgili sınırlamalar ve hususlar olduğunu belirtmek önemlidir. Alan ve parlaklık değerleri elde edildikten sonra watt cinsinden toplam akı hesaplanmıştır. Bu değeri ekonomik terimlere dönüştürmek için tahmin, toplam ışık akısını, ışıkların geceleri açık olduğu varsayılan saat sayısı ve Türk lirası cinsinden elektrik maliyetiyle çarpmayı içermektedir. Bu metodoloji, her bir bölge için enerji kaybının tahmin edilmesine olanak sağlamıştır.

Işık emisyonlarının hava kirliliği verileriyle ilişkilendirilmesi

Işık emisyonlarının trend analizine ek olarak, gece ışık emisyonları ile hava kirliliği verileri, özellikle de PM_{2,5} konsantrasyonları arasındaki potansiyel ilişkileri araştırmak için bir korelasyon analizi yapılmıştır. PM_{2,5}, literatür taraması bölüm 2.3'te vurgulandığı gibi atmosferdeki ışık dağılımı üzerindeki önemli etkisi nedeniyle seçilmiştir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Sürekli İzleme Merkezi web sitesinden hava kalitesi verileri indirilebilir. Antalya ili aşağıdaki istasyonları içermektedir:

1. Alanya
2. Gazipaşa
3. Kepez
4. Kumluca
5. Manavgat
6. Muratpaşa
7. Serik
8. Trafik (Antalya)

Ancak, yalnızca Gazipaşa, Kumluca, Kepez ve Antalya-Trafik istasyonlarında uzun vadeli PM_{2,5} değerleri mevcut olduğundan, bu istasyonların verileri indirilmiştir. Veri temizleme ve içe aktarmanın ardından PM_{2,5} verileri, genel eğilimleri daha iyi anlamak için yıllık, aylık ve günlük (24 saatlik dönemler) dahil olmak üzere çeşitli zaman aralıklarında çizilmiştir. Bununla birlikte, ışık emisyonlarını yakalayan uydu güneşle eşzamanlı bir yörüngede çalıştığından ve her gece yerel saatle 01:30 civarında veri kaydettiğinden, ana odak noktası gece verileridir. Uydunun üst geçiş zamanındaki olası değişiklikleri hesaba katmak için, saat 002:00, 01:00, 02:00 ve 03:00 ölçümlerini kapsayan dört saatlik bir zaman penceresi seçilmiştir. Bu dört saat için PM_{2,5} konsantrasyonlarının her gün ortalaması alınmıştır. Ortalamanın önemli saatlik farklılıkların izlenmesini engellemediğinden emin olmak için, tek tek saatlik okumalar ile dört saatlik ortalama arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Her bir saatin ortalaması dört saatlik ortalamanın bir standart sapması içinde kalmıştır.

Korelasyon analizi için seçilen yılın dört izleme istasyonundan da eksiksiz veriye sahip olması gereklidir. Eksik veriler nedeniyle 2019 ve 2024 hariç tutulmuş ve COVID-19 pandemisinden kaynaklanan olası anormallikleri ortadan kaldırmak için 2020'den kaçınılmıştır. 2023 yılı, istasyonlar arasında PM_{2,5} seviyelerinde en büyük değişkenliği sergilediği için seçilmiştir. PM_{2,5} seviyelerinde daha geniş bir aralık, ışık emisyonları ile potansiyel korelasyonlar hakkında daha fazla fikir verecektir.

Hava kirliliğini gece ışık emisyonlarıyla karşılaştırmak için, Black Marble veri setinde her bir hava kalitesi izleme istasyonunun konumuna karşılık gelen belirli piksel belirlenmiştir. İstasyonun pikseline ek olarak, daha geniş bir atmosferik alanı kapsayan ikiye iki bir ızgara oluşturmak için üç bitişik piksel seçilmiştir. Black Marble veri setindeki her bir piksel 424,326 metreye 424,326 metrelik bir alanı temsil ettiğinden, bu ızgara ışık dağılımının daha geniş bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Hem tek tek pikseller hem de dört piksellik ızgara için daha önce açıklandığı gibi aynı veri filtreleme ve işleme teknikleri uygulanmıştır. Aylık verileri elde etmek için yüksek kaliteli, kar yağmayan pikseller seçilmiş ve her bir grid için ortalama parlaklık değerleri ve ışık emisyonları toplamı hesaplanmıştır.

Korelasyonların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için R^2 ve p-değerleri hesaplanmıştır. Sonuçları ek olarak doğrulamak için analiz sadece dört piksellik ızgara üzerinde değil, aynı zamanda her bir hava kalitesi izleme istasyonuna karşılık gelen ayrı piksel üzerinde de gerçekleştirilmiştir. Hem grid hem de tek tek piksel analizleri için çoklu grafikler, regresyon analizi tabloları ve p-değerleri oluşturularak PM_{2,5} konsantrasyonları ve ışık emisyonları arasındaki potansiyel ilişkinin daha kapsamlı ve sağlam bir göstergesi sağlanmıştır.

4. BULGULAR

Bu bölümde çalışmanın bulguları sunulmaktadır. Sonuçlar kronolojik olarak açıklanacaktır. Not: Aksi belirtilmedikçe tüm grafiklerdeki hata çubukları bir standart sapmayı göstermektedir.

4.1 Bakırlıtepe İçin SQM Verilerine Göre Işık Seviyeleri

Bakırlıtepe istasyonundan toplanan SQM verileri analiz edilmiş ve gösterilmiştir. Şekil 4.1, gece gökyüzü parlaklığını x ekseninde yay saniyesinin karesi başına düşen magnitüd cinsinden ve y ekseninde bağıl frekans (%) olarak gösteren bir histogramdır. Histogram üç farklı veri kümesini göstermektedir:

1. Kırmızı bölge:

Kırmızı çubuklar, gözlemlenen tüm koşulları (açık gökyüzü, bulutlu gökyüzü ve Güneş veya Ay'ın ufku üzerinde olduğu zamanlar) içeren tüm veri kümesini temsil etmektedir. Kırmızı çubukların tepe noktası 21,19 kadir/açısaniye²'dedir. Bu tepe noktası, tüm koşullarda en sık kaydedilen gece gökyüzü parlaklığının bu değer civarında olduğunu göstermektedir.

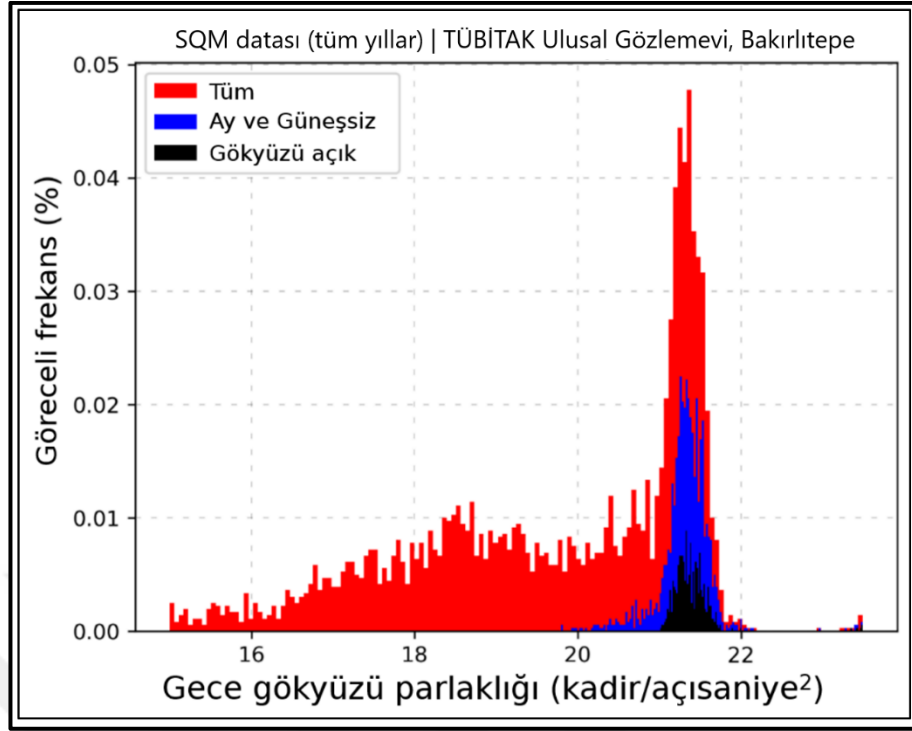
2. Mavi bölge:

Mavi çubuklar, Güneş veya Ay'ın mevcut olduğu zamanlarda yapılan gözlemler hariç tutulduktan sonraki verileri göstermektedir (metot bölümü 3.3.1'de tartışıldığı gibi). Mavi çubukların tepe noktası 21,36 kadir/açısaniye²'de meydana gelir, biraz daha parlaktır ancak kırmızı tepe noktasıyla yakın hizadadır. Bu da Güneş ve Ay'ın dışlanması öncelikle alacakaranlık dönemlerindeki parlaklık gibi genel parlaklık ölçümlerini düşürecek aykırı değerleri ortadan kaldırdığını göstermektedir.

3. Siyah bölge:

Siyah çubuklar, EUMETSAT'ın Bulut Maskesi ürünü kullanılarak filtrelenen açık gökyüzü koşulları için verileri temsil eder. Bu set, bulut paraziti olmadan gerçek gece gökyüzü parlaklığını belirlemek için en doğru olanıdır. Siyah çubukların tepe noktası 21,31 kadir/açısaniye²'dedir. Bu, açık gecelerde gökyüzünün biraz daha karanlık olduğunu ve bu ölçümlerin doğal ışık koşullarını anlamak için en iyi temel çizgiyi sağladığını gösterir. Ancak bu, açık gökyüzü koşullarının miktarına ilişkin oldukça temkinli bir tahmindir. Sonuçlar tartışma bölümünde açıklanmıştır.

Bu dağılım, farklı koşullar altında gece gökyüzü parlaklığının göreceli frekansını görmemizi sağlar. Her üç veri kümesi de 21,1-21,7 kadir/açısaniye² aralığında bir veri yoğunluğunu göstermektedir. Bu, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin bulunduğu yerdeki gece gökyüzü parlaklığının çoğu koşulda bu aralıkta olma eğiliminde olduğunu göstermektedir. X eksen verileri yaklaşık 14 ila 23 kadir/açısaniye² arasında değişmektedir, ancak verilerin çoğu 19 ila 22 kadir/açısaniye² arasında yoğunlaşmıştır ve gösteren histogram kutuları için göreceli frekanslar %0 ila yaklaşık %0,05 arasında değişmektedir. Kırmızı çubuklar en yüksek frekansa sahiptir ve tüm veri setini temsil eder. Güneş ve Ay etkilerinin çıkarıldığı mavi çubuklar daha düşük bir frekans göstermektedir. Açık gökyüzü koşullarını temkinli bir şekilde tahmin eden siyah çubuklar, herhangi bir kirlenme olmaksızın gerçek gece gökyüzü parlaklığını değerlendirmek için en temiz verileri sağlar.



Şekil 4.1. Bakırlıtepe’de gece gökyüzü parlaklığını gösteren histogram

Çizelge 4.1 SQM'nin her yıl veri kaydettiği toplam gece sayısını göstermektedir. Metodoloji bölümünde belirtilen kriterlere göre Ay'ın gece gökyüzünde bulunduğu zaman dilimleri çıkarıldıktan sonra, ölçülen gece sayısı düşmektedir ve bu durum tabloda da görülebilir.

Çizelge 4.1. Bakırlıtepe'deki SQM istasyonu tarafından ölçülen geceler.

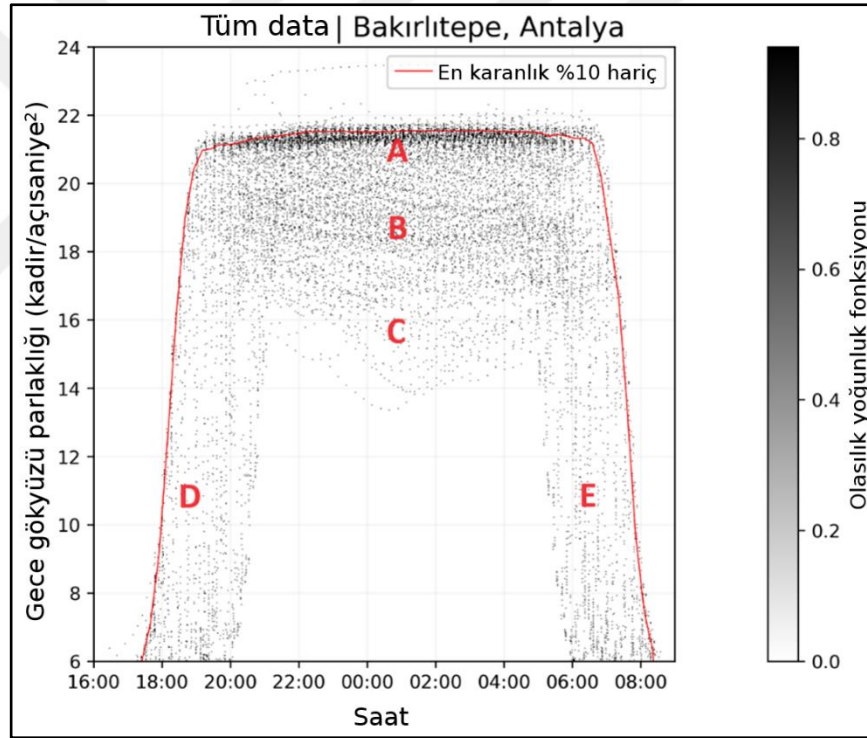
Yıl	Ölçülen Gece Sayısı	
	Tüm	Ay ve Güneşsiz
2019	54	21
2020	237	133
2021	18	8
2022	47	29
2023	24	10

Şekil 4.2'de SQM verilerini gösteren ve “denizanası” grafiği olarak da bilinen bir yoğunluk grafiği gösterilmektedir. Yoğunluk grafiği tüm veri setini görselleştirerek veri noktalarının günün farklı saatlerindeki yoğunluğunu gösterir. Çizimdeki daha koyu alanlar daha yüksek veri yoğunluğu anlamına gelir ve ortalama gece gökyüzü parlaklık

eğilimlerini ortaya çıkarır. X ekseninde günün saati, y ekseninde ise gökyüzü parlaklığı büyüklük olarak gösterilmektedir.

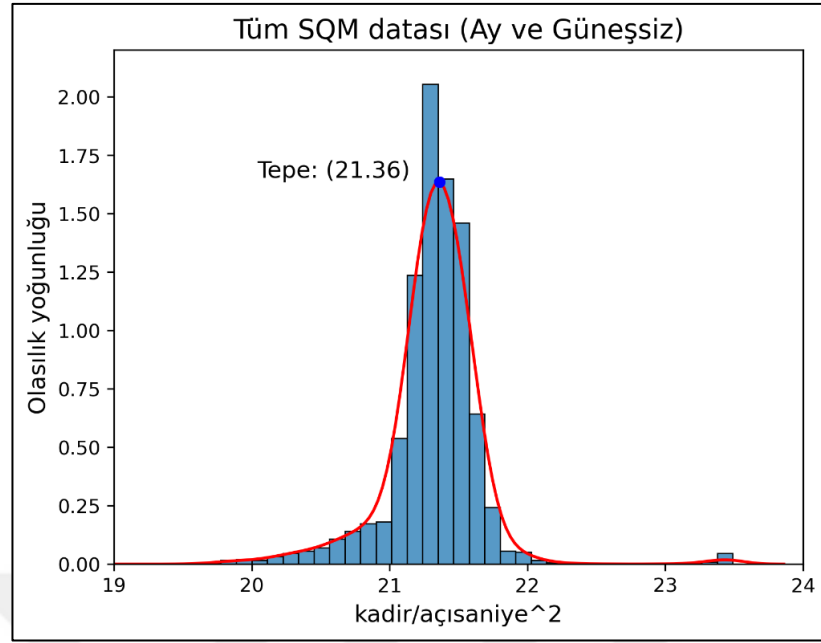
Ayrıca, güneş, ay ve bulutların etkilerini ortadan kaldırmadan açık gökyüzü parlaklığını tahmin etmeye yardımcı olan gökyüzü parlaklığının 90. yüzdelik dilimini gösteren bir çizgi eklenmiştir. Bu çizgi, verilerin en karanlık %10'unun altına düştüğü eşiği temsil eder. Kaydedilen daha güvenilir ve en karanlık değerlere odaklanarak açık gökyüzü koşullarının bir tahminini sağlar. Bu bir tahmindir ve bu nedenle uydulardan alınan bulut örtüsü verilerini kullanmak kadar doğru değildir. Bu tahmin için tepe noktası 21,45 kadir/açısanıye²'dir. Şekil 4.1'deki siyah çubukları kullanarak yaptığımız açık gökyüzü zirvesinin 21,31 kadir/açısanıye² olduğu göz önüne alındığında, bu tahmin bize gerçeklikten %13 daha yüksek bir değer vermiştir.

Ayrıca çeşitli bölümlerin ne olduğunu açıklayan bazı harflerle etiketlenmiştir. “A” tipik karanlık gece, ‘B’ bulutların bulunduğu daha parlak kısım, ‘C’ ay ışığının doğrudan SQM'yi gördüğü bazı günler, son olarak ‘D’ ve ‘E’ dik eğimle gösterildiği gibi gökyüzü parlaklığının hızla azaldığı / arttığı gün doğumu ve gün batımıdır.



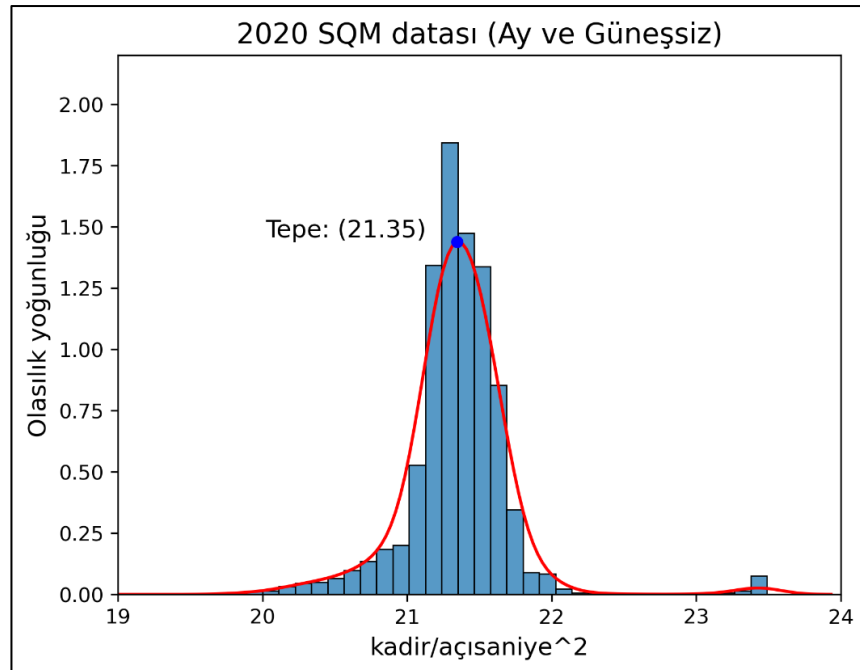
Şekil 4.2. Bakırlitepe’de günün farklı zamanlarında gece gökyüzü parlaklığını gösteren “Denizanasi” grafiği (SQM verileri için)

Güneş ve Ay’ın etkileri filtrelendikten sonra SQM verileri için bir histogram yapılmış ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Python'un seaborn kütüphanesi kullanılarak, varsayılan bant genişliği ayarlarıyla bir çekirdek yoğunluk tahmini (KDE) grafiği çizilmiş ve tepe değeri 21,36 kadir/açısanıye² olarak hesaplanmıştır. Bu, 4,5'lik bir borte ölçek değerine eşittir.



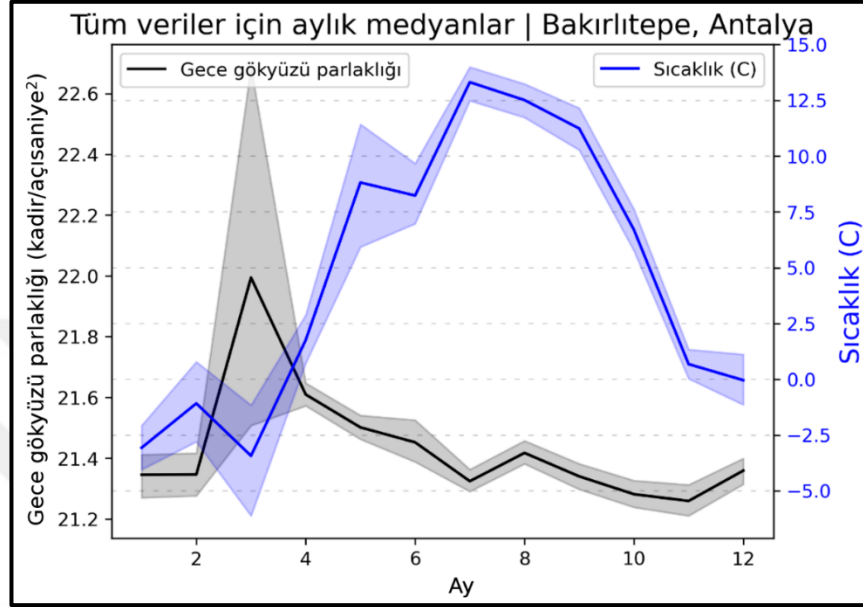
Şekil 4.3. Olasılık yoğunluğunu tahmin eden bir gauss eğrisi de dahil olmak üzere tüm SQM verileri (Ay veya Güneş olmadan) için histogram

Aynı yaklaşımla 2020'deki SQM verileri incelendiğinde, Şekil 4.4'te gösterildiği gibi bir grafik elde edilir. Benzer bir tepe değeri olan 21,35 kadir/açısıaniye² değerini bulunmaktadır. Bu sonuçlar, sınırlamalar da dahil olmak üzere tartışma bölümünde karşılaştırılmış ve açıklanmıştır.



Şekil 4.4. Olasılık yoğunluğunu tahmin eden bir gauss eğrisi içeren 2020 SQM verileri (Ay veya Güneş olmadan) için histogram

Farklı aylarda gece gökyüzü parlaklığındaki değişim hakkında bir fikir edinmek için veriler kaydedildikleri aya göre gruplandırılmış ve ortam sıcaklığına karşı grafiğe geçirilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.5'te gösterilmektedir ve farklı mevsimler boyunca gece gökyüzü parlaklık seviyelerindeki değişiklikler hakkında bir fikir vermektedir. En karanlık ayların Mart ayı civarında olduğu ve gökyüzünün yıl ilerledikçe daha parlak hale gelme eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Bakırlitepe için SQM verilerinden elde edilen medyan gökyüzü parlaklığı ve sıcaklığının karşılaştırılması

En uzun kesintisiz veri 2020 yılına ait olduğu için (237 gece), 2020 yılı verileri hangi ayların ve tarihlerin en karanlık ve en parlak gece gökyüzü parlaklığına sahip olduğuna açısından irdelenmiştir. Çizelge 4.2'de en karanlık ayların ilkbahar ayları (Nisan en karanlık 3 geceye sahip), en parlak ayların ise sonbahar sonu ve kış başı ayları (Kasım en parlak 3 geceye sahip) olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde en karanlık ve en aydınlık aylar ve geceler için medyan değerler.

En Karanlık Ay	Medyan Gece Gökyüzü Parlaklık Değeri (Kadir/açısanıye²)	En Karanlık Gece	Medyan Gece Gökyüzü Parlaklık Değeri (Kadir/açısanıye²)
4	21,618±0,084	19 Nisan	21,705±0,026
3	21,568±0,174	12 Nisan	21,695±0,083
5	21,512±0,082	26 Nisan	21,680±0,067

Çizelge 4.2. Devamı

En Aydınlik Ay	Medyan Gece Gökyüzü Parlaklık Değeri (Kadir/açısaniye ²)	En Aydınlik Gece	Medyan Gece Gökyüzü Parlaklık Değeri (Kadir/açısaniye ²)
10	21,285±0,083	23 Kasım	21,138±0,075
9	21,213±0,088	18 Kasım	21,100±0,047
11	21,190±0,127	22 Kasım	21,095±0,037

4.2 Özel Aylık Kompozitler: Günlük VNP46A2 Ürünü İle Doğrulama

Akdeniz Üniversitesi Stadyumu'ndaki (36.8937°K, 30.6467°D) belirli bir piksel için günlük VNP46A2 verileri kullanılarak Mart 2020 için özel bir aylık bileşik oluşturulmuştur. Güvenilirliği sağlamak için aynı yöntem Haziran 2024 için tekrarlanmıştır. Metodoloji Bölüm 3.3.2'de özetlenen süreci takip eder.

Mart 2020'ye ait VNP46A2 verileri indirilerek günlük bir analiz gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.3, Mart ayındaki her gün için tarih, kar bayrağı, zorunlu kalite bayrağı ve her gün için parlaklık değerleri gibi temel bilgileri özetlemektedir. Günlük verilerden, yalnızca kar yağmayan (kar bayrağı = 00) ve yüksek kaliteli bir bayrağın (00 veya 01) olduğu günler, önceki bölümlerde belirlenen eşiklere uygun olarak dikkate alınmıştır. Kırmızı yazı tipindeki değerler düşük kalitelidir. Bu, Mart 2020 için 16 geçerli günle sonuçlanmıştır.

Çizelge 4.3. Mart 2020'de AÜ stadyum pikselindeki VNP46A2 ürününe ait günlük verilerin özeti.

Gece	Kar Bayrağı	Kalite Bayrağı	Radyans (nW/cm ² -sr ⁻¹)
1	00	00	742
2	00	00	722
3	00	255	-
4	00	255	-
5	00	255	-
6	00	00	549
7	00	00	758

Çizelge 4.3. Devamı

8	00	255	-
9	00	00	780
10	00	255	-
11	00	00	767
12	00	255	-
13	00	255	-
14	00	255	-
15	00	02	550
16	00	00	625
17	00	00	751
18	00	00	722
19	00	00	763
20	00	00	669
21	00	00	823
22	00	00	744
23	00	02	681
24	00	00	616
25	00	255	-
26	00	255	-
27	00	255	-
28	00	00	625
29	00	00	615
30	00	02	490
31	00	255	-

Çizelge 4.3. Devamı

Ortalama (yalnızca yüksek kaliteli ölçümler için)	704,43
Standart Sapma (yalnızca yüksek kaliteli ölçümler için)	74,83

Bu 16 gün için ortalama parlaklık değeri $704,43 \text{ nW/cm}^2\text{-sr}^{-1}$ ve standart sapma 74,83'tür. Bu değerler daha sonra aynı piksel konumu için “tüm açılar ve kar yok” katmanı kullanılarak Mart 2020 için NASA aylık kompoziti ile karşılaştırılmıştır. Bu kompozitte, piksel için radyans değeri $70,4 \text{ nW/cm}^2\text{-sr}^{-1}$ ve standart sapması 7,4'tür. Ondalık basamaklardaki fark ölçek faktöründen kaynaklanmaktadır: NASA'nın aylık kompoziti 0,1 ölçek faktörü kullanırken, günlük veriler 1 ölçek faktörü kullanmaktadır. Bu araştırma, değerlerin özel kompozit ile NASA aylık kompozitinde aynı olduğunu ve gözlemlenen farkın sadece ölçek faktöründen kaynaklandığını doğrulamıştır.

Aynı işlem Haziran 2024 için de tekrarlanmış ve Çizelge 4.4'te sadece o aya ait yüksek kaliteli pikseller özetlenmiştir.

Çizelge 4.4. Haziran 2024'te AÜ stadyum pikselindeki VNP46A2 ürününe ait günlük verilerin özeti.

Gece	Kar Bayrağı	Kalite Bayrağı	Radyans ($\text{nW/cm}^2\text{-sr}^{-1}$)
1	00	00	536
2	00	00	481
4	00	00	575
5	00	00	507
6	00	00	514
7	00	00	483
8	00	00	524
9	00	00	608
10	00	00	639
13	00	00	549
14	00	00	595
15	00	00	542

Çizelge 4.4. Devamı

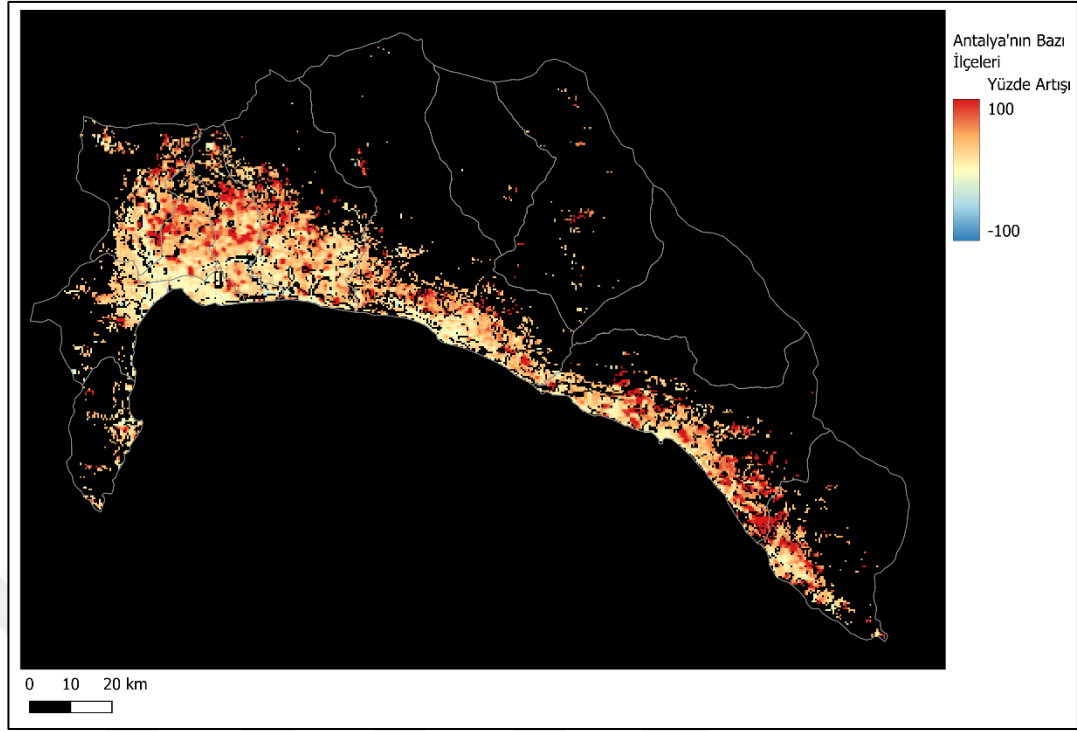
17	00	00	458
18	00	00	536
19	00	00	562
20	00	00	463
21	00	00	584
22	00	00	700
23	00	00	488
24	00	00	497
25	00	00	558
26	00	00	548
Ortalama			543
Standart Sapma			57,58

Haziran 2024 için ortalama parlaklık $543 \text{ nW/cm}^2\text{-sr}^{-1}$ ve NASA aylık kompozitinde ortalama $54,3 \text{ nW/cm}^2\text{-sr}^{-1}$ 'dir. Mart 2020'de olduğu gibi, hem özel kompozit hem de NASA'nın kompozitindeki piksel sayısı 22 geçerli gözlemle aynıdır. Özel kompozitte Haziran 2024 için standart sapma 57,58 iken NASA aylık kompozitinde 5,7'dir ve yine daha önce görüldüğü gibi 0,1'lik aynı ölçek faktörünü yansıtmaktadır.

Hem Mart 2020 hem de Haziran 2024 sonuçları, günlük VNP46A2 verilerinden oluşturulan özel aylık kompozitlerin, ölçek faktörü farkı dikkate alındığında NASA'nın aylık kompozitleri ile aynı ortalama parlaklık değerlerini ve standart sapmaları ürettiğini göstermektedir. Piksel sayıları, ortalamalar ve standart sapmaların hepsi aynı olduğundan, aylık ve yıllık kompozitlerin güvenilir olduğu ve bunları üretmek için kullanılan metodolojinin anlaşıldığı ve belgelendiği sonucuna varılabilir. Aylık ve yıllık kompozitlerden elde edilen sonuçlar bu test durumunu dikkate almaktadır.

4.3 Işık Emisyonlarındaki Yüzde Artış (2019-2023)

Şekil 4.6, Black Marble veri setinin h21v05 karosundaki 14 ilçeye odaklanarak beş yıllık bir dönem boyunca ışık emisyonlarındaki yüzde değişimi göstermektedir. Kompozit görüntüler, her bir pikselin yılda 100'den fazla geçerli gözlem ve 0,5'ten daha düşük bir değişim katsayısı şartını karşılamasıyla, önceden belirlenmiş filtreleme eşiklerini (metodoloji bölümünde açıklandığı gibi) kullanmaktadır.

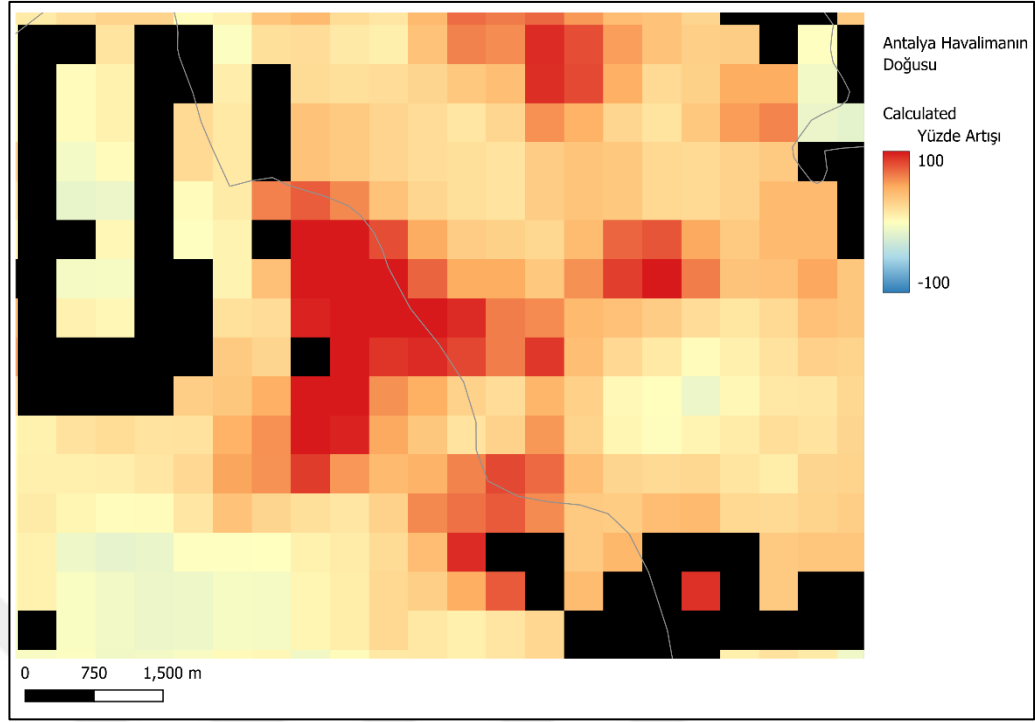


Şekil 4.6. Antalya'daki 14 ilçe için 2019'dan 2023'e yüzde artış

Haritada, sarı alanlar önemli bir değişiklik göstermeyen pikselleri temsil ederken, kırmızı alanlar ışık emisyonlarında önemli bir artış olduğunu göstermektedir. Siyah bölgeler herhangi bir veri içermemektedir. Hiçbir bölge ışık emisyonlarında azalma göstermemiştir. 100'e varan veya %100'den fazla artışları temsil eden birçok kayda değer kırmızı sıcak nokta vardır. 2019-2023 yılları arasında Antalya'nın ilçelerindeki ışık emisyonlarındaki önemli artışı anlamak için hem uydu verileri hem de Google Earth geçmiş görüntüleri kullanılarak çeşitli vaka çalışmaları yapılmıştır. Aşağıda, bu artışların nedenlerinden bazılarını araştıran üç vaka çalışması yer almaktadır.

4.3.1 Antalya Havalimanı, Muratpaşa

Şekil 4.7'de gösterilen ilk sıcak nokta Antalya Havalimanı'nda yer almaktadır. Yakınlaştırılmış görünüm, havalimanının pistlerinin hemen doğusunda ve biraz güneyinde ışık emisyonlarında önemli artışlar olduğunu vurgulamaktadır. İki uzun siyah dikdörtgen veri bulunmayan alanlardır ve burası havalimanının pistlerinin bulunduğu yerdir.



Şekil 4.7. Antalya Havalimanı ve doğusundaki bölge için 2019'dan 2023'e yüzde artış (siyah alanlarda veri bulunmamaktadır)

Nedeni araştırmak için Google Earth'ten alınan görüntüler kullanılmış ve Şekil 4.8 ve 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Google Earth'ün 24 Kasım 2018 tarihinde Antalya Havalimanı'nın doğu bölgesini gösteren tarihi görüntüleri



Şekil 4.9. Antalya Havalimanı'nın doğu bölgesini 2 Ekim 2023 tarihinde gösteren Google Earth tarihi görüntüleri

Görüntüler havalimanı çevresinde kayda değer değişiklikler olduğunu göstermektedir. 2018 yılında havalimanının doğusundaki bölge ağırlıklı olarak yeşil alan iken, ancak 2023 yılına gelindiğinde inşaatlar bölgede çoğalmıştır. Tarlaların yerini çok sayıda yeni bina almıştır. Havalimanı da güneye doğru genişlemiştir. Kırmızı sıcak noktanın gösterdiği gibi, bu yeni inşaat muhtemelen doğu havalimanı bölgesindeki ışık emisyonlarının artmasına neden olmuştur.

4.3.2 Antalya Şehir Hastanesi, Kepez

Bir başka sıcak nokta da Kepez ilçesinde, şu anda Antalya Şehir Hastanesi'nin bulunduğu yerde gözlemlenmiştir. Şekil 4.10, sıcak noktayı ve buna karşılık gelen yüzde artış değerlerini o konumun en son Google Earth görüntüsünün üzerine bindirmektedir. Hastane, 5 yıllık artışın %283 olduğu pikselin tam üzerindedir. Şekil 4.11 ve 4.12, konumu değerlendirmek için kullanılan Google Earth görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.10. Antalya Şehir Hastanesi bölgesinin Google Earth görüntüsü üzerine bindirilmiş her piksel için yüzde artış değerleri



Şekil 4.11. Ağustos 2019'da Antalya Şehir Hastanesi çevresindeki bölgeyi gösteren Google Earth tarihi görüntüleri



Şekil 4.12. Nisan 2023'te Antalya Şehir Hastanesi çevresindeki bölgeyi gösteren Google Earth tarihi görüntüleri

2019 yılındaki görselde alan, yeşil alanlar ve tamamlanmamış yollarla büyük ölçüde gelişmemiş durumdadır. Ancak 2023 yılına gelindiğinde Antalya Şehir Hastanesi tamamen inşa edilmiştir. Yol bağlantıları ve yeni binalar da dahil olmak üzere çevredeki altyapı da geliştirilmiş ve muhtemelen bu alandaki ışık emisyonlarında büyük bir artışa yol açmıştır. Yeni inşaat, özellikle de hastane, muhtemelen sonuçlarda tespit edilen kırmızı sıcak noktanın nedenidir.

4.3.3 Çakallık, Serik

İncelenen üçüncü sıcak nokta Serik'in Çakallık mahallesi yakınlarında yer almaktadır. Bu alanı analiz etmek için Kasım 2018 ve Mayıs 2023 tarihli Google Earth görüntüleri kullanılmış ve Şekil 4.13 ve 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Kasım 2018'de Çakallık çevresindeki bölgeyi gösteren Google Earth geçmiş görüntüleri



Şekil 4.14. Mayıs 2023'te Çakallık çevresindeki bölgeyi gösteren Google Earth geçmiş görüntüleri

2018 yılındaki görüntüde Çakal köyünün doğusundaki alan yeşil alanlar ve seralardan oluşuyordu. Ancak 2023 yılına gelindiğinde seraların sayısı dramatik bir şekilde artmış ve çok daha geniş bir alanı kaplamıştır. Köyün kendisi çok az genişlemiş

olsa da, sera kapsamındaki önemli artış, bu alanda gözlemlenen kırmızı sıcak nokta ile ilişkili olabilir.

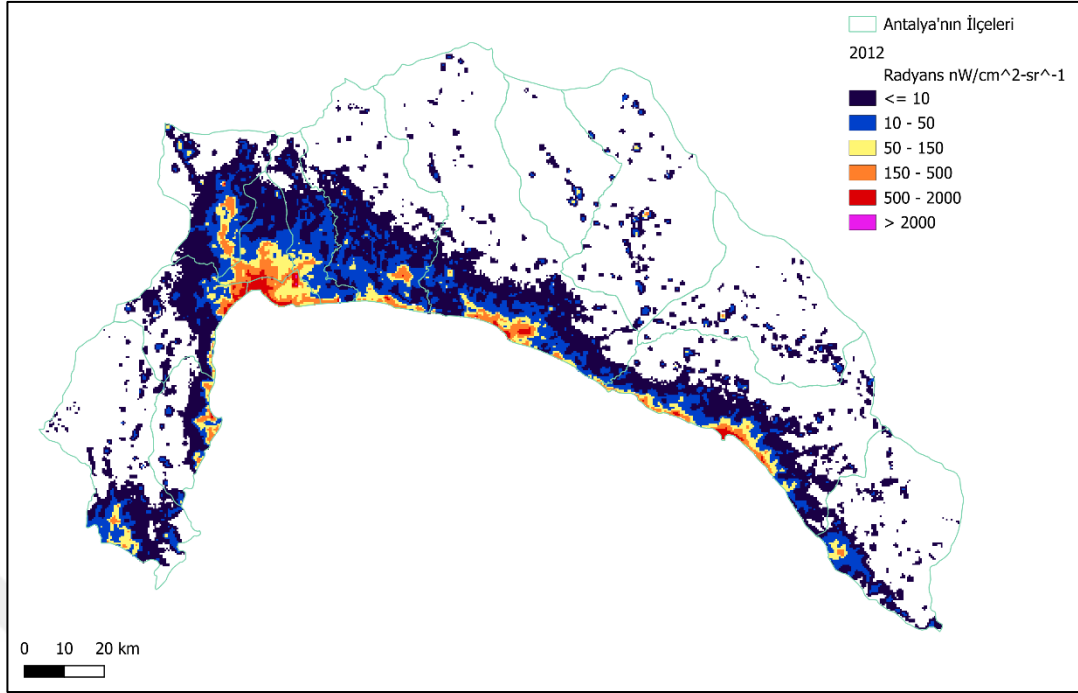
Seraların bitki büyümesini desteklemek için geceleri yapay aydınlatma kullandığı bilinmektedir ve bu da ışık emisyonlarındaki artışı açıklayabilir. Bu olgu sadece Çakal'da değil, benzer sera genişlemelerinin olduğu diğer bölgelerde de gözlemlenmiştir; bu da bu seralarda kullanılan ışıkların uydu görüntülerinde tespit edilen daha yüksek parlaklık seviyelerine katkıda bulunduğunu düşündürmektedir.

4.4 Uzun Vadeli Trendlerin Sayısallaştırılması (2012-2023)

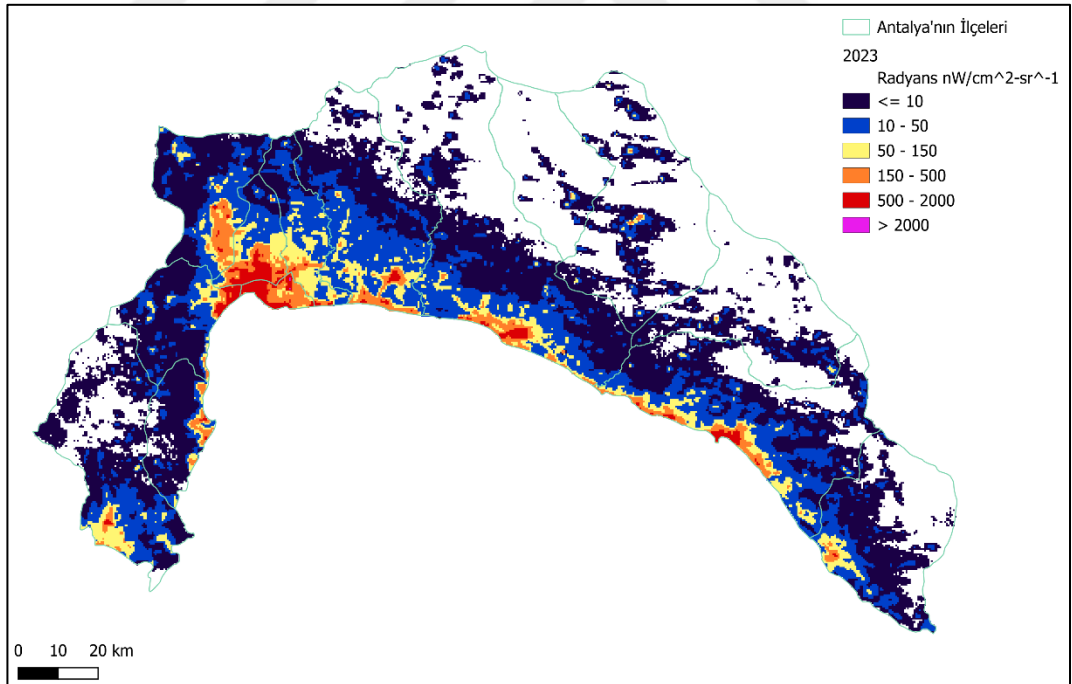
Işık emisyonlarındaki daha geniş eğilimleri anlamak için, NASA'nın Black Marble'ından elde edilen mevcut en eski veri seti (2012'den başlayarak) Antalya bölgesinde 2023 yılına kadar olan değişiklikleri gözlemlemek için kullanılmıştır. Bu bölümde, ışık emisyonlarının mekansal dağılımları Şekil 4.15 ve 4.16'da gösterildiği gibi biri 2012 diğeri 2023 için olmak üzere iki haritada temsil edilmektedir. Her harita, Çizelge 4.5'te tanımlanan ve renklerin en düşük değerler için koyu maviden en yüksek değerler için kırmızı / mora kadar değiştiği ayrı renk bantlarına göre sınıflandırılmış parlaklık değerlerini göstermektedir. Özellikle mor renk sadece Antalya Havalimanı bölgesinde gözlenmekte ve bu bölgenin aşırı ışık aktivitesinin olduğu bir alan olduğunu vurgulamaktadır. Beyaz bölgeler, ya uydu sensörünün herhangi bir ışık algılamaması ya da pikselin ön işleme adımı sırasında filtrelenmesi nedeniyle mevcut veri bulunmayan pikselleri göstermektedir.

Çizelge 4.5. Işık kirliliği – renk sınıflandırması.

Işık Kirliliği Seviyesi	Değeri ($\text{nW/cm}^2\text{-sr}^{-1}$)	Renk
Çok düşük	≤ 10	
Düşük	11 - 50	
Orta	51 - 150	
Yüksek	151 - 500	
Çok yüksek	501 - 2000	
Aşırı	> 2000	



Şekil 4.15. Antalya'nın farklı ilçelerinde 2012 yılı için ışık parlaklığının mekânsal dağılımı (seçilen varyans katsayısı (CV) eşiği 0,9'dur)



Şekil 4.16. Antalya'nın farklı ilçelerinde 2023 yılı için ışık parlaklığının mekânsal dağılımı (seçilen varyans katsayısı (CV) eşiği 0,9'dur)

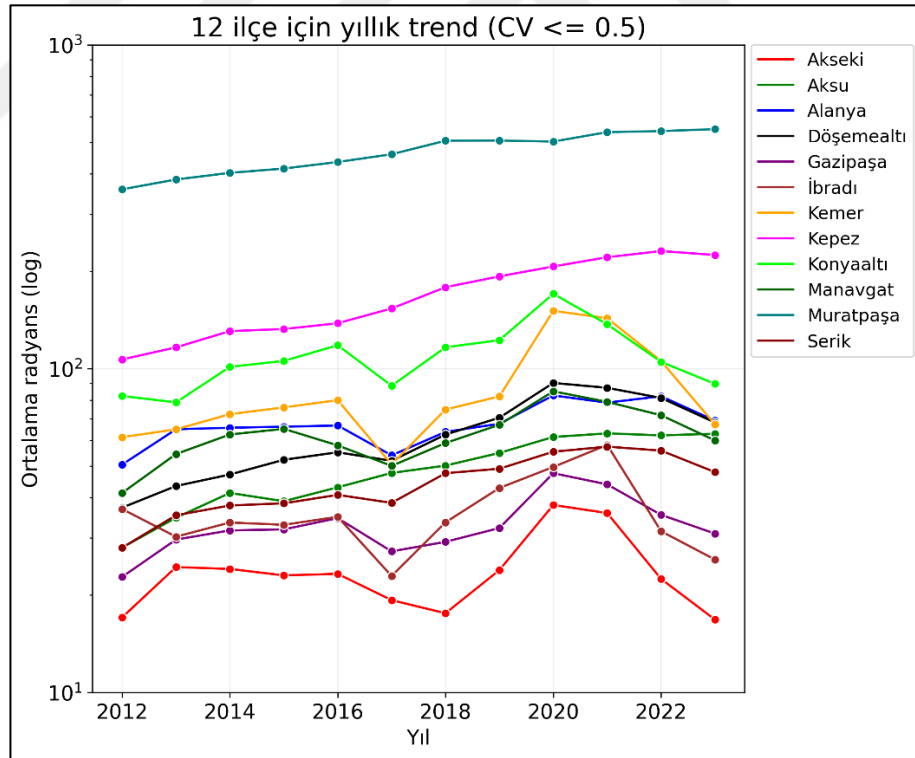
2012 ve 2023 haritaları karşılaştırıldığında, yüksek parlaklık bölgelerinde belirgin bir genişleme olduğu görülmektedir. Daha yüksek ışık emisyonu seviyelerine işaret eden kırmızı ve turuncu bantların 2023'te genişlediği görülmektedir. Bölüm

4.3'teki Google Earth vaka çalışmalarında da görüldüğü gibi, başlangıçta ışıksız olan bölgeler (2012 haritasında beyaz renkle temsil edilen) 2023'te daha fazla mavi bölge göstermektedir, bunun nedeni muhtemelen daha önce gelişmemiş alanlara kentsel yayılmadır. Ayrıca, birçok bölge 2012'de açık maviyken 2023'te kırmızı veya turuncuya dönüşmüştür, bu da zaman içinde yoğunlaşan ışık kirliliğine işaret etmektedir.

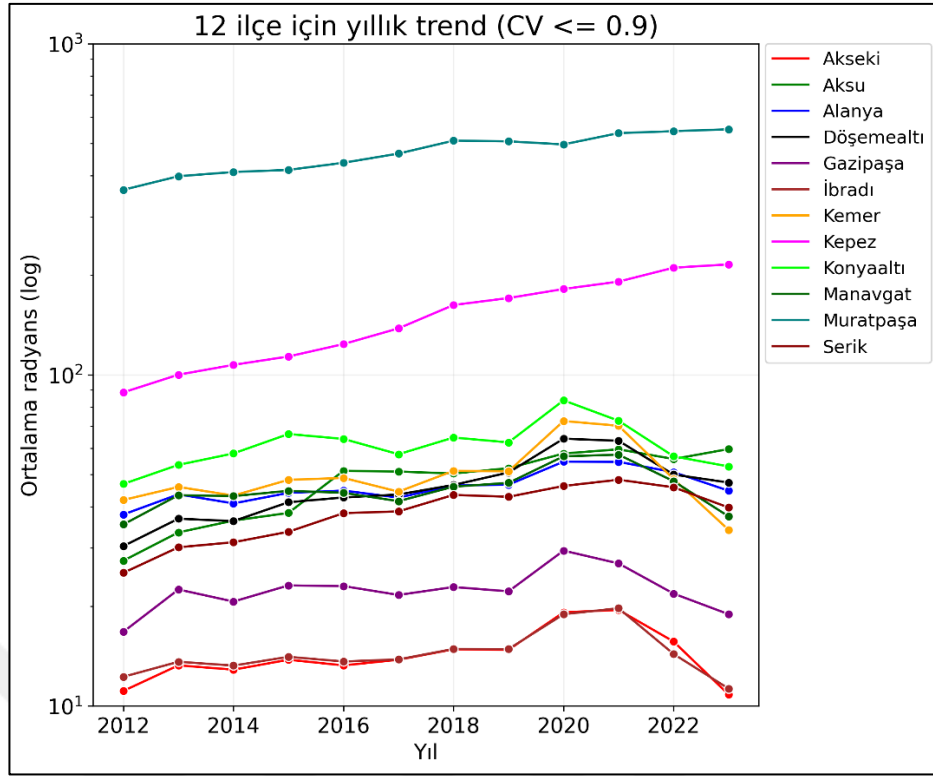
Zaman içinde ilçeye özgü ışık emisyonu eğilimlerini değerlendirmek için, ön işleme sırasında pikseller için varyasyon katsayısı (0,5 ve 0,9) olarak iki farklı eşik değerine göre düzenlenen sekiz grafik oluşturulmuştur. Grafikler aşağıdaki bölümde Şekil 4.17'den Şekil 4.24'e kadar gösterilmektedir. Sonuçlar, analiz edilirken akılda tutulması gereken ilgili sınırlamalar ve hususlarla birlikte tartışma bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

4.4.1 Ortalama ve 12 ilçe için toplam parlaklık

Bu bölümdeki şekillerde log ölçeği uygulanmıştır. Şekil 4.17 ve 4.18 ortalama parlaklığın zaman içinde nasıl değiştiğini göstermektedir. Ortalama, varyasyon katsayısı için seçilen farklı bir eşik nedeniyle her grafikte farklılık göstermektedir. Daha yüksek bir eşik daha fazla pikseli içerir ve hem piksel sayısı hem de yoğunluğu yıldan yıla değişir. Yalnızca yıl başına 100 veya daha fazla gözlem içeren pikseller dikkate alınmıştır. Son olarak, ilk ve son yıl için piksel sayıları Şekil 4.15 ve 4.16'da görselleştirilmiştir.

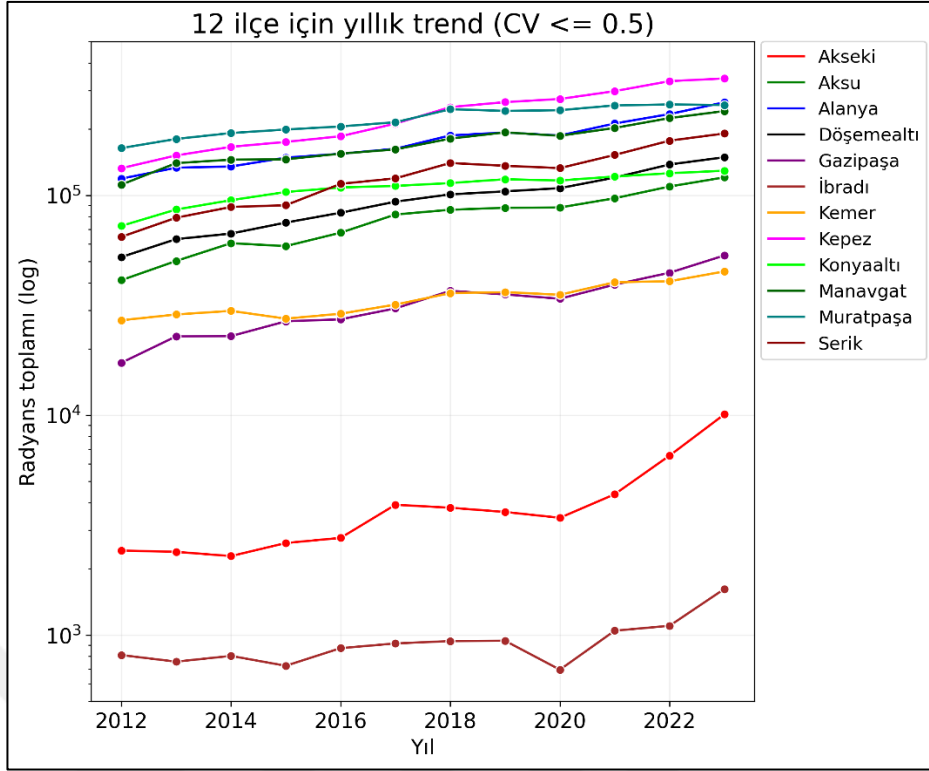


Şekil 4.17. Antalya'nın 12 ilçesi için 2012'den 2023'e ortalama parlaklık (CV eşığı $\leq 0,5$)

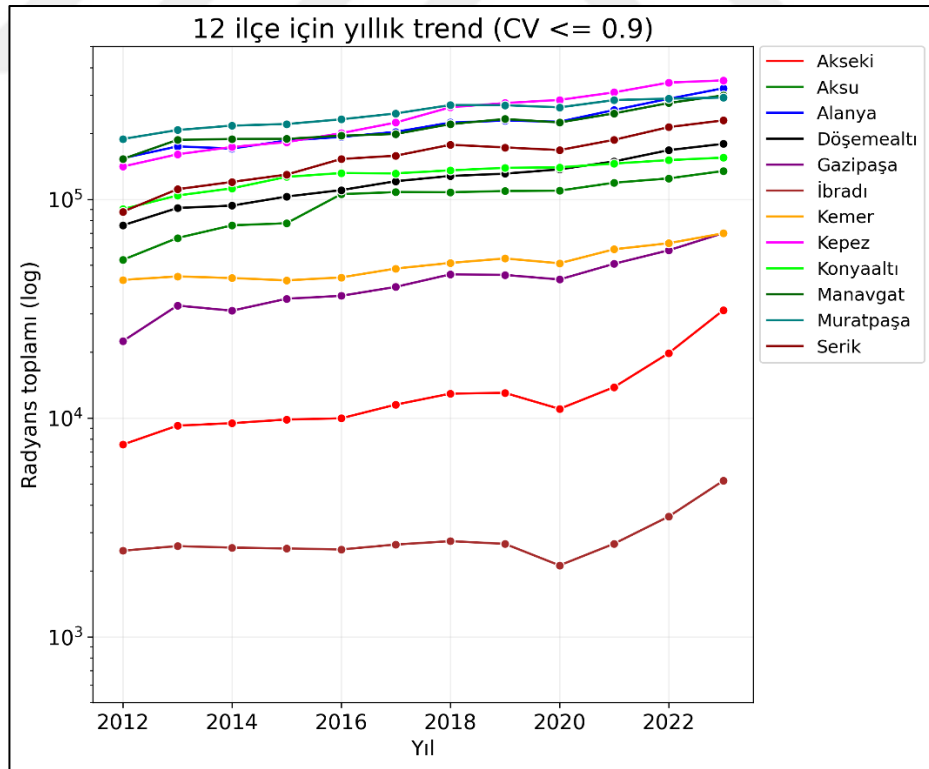


Şekil 4.18. Antalya'nın 12 ilçesi için 2012'den 2023'e ortalama parlaklık (CV eşiği $\leq 0,9$)

Şekil 4.19 ve 4.20 toplam parlaklığın zaman içinde nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu, her bölge için tüm piksel değerlerinin bir toplamıdır. Ortalama parlaklık yoğunluğa odaklanırken, parlaklık toplamı bize hem kentsel genişlemeyi hem de daha geniş bir alanda ışık kullanımındaki değişiklikleri yansıtabilen toplam ışık çıktısı hakkında bir fikir verir.



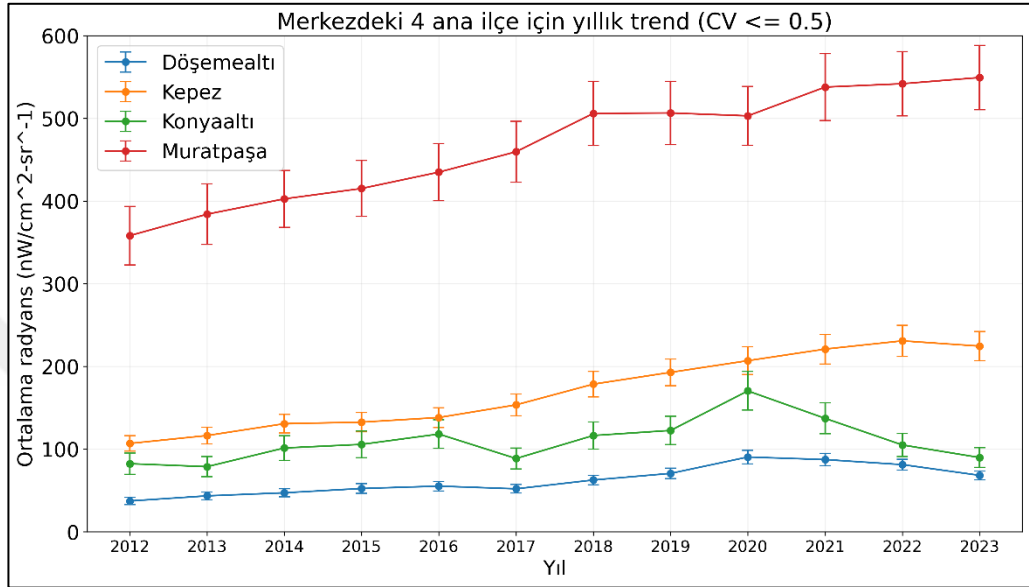
Şekil 4.19. Antalya'nın 12 ilçesi için 2012'den 2023'e parlaklık toplamı (CV eşiği $\leq 0,5$)



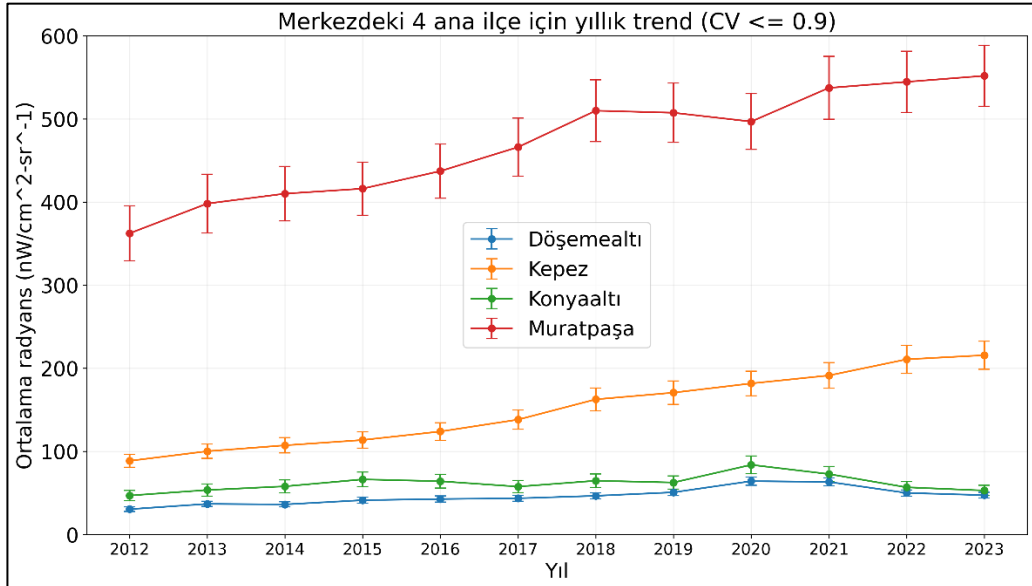
Şekil 4.20. Antalya'nın 12 ilçesi için 2012'den 2023'e parlaklık toplamı (CV eşiği $\leq 0,9$)

4.4.2 Dört merkez ilçe için ortalama ve toplam parlaklık

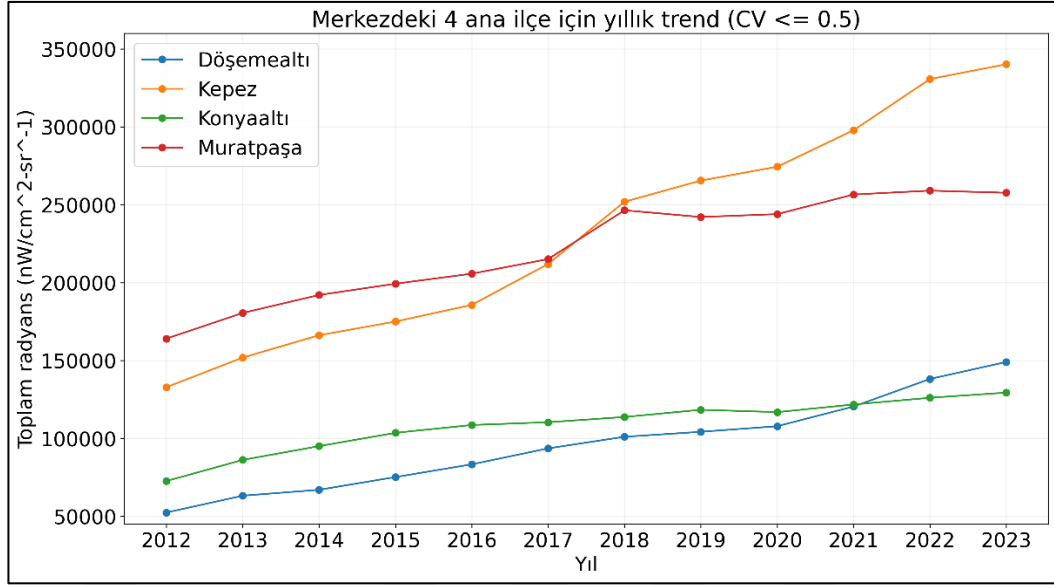
Bölüm 4.4.2'deki şekiller bu bölümde yeniden oluşturulmuştur, ancak bu kez netliği artırmak için sadece 4 merkez ilçeye odaklanılmıştır. Şekil 4.21 ve 4.22 zaman içindeki ortalama parlaklığı göstermektedir. Hata çubukları, standart sapma değerlerinden hesaplanan %95'lik bir güven aralığını temsil etmektedir (serbestlik derecesi (df) = 11). Sonuçlar tartışma bölümünde daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.



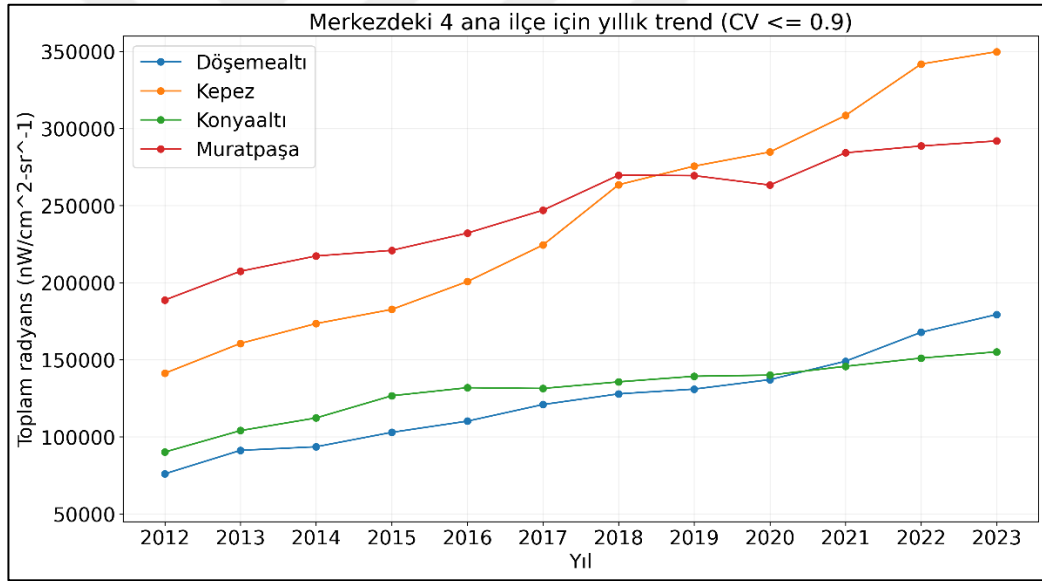
Şekil 4.21. Antalya'nın 4 merkez ilçesi için 2012'den 2023'e ortalama parlaklık (CV eşliği ≤ 0,5)



Şekil 4.22. Antalya'nın 4 merkez ilçesi için 2012'den 2023'e ortalama parlaklık (CV eşliği ≤ 0,9)



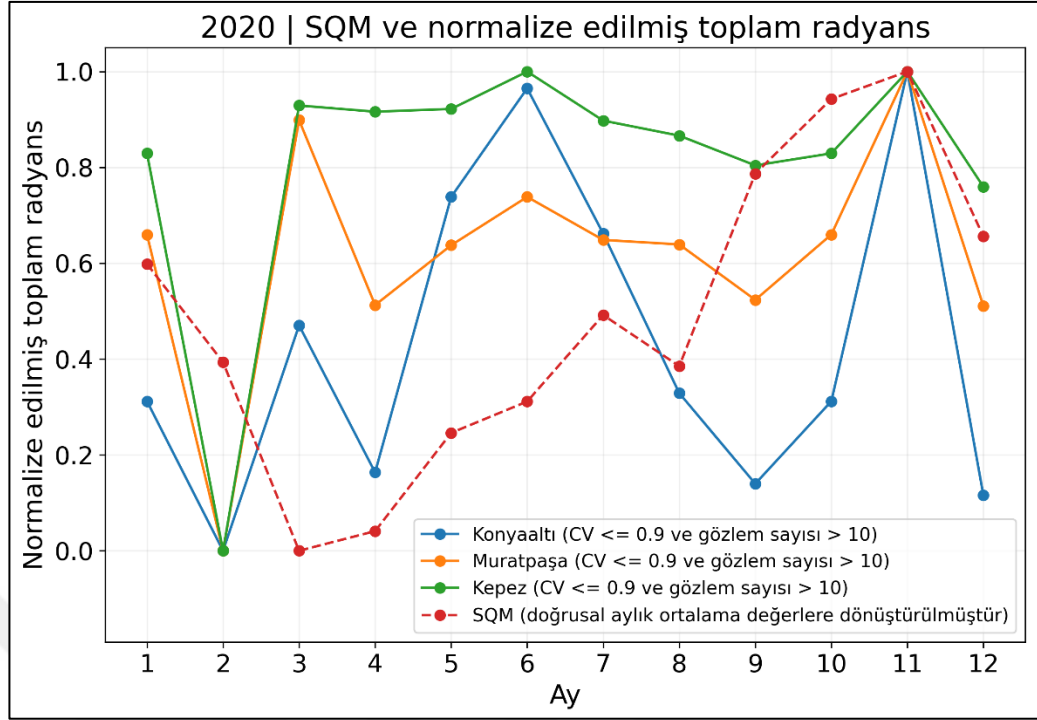
Şekil 4.23. Antalya'nın 4 merkez ilçesi için 2012'den 2023'e radyasyon toplamı (CV eşiği $\leq 0,5$)



Şekil 4.24. Antalya'nın 4 merkez ilçesi için 2012'den 2023'e radyasyon toplamı (CV eşiği $\leq 0,9$)

4.5 2020'de Aylık Trendler

Şekil 4.25'teki grafik, merkeze yakın üç büyük ilçe için toplam radyansın aylık eğilimlerini göstermektedir: Konyaaltı, Muratpaşa ve Kepez, SQM değerleri ile birlikte. Y eksenini normalleştirilmiş parlaklık toplamını temsil ederken, x eksenini 2020 aylarını göstermektedir. Karşılaştırma için kullanılan SQM cihazı, şehir merkezinde yer almamasına rağmen Konyaaltı ilçesinde bulunmaktadır.



Şekil 4.25. Konyaaltı, Muratpaşa ve Kepez için 2020 yılı ölçümlerindeki aylık eğilimler, SQM değerleriyle karşılaştırılmıştır

Bu şekil oluşturulurken, daha önce metodoloji bölümünde özetlenen ön işleme adımları uygulanmıştır. Özellikle, radyans değerleri 0,9'dan daha düşük bir varyans katsayısı (CV) eşiği ile filtrelenmiş ve yalnızca ayda 10'dan fazla gözlemi olan pikseller analize dahil edilmiştir. Tutarlılık için y eksenine normalizasyon uygulanmıştır. Üç bölgedeki parlaklık eğilimleri yıl boyunca bazı dalgalanmalar göstermektedir. Özellikle Şubat ayında gözle görülür bir düşüş yaşanmakta, bunu Mart ayında bir artış izlemektedir. Nisan ayında bir düşüş yaşanmakta, ardından kalan aylar boyunca düzensiz bir artış ve azalış modeli görülmekte ve Kasım ayında her üç ilçede de zirve yapmaktadır.

Bu verilerin 2020 yılı için aylık parlaklık eğilimlerini yakaladığı göz önüne alındığında, bu analizin, bu parlaklık dalgalanmaları ile COVID-19 salgını olayları arasındaki potansiyel korelasyonları inceleme, özellikle de bölgede uygulanan sokağa çıkma yasakları ve sokağa çıkma yasaklarının etkisini araştırma çabasını içerdiği unutulmamalıdır. Bu konu tartışma bölümünde ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Çizelge 4.6, her bir bölge için filtrelenmiş aylık piksel sayıları ve varyans katsayısı değerleri hakkında ek ayrıntılar sunmaktadır. Bu veriler, grafikte gözlemlenen eğilimlerin piksel sayılarındaki önemli aylık varyanstan gereksiz yere etkilenmediğinin doğrulanmasına yardımcı olmaktadır. Analize dahil edilen her piksel, ay başına ondan fazla gözlem şartını karşılamıştır.

Çizelge 4.6. Şekil 4.25'teki veri noktalarını temsil eden ortalama piksel sayıları.

İlçe	Ortalama Piksel Sayısı	Varyasyon Katsayısı
Konyaaltı	1683	0,17
Muratpaşa	497	0,08
Kepez	564	0,09

Düşük CV değerleri, her bir bölgedeki aylık piksel sayımlarında minimum varyans olduğunu göstermektedir ve bu da parlaklık trendlerindeki değişikliklerin muhtemelen piksel sayımı değişkenliğinden etkilenmediğini göstermektedir.

4.6 Uzaya Toplam Enerji Kaybının Tahmin Edilmesi

Bu bölümde, Antalya bölgesinde yıllar boyunca radyans değerlerinden ve mekansal genişlemeden hesaplanan uzaya toplam enerji kaybının bir tahmini sunulmaktadır. Bu analizde uygulanan yaklaşım, metodolojide belirlenen parametrelere bağlı kalarak radyans ölçekleme ayarlamaları, piksel filtreleme ve alan dönüşümleri dahil olmak üzere metodoloji bölümünde daha önce ayrıntılı olarak açıklanan işleme adımlarını takip etmektedir.

Işıkların geceleri kaç saat açık olduğunu tahmin etmek için EK-3'te yer alan Python kodu yazılmıştır. Bu kod, deniz alacakaranlığının sonunu (Güneş ufkun 12 derece altında olduğunda) ışık aktivasyonu için bir temel olarak kullanarak ışıkların muhtemelen açık olduğu gece başına ortalama saatleri hesaplamıştır. Bu hesaplama göre, ışıkların yıl boyunca gece başına ortalama 9 saat 45 dakika aktif olduğu tahmin edilmektedir.

Bu tahminde, piksel alanı standartlaştırılmış ve piksel boyutları (424,326m x 424,326m) temel alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7'de bu enerji tahmininin ayrıntılı bir dökümü sunulmakta olup, temel sütunlar aşağıda açıklanmıştır:

1. Bölge sütunu, incelenen bölgeleri listeler.
2. Yıl sütunu analiz edilen yılları göstermektedir.
3. Radyans sütunu, steradyan başına metrekare başına watt'a dönüştürülmüş ortalama radyansı göstermektedir. Bu dönüşüm, başlangıçta nanowatt olarak kaydedilen yıllık kompozitlerde uygulanan 0,1 ölçek faktörünü düzelterek radyans değerlerini ayarlar.
4. Piksel Sayısı sütunu, metodoloji bölümünde açıklanan tüm filtreleme aşamalarını geçen geçerli piksellerin sayısını listeler. Özellikle, 2012'den 2023'e kadar piksel sayısındaki artış, uydu verilerinde daha fazla piksel parlaklık kaydettiğinden, ışık emisyonlarında uzamsal genişlemeye işaret etmektedir.
5. kW sütunu, ortalama parlaklık, piksel sayısı, steradyan (bir yarım küre için π çarpı 2 olarak alınır) ve piksel alanını çarparak enerji çıkışı hesaplar.

6. Yıl Başına MWh sütunu, gece başına ortalama ışık saati (9,75) ile çarpılan kW değerlerinin ölçeklendirilmiş halini gösterir.
7. Son iki sütun ekonomik etkiyi Türk lirası cinsinden tahmin etmektedir. kW saat başına maliyet, Antalya için yaklaşık 2,31 Türk lirası olarak belirlenen Ekim 2024 ortalama hane elektrik tarifesine dayanmaktadır. kW başına bu maliyeti yıllık kWh ile çarparak, 2012 ve 2023 yıllarında her bir ilçe için Türk lirası cinsinden toplam enerji maliyetini ve bu dönemdeki yüzde artış hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Uzaya enerji kaybindan kaynaklanan ekonomik kaybın tahmini için hesaplama tablosu.

İlçe	Yıl	Radyan s (W/m ² / sr)	Pikse l Sayıs ı	kW	Yıl Başına MWh	Türk Lirası Cinsinden Tahmini Kayıp (Milyon)	Yüzde Artışı
Akseki	2012	0,00111	681	856	3.045	7,027	311
	2023	0,00108	2.873	3.519	12.525	28,905	
Aksu	2012	0,00275	1.925	5.984	21.296	49,147	155
	2023	0,00597	2.257	15.248	54.263	125,227	
Alanya	2012	0,00379	4.070	17.445	62.081	143,27	109
	2023	0,00447	7.205	36.427	129.634	299,166	
Döşemealtı	2012	0,00304	2.501	8.606	30.627	70,68	136
	2023	0,00473	3.793	20.298	72.234	166,7	
Gazipaşa	2012	0,00168	1.341	2.542	9.048	20,88	212
	2023	0,00189	3.701	7.927	28.211	65,1	
Ibradi	2012	0,00123	202	280	996	2,3	109
	2023	0,00113	458	585	2.081	4,802	
Kemer	2012	0,00419	1.022	4.846	17.244	39,796	63
	2023	0,00340	2.055	7.912	28.157	64,981	
Kepez	2012	0,00886	1.595	15.983	56.878	131,263	148
	2023	0,02157	1.622	39.580	140.855	325,063	
Konyaaltı	2012	0,00469	1.925	10.205	36.316	83,808	72

Çizelge 4.7. Devamı

	2023	0,00529	2.933	17.557	62.480	144,191	
Manavgat	2012	0,00354	4.326	17.304	61.580	142,113	95
	2023	0,00374	7.995	33.805	120.305	277,637	
Muratpaşa	2012	0,03624	521	21.358	76.007	175,407	55
	2023	0,05519	529	33.031	117.547	271,274	
Serik	2012	0,00253	3.477	9.932	35.347	81,573	162
	2023	0,00398	5.775	25.980	92.457	213,37	

Ek olarak, Çizelge 4.8 bu enerji kaybını daha geniş bir enerji tüketimi bakışı içinde sunmaktadır. Analiz edilen 12 ilçede 2023 yılı için tahmin edilen toplam radyans bazlı enerji kaybı yaklaşık 860,75 GWh'dir. Bu değer, Türkiye'nin 2023 yılındaki 335,2 TWh'lık toplam enerji tüketiminin %0,257'sini temsil etmektedir. (Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024). Bu yüzde, ulusal enerji kullanımına göre ışık kirliliği olarak kaybedilen enerjinin katkısını vurgulamakta ve Antalya'dan kaynaklanan parlaklık emisyonları nedeniyle enerji verimsizliğinin ölçeğini göstermektedir. Bu konu, tahminlerdeki olası sistematik hatalar ve belirsizlikler gibi hususlarla birlikte tartışma bölümünde daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

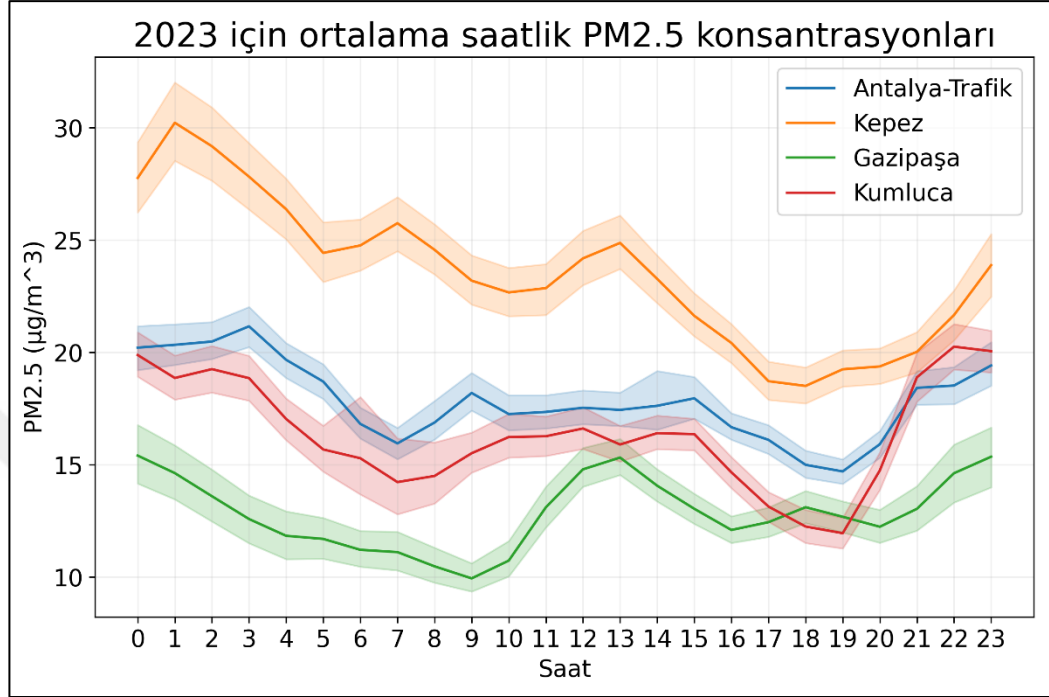
Çizelge 4.8. Tahmini toplam enerji kaybının ulusal tüketim ile karşılaştırılması.

Açıklama (2023 İçin)	Değer
Antalya'daki 12 ilçe için tahmini toplam kayıp (GWh)	860,75
Tüm Türkiye için yıllık brüt elektrik tüketimi (GWh)	335.200
Tüketilen elektriğin bu 12 bölge aracılığıyla uzaya kaybolan yüzdesi (tahmini)	0,257%

4.7 Işık Parlaklığı Ve PM2,5 Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon Analizi

Bu bölüm, özellikle 2023 yılında PM2,5 hava kirletici konsantrasyonları ile radyans verileri arasındaki ilişkinin incelenmesine odaklanmaktadır. Analiz, Antalya'daki dört hava kalitesi izleme istasyonundan alınan aylık ve günlük verileri değerlendiren bir dizi şekil ve tablo içermektedir: Antalya-Trafik, Kepez, Gazipaşa ve Kumluca. PM2,5 seviyeleri ile gece radyansı arasında herhangi bir bağlantı olup olmadığını anlamak için potansiyel korelasyonlar değerlendirilmiştir, ancak sonuçta, aşağıda tartışıldığı gibi, bu korelasyonların önemi değişmiştir.

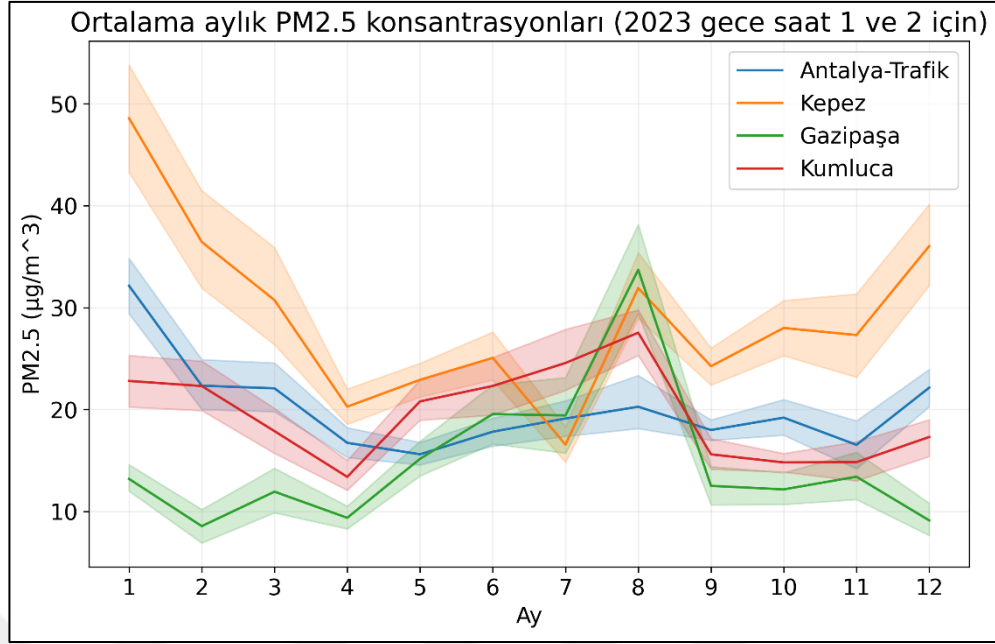
Sonraki üç şekil verilerin temelini oluşturmaktadır. Şekil 4.26, x ekseninde zaman (24 saat olarak) ve y ekseninde PM_{2,5} konsantrasyonu (metreküp başına mikrogram cinsinden) ile 24 saatlik bir süre boyunca (2023 için) ortalama PM_{2,5} konsantrasyonlarını göstermektedir.



Şekil 4.26. Antalya ilindeki dört istasyonda 2023 yılı için ortalama saatlik PM_{2,5} konsantrasyonları

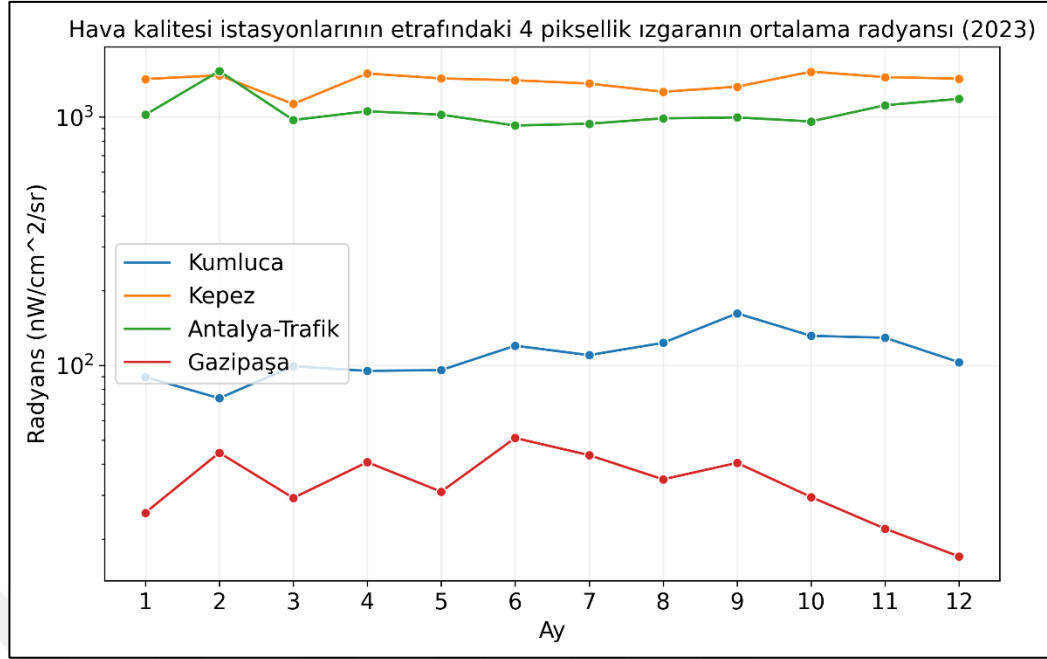
Grafik, PM_{2,5} seviyelerinin gece yarısından sonra düştüğü ve ardından sabahtan itibaren tekrar yükseldiği, akşam saatlerinde tekrar yükselmeden önce gün ortası civarında dengelendiği bir eğilim göstermektedir.

Şekil 4.27, 2023 ayları boyunca özellikle gece 1 ve gece 2 civarındaki PM_{2,5} konsantrasyonlarına odaklanarak bu verileri daraltmaktadır. Bu zaman dilimi, Black Marble uydusunun radyans gözlemleri için gözlem saatiyle (yerel saatle 1.30) uyumludur. Sonuçlar, kış aylarının yaz aylarına kıyasla daha yüksek PM_{2,5} değerleri gösterdiğini, ancak Ağustos ayında anormal bir artış gözlemlendiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.27. 2023'te gece 1 ve gece 2'de aylık ortalama PM2,5 konsantrasyonları

Şekil 4.28, her bir hava kalitesi izleme istasyonunun konumunu çevreleyen dört piksellik bir ızgara üzerinde ölçülen, uydudan yalnızca nadire yakın gözlemleri kullanarak 2023 için aylık bileşik radyans değerlerini görselleştirmektedir. Nadir'e yakın gözlemler atmosferik yol uzunluğunu en aza indirir ve geometrik bozulmaları azaltır. Radyans değerleri logaritmik y ekseninde, aylar ise x ekseninde gösterilir. Bu veriler de metodolojide açıklanan ön işleme yöntemlerine uymakta ve istasyonların konumları etrafında aylık ortalama radyans verileri sağlamaktadır. Bu ilk üç grafik, bu analizde kullanılan veri türlerini ve toplama yöntemlerini sergilemek için bir temel görevi görmektedir.



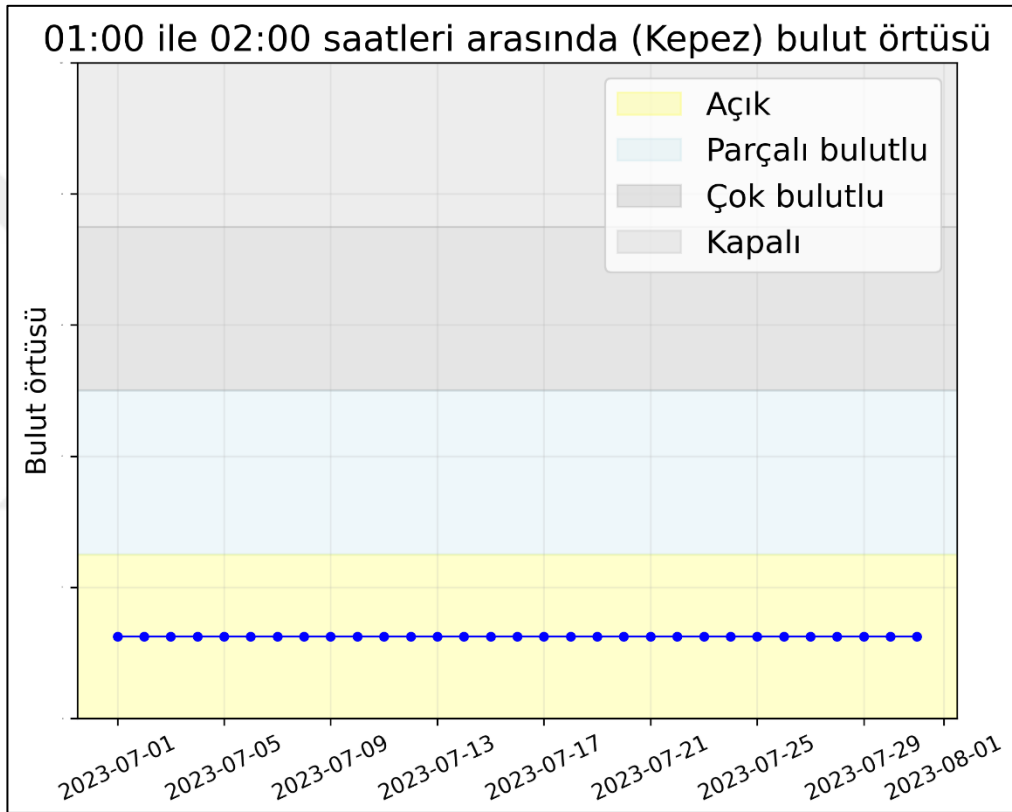
Şekil 4.28. 2023'te hava kalitesi izleme istasyonlarının konumları için aylık ortalama radyans değerleri (yakın nadir gözlemleri)

Çizelge 4.9 hava kirliliği ve radyans arasındaki korelasyonu istatistiksel olarak değerlendirmektedir. Tabloda istasyon isimleri, R^2 değerleri ve p-değerleri sunulmakta, gece 1 ve gece 2'deki aylık PM_{2,5} konsantrasyonları ile radyans değerleri karşılaştırılmaktadır. Ölçüm doğruluğunu artırmak için, sadece nadir'e yakın radyans gözlemleri kullanılmış ve nadir dışı açılardan kaynaklanan ekstra atmosferik etkilerden kaçınılmıştır. Bu iyileştirmelere rağmen, yüksek p-değerleri aylık düzeyde PM_{2,5} seviyeleri ile radyans arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon olmadığını göstermektedir. Ayrıca, dört piksellik bir ızgara yerine her istasyon için yalnızca bir tam piksel kullanılarak bir analiz daha yapılmıştır, ancak p-değerleri 0,1'in üzerinde kaldığı için bu da anlamlı olmayan sonuçlar vermiştir.

Çizelge 4.9. Her istasyon için aylık PM_{2,5} konsantrasyonları ve radyans değerleri arasındaki regresyon analizi sonuçları.

Lokasyon	R^2 -değeri	P-değerleri
Antalya-Trafik	$8,0 \times 10^{-3}$	0,783
Kepez	$7,0 \times 10^{-6}$	0,994
Kumluca	$6,9 \times 10^{-2}$	0,406
Gazipaşa	$2,5 \times 10^{-2}$	0,623

Aylık bazda herhangi bir korelasyon bulunmadığından, günlük gözlemlerin daha iyi eğilimleri ortaya çıkarabileceği varsayımıyla özellikle Kepez istasyonuna odaklanılmıştır. Şekil 4.29, Meteosat'tan (EUMETSAT tarafından işletilen sabit meteoroloji uyduları) alınan verilere göre Temmuz 2023'te Kepez'de gece 1 ile gece 2 arasındaki bulut örtüsünü göstermektedir. Gökyüzünün açık olduğu bu dönem, bulut paraziti olmadan günlük PM_{2,5} ve radyans değerlerini karşılaştırmak için ideal bir koşul sağlamaktadır. Şekil 4.30 aynı zaman dilimi için bağıl nem (RH) göstermektedir. Bağıl nem bir değişken olarak dahil edilmiştir, çünkü ilgili literatüre göre PM_{2,5} konsantrasyonları korelasyon doğruluğunu artırmak için bağıl nem için düzeltme gerektirebilir (Li vd., 2015). Bulut örtüsü ve bağıl nem verilerini elde etmek için yazılan Python kodu EK-4'te gösterilmektedir.

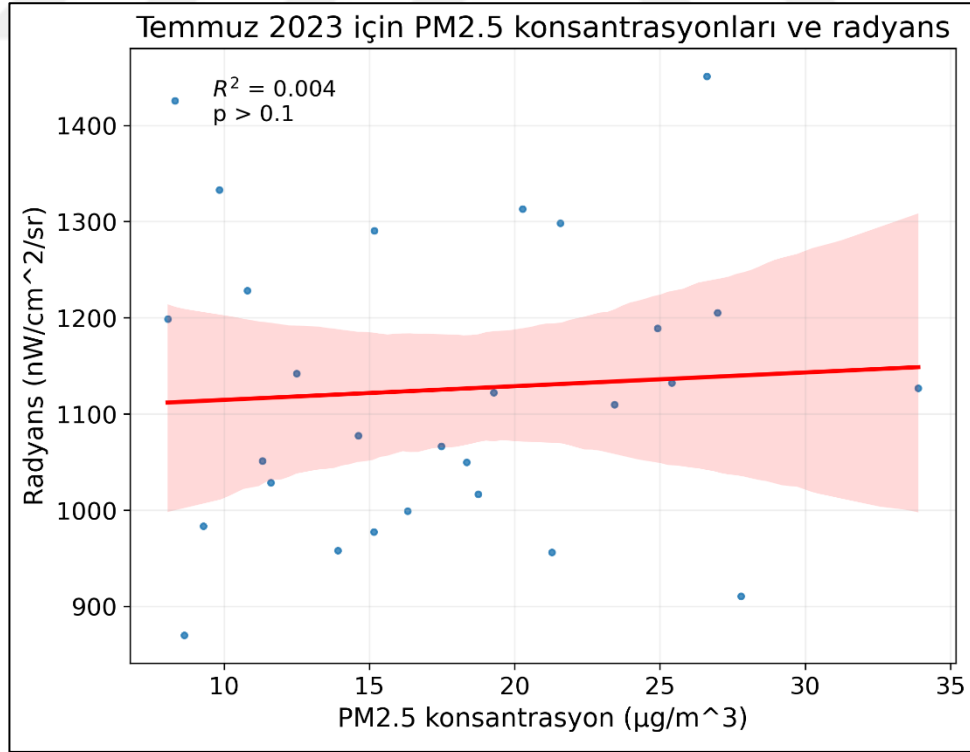


Şekil 4.29. Temmuz 2023'te Kepez istasyonundaki bulut örtüsü (01.00 ile 02.00 arasında tüm ay boyunca açık gökyüzü koşulları)



Şekil 4.30. Temmuz 2023 için Kepez istasyonu yakınındaki bağıl nem değerleri

Şekil 4.31'de PM_{2,5} konsantrasyonları (01.00 ve 02.00) Temmuz 2023 için gece radyans değerlerine karşı çizilmiştir. Elde edilen R^2 değeri 0,004 ve p-değeri 0,74'tür, bu da günlük PM_{2,5} ile radyans arasında önemli bir korelasyon olmadığını göstermektedir.

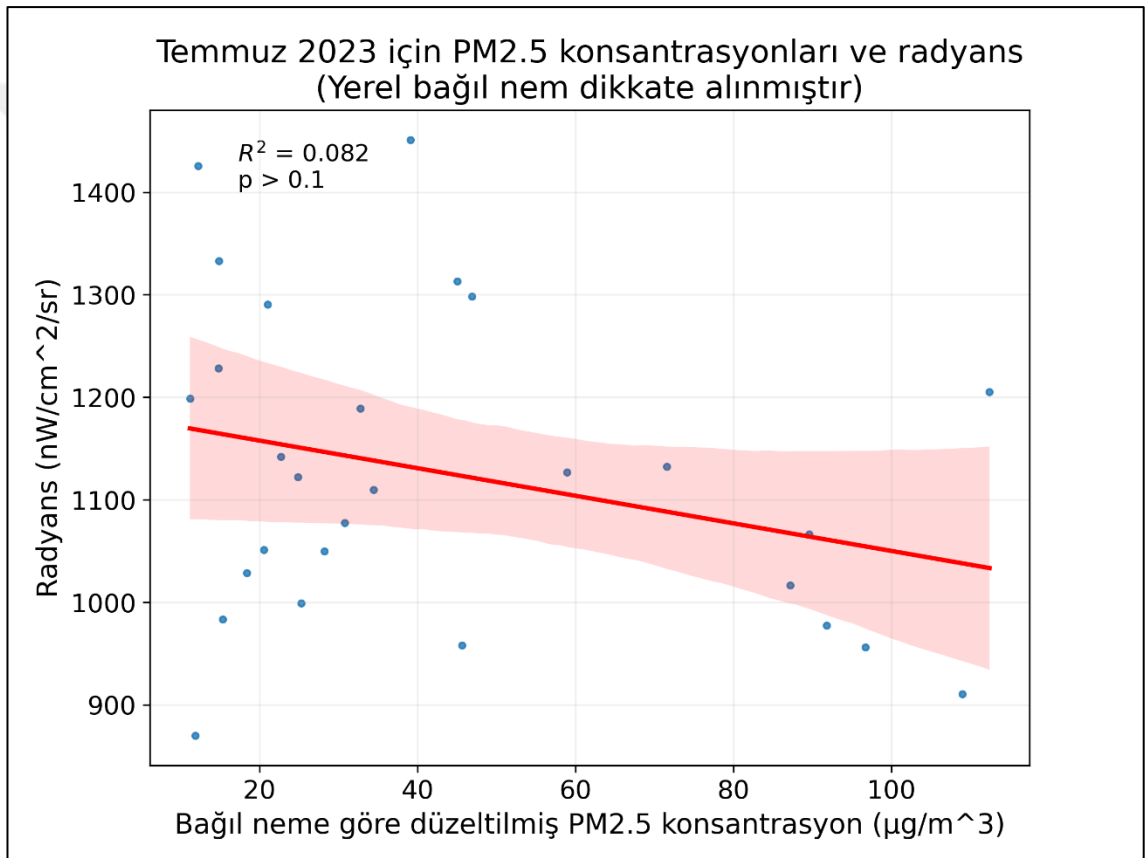


Şekil 4.31. Temmuz 2023'te Kepez'de gece 1 ile gece 2 arasındaki PM_{2,5} konsantrasyonları (düzeltilmemiş) ve parlaklık

Korelasyon eksikliği göz önüne alındığında, ilgili çalışmalarda önerildiği gibi PM2,5 değerlerine bağıl neme dayalı bir düzeltme uygulanmıştır(Li vd., 2015). Formül aşağıda gösterilmiştir.

$$PM2.5_{RH_CORRECTED} = \frac{PM2.5}{(1 - \frac{RH}{100})} \therefore 0 \leq RH < 100$$

Şekil 4.32, Temmuz ayında Kepez için RH (bağıl nem) ile düzeltilmiş PM2,5 değerlerini (x eksen) günlük radyans değerlerine (y eksen) karşı çizmektedir. R^2 değeri hafif bir artışla 0,082'ye yükselmiş ve p-değeri 0,14'e düşmüştür; bu da uyumda hafif bir iyileşme olduğunu ancak istatistiksel olarak önemsiz kaldığını göstermektedir (p-değeri > 0,1).



Şekil 4.32. Temmuz 2023'te Kepez'de gece 1 ile gece 2 arasındaki PM2,5 konsantrasyonları (RH ile düzeltilmiş) ve radyans

Bu sonuçlar toplu olarak, günlük analizle bile, PM2,5 konsantrasyonları ile Kepez lokasyonu için radyans değerleri arasında önemli bir korelasyon olmadığını göstermektedir. Hem aylık hem de günlük veri setleriyle tutarlı olan bu bulgu, PM2,5 kirliliğini doğrudan radyans gözlemleriyle ilişkilendirmenin karmaşıklığının altını çizmektedir. Bu sonuçlara ilişkin daha fazla tartışma ve yorumlama tartışma bölümünde sunulmuştur.

5. TARTIŞMA

Bu tez, Antalya ilindeki ışık kirliliği eğilimlerinin uzun vadeli bir analizini sunmaktadır. Mekânsal ve zamansal değişiklikleri değerlendirmek için NASA'nın Black Marble uydu verilerinden elde edilen günlük, aylık ve yıllık kompozitler ve Gökyüzü Kalitesi Ölçer (SQM) ölçümleri kullanılmıştır. Birincil hedefler, kentsel ve kent çevresi ışık yayılımını anlamak, uzaya toplam enerji kaybını tahmin etmek ve gece radyansı ile PM_{2,5} konsantrasyonları arasındaki korelasyonları araştırmaktır. Bu bölümde her bir sonuç için, uygulanan metodoloji ve dikkate alınması gereken sınırlamalar tartışılmaktadır.

5.1 Gökyüzü Kalite Ölçüm Cihazı (SQM) Verilerinin Değerlendirilmesi

Gökyüzü Kalitesi Ölçer (SQM), uydu görüntülerinde tespit edilen gece parlaklığı eğilimlerini doğrulamak için kullanılan bir dizi yer tabanlı ölçüm sağlamıştır. SQM verileri gece parlaklığına ilişkin benzersiz gözlemler sunmasına rağmen, bazı kısıtlamalar uygulanabilirliğini etkilemiştir. Öncelikle, bu çalışmada kullanılan SQM cihazı, Antalya ilinin herhangi bir yerinde uzun vadeli parlaklık verilerinin tek bir nokta kaynağıdır ve doğal olarak uzamsal çözünürlüğü sınırlıdır. Bu tek cihazdan elde edilen veriler, Antalya'nın ana kentsel şehir merkezlerinin çok dışında yer alan TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nden toplanmıştır. Bu konum kısıtlaması, SQM okumalarının ağırlıklı olarak çekirdek kentsel alanlardan ziyade dağ tepelerindeki ışık koşullarını yansıttığı anlamına gelmektedir. Kentsel gökyüzü parlaltısının bu konuma ulaşması mümkün olsa da, bunun SQM okumaları üzerindeki kapsamı ve etkisi belirsizliğini korumaktadır.

SQM verilerinin temizlenmesi ve filtrelenmesi sırasında, açık gökyüzü koşullarından gelen veri miktarı hesaplanmıştır. SQM ölçümleri bulutlu koşullardan etkilendiğinden, açık gökyüzü koşullarını izole etmek için bir bulut filtreleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, EUMETSAT'ın bir bulut maskesi ürününden elde edilen veriler kullanılmıştır. SQM 4 piksellik bir ızgaranın ortasına yerleştirilmiştir. Bir pikselin uzamsal çözünürlüğü yaklaşık 4 x 5 km, zamansal aralığı ise 15 dakikadır. Bu nedenle, bulutlar hızla hareket ediyorsa veya SQM konumunu kısmen kaplıyorsa, bulut örtüsündeki geçici değişikliklerin tam olarak yakalanamaması ve açık gökyüzü tahminini etkilemesi olasılığı vardır. Bir piksel bulutlu olarak görülse bile, tüm konumun o zaman dilimi için bulutlu olarak belirlendiği ikili bir sınıflandırma kullanılmıştır. Bu oldukça temkinli bir filtreleme yaklaşımıdır ve yalnızca en kesin açık koşulları filtreleyerek gerçek açık gece sayısını olduğundan az gösterir. Bu verilerin dikkate almadığı bir diğer faktör de SQM ölçümleri üzerinde farklı etkileri olan bulut tipi veya bulut tavan yüksekliğidir.

SQM verilerini yorumlarken dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da kalibrasyon kayıtlarının olmamasıdır. Tutarlı kalibrasyon olmadan, cihazın doğruluğunu zaman içinde doğrulamak zordur ve literatürde bildirildiği gibi SQM okumalarında “kararma etkilerine” yer bırakır. Ek olarak, SQM verileri esas olarak 2020'de yoğunlaşmıştır ve diğer yıllarda seyrek kapsama alanı vardır, bu da uzun vadeli eğilimleri analiz etme ve yıldan yıla değişiklikleri değerlendirme kapasitesini sınırlar. Bununla birlikte, 2020 verileri gece vakti gökyüzü parlaklık seviyeleri hakkında değerli aylık bilgiler sağlamıştır, ancak bunlar yukarıda belirtilen sınırlamalarla birlikte düşünülmelidir. SQM tek boyutlu bir araç olduğundan, hızlı değişikliklere, bunu

destekleyecek başka veriler olmadan bir neden atfedilemez. Bu kısıtlamalara rağmen, SQM verileri, uydudan türetilen parlaklık değerleriyle yaklaşık bir karşılaştırmaya izin vererek, gelecekteki çalışmalara rehberlik edebilecek bir ön yer tabanlı doğrulama sunarak önemli bir değer katmıştır.

5.2 Özel Kompozitler Ve İşleme

Bu tezde yapılan önemli bir test, NASA'nın aylık kompozitleri için işleme yaklaşımını daha iyi anlamak için günlük VNP46A2 radyans verilerinden özel bir aylık kompozit oluşturulmasını içermektedir. Bu test tek bir piksel üzerinde gerçekleştirilmiş ve yalnızca belirli bir ay için yüksek kaliteli, karsız gözlemler dikkate alınmıştır. Bu metodolojik karşılaştırma, NASA'nın yöntemlerinin özel işleme ile nasıl uyumlu olduğuna ışık tutmuştur. Test, bilgilendirici olmakla birlikte, yıllık kompozitleri veya karla kaplı gözlemleri kapsamamıştır. Bunun nedeni, NASA'nın yıllık kompozitlere aylık kompozitlerle aynı birleştirme işlemini, sadece daha uzun bir zaman diliminde uygulamasıdır. Gelecekte daha geniş bir piksel aralığında ve farklı dönemlerde yapılacak karşılaştırma testleri, NASA'nın birleştirme adımlarının tutarlılığı konusunda daha fazla netlik sağlayabilir.

Veri ön işleme adımlarının kendileri de, özellikle gözlem sayıları ve varyasyon katsayısı (CV) için seçilen eşikler de tartışmayı gerektirmektedir. Aylık kompozitler için en az 10 gözlem gerekirken, yıllık kompozitler için eşik 100 gözlemdir ve her pikselin kompozitler için yeterli radyans okuması içermesini sağlamayı amaçlar. Bu da kabaca ortalama her 3-4 gecede bir gözleme denk gelmektedir. Bununla birlikte, bu eşik, özellikle açık gökyüzü gözlemlerinin seyrek olduğu alanları etkileyerek, sürekli bulut örtüsü olan bölgelerdeki piksellerden gelen verileri hariç tutabilir. Sonuç olarak, bu tür alanlarda gözlemlenen herhangi bir eğilim, daha açık gecelere doğru seçim yanlılığını yansıtabilir ve bu da uzun vadeli değişikliklerin yorumlanmasını çarpıtabilir. Ayrıca CV, bir pikselin değerinin aylık veya yıllık kompozitlerde ne kadar değişeceğini bilmemizi sağlar. Orman yangınları, kültürel etkinlikler veya kutlamalar, inşaat faaliyetleri vb. gibi geçici olaylar bu değeri etkiler ve eşikler, daha kalıcı aydınlatma koşullarının doğru bir tahminini sağlamayabilecek yüksek değişken değerleri ortadan kaldırmak için seçilir. CV eşiklerinin seçimi ($<0,5$ ve $<0,9$) soyut görünebilir, ancak mevcut literatürde bu tür veriler ve metodolojiler için belirlenmiş bir standart yoktur. Daha düşük CV eşikleri daha değişken verileri dışarıda bırakabilirken, daha yüksek eşikler ışık trendlerinin yorumlanmasını etkileyerek daha az güvenilir ölçümleri içerebilir. Analiz, her iki eşik değerini de kullanarak karşılaştırmalı bir görüşe olanak tanır, ancak bu ikili yaklaşım, özellikle heterojen kentsel ortamlardaki ışık kirliliği çalışmaları için daha net CV standartlarına duyulan ihtiyacın altını çizer.

5.3 Yüzde Artış (2019-2023) Ve Pilot Çalışmalar

2019-2023 dönemi için yapılan yüzde artış analizi, Antalya'nın ilçelerinde ışık emisyonlarının arttığı noktaların belirlenmesinde çok önemli bir rol oynamıştır. Çoğu yerde artış görülürken, diğerlerinde sabit parlaklık görülmüş, hiçbir bölgede gece parlaklığında azalma görülmemiştir. Bu durum kentsel genişleme eğilimleriyle uyumlu olmakla birlikte veri ön işleme eşiklerinden kaynaklanan sınırlamaları da yansıtmaktadır. Yüzde artış haritasındaki (Şekil 4.6) siyah alanlar, uydunun minimum algılama sınırı ($3 \text{ nW/cm}^2/\text{sr}$) nedeniyle parlaklığın tespit edilemediği veya piksellerin

gözlemler için eşik gereksinimlerini karşılayamadığı bölgeleri göstermektedir. Sonuç olarak, bu siyah alanlar ışık kirliliğine hala katkıda bulunan ancak işleme sınırlamaları nedeniyle analizde kaydedilmemiş olan düşük emisyonlu bölgeleri içerebilir.

Ayrıca, Black Marble veri setinin piksel başına 500 metre olan uzamsal çözünürlüğü de yüzde artış analizinin doğruluğunu etkilemektedir. Verilerdeki her bir piksel oldukça büyük bir alanı kapsamaktadır, yani aydınlatmadaki kısmi artış veya azalma gibi herhangi bir alt piksel varyasyonunun ortalaması alınabilir ve böylece yerel değişiklikler yumuşatılabilir. Örneğin, karma kullanımlı araziye (hem düşük hem de yüksek parlaklık) temsil eden bir piksel, o alandaki belirli artışları veya azalmaları maskeleyerek ışık kirliliği kaynaklarının belirlenmesini zorlaştırabilir. Bu uzamsal ortalama, özellikle dinamik arazi kullanımı olan alanlarda yüzde değişim tespiti için doğruluğunu azaltabilir.

Çakallık için yapılan üçüncü vaka çalışması, ışık emisyonlarının nedenlerine ilişkin uydu temelli araştırmaların sınırlılıklarını göstermektedir. Uydu verileri Google Earth'e göre daha fazla sera bulunan bölgelerde ışığın arttığını gösterse de (Şekil 4.13), bu bölgelerde gece aydınlatmasına ilişkin doğrudan saha gözlemleri yapılmamıştır. Dolaylı verilere dayanan bu durum, seraların gözlemlenen ışık artışlarına muhtemelen katkıda bulunduğu anlamına gelse de, sonucun kesin olmaktan ziyade öneri niteliğinde olduğu anlamına gelmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar bu bulguları saha gözlemleri yoluyla doğrulayabilir ve bu da seraların Antalya'daki gece aydınlığına kesin katkısını tespit etmeye yardımcı olabilir.

5.4 Uzun Vadeli Trend Analizi (2012-2023)

2012'den 2023'e kadar olan radyans analizi, Antalya genelinde ışık kirliliğinin mekânsal ve zamansal yayılımında anlamlı örüntüleri vurgulamıştır (Şekil 4.15 ve 4.16). Hem 0,5 hem de 0,9 CV eşikleri incelenmiş ve iki perspektif sunulmuştur: ortalama radyans ve toplam radyans. Genel olarak, ortalama radyanslar (Bölüm 4.4.2'de) 0,9 eşik için daha düşüktür ve bu da illerin dış mahallelerinde yer alan daha düşük değerli piksellerin dahil edilmesini yansıtmaktadır.

Ayrıca, 2018 ve 2020 sonrası gibi bazı yıllardan sonra ortalama parlaklık değerlerinin düştüğü görülmüştür. Antalya'nın kentsel sınırları genişledikçe, daha önce veri yok "beyaz" olarak işaretlenen birçok yeni alan düşük radyanslı mavi pikseller olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.16'da gösterildiği gibi). Bu durum, kentsel yayılmanın çevre bölgelerde düşük yoğunluklu aydınlatmanın artmasına yol açtığını ve bunun da genel ortalama parlaklığı düşürdüğünü göstermektedir. Çoğu il için durum böyledir. Ancak Muratpaşa için bu örüntüyü gözlenmemiştir, bunun nedeni bu ilin neredeyse tamamen aydınlatılmış olması ve ortalama yoğunluktaki artışın yeni piksellerin yaratılmasından daha fazla olmasıdır.

Ancak toplam parlaklık grafikleri (bölüm 4.4.2'de) farklı bir hikaye anlatmaktadır. Belirli yıllarda ortalama parlaklıktaki düşüşe rağmen, toplam parlaklık artmaya devam etmiştir, bu da aydınlatılan piksellerin toplam sayısının önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Bu durum, Antalya'daki kentsel genişlemenin yeni alanlarda daha düşük yoğunluklu da olsa daha yaygın bir aydınlatma getirdiği fikrini güçlendirmektedir. 2020'de gözlemlenen parlaklık platosu, aydınlatma artışlarını geçici

olarak yavaşlatmış olabilecek COVID-19 kısıtlamalarının olası bir etkisine işaret etmektedir. Bu daha sonra 2020 için aylık eğilimler bölümünde daha ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, uydu gözlemleri gece 1:30'da gerçekleştiğinden, COVID-19 nedeniyle aydınlatmadaki en büyük düşüşler gözden kaçmış olabilir. Bu bulgular, kısıtlamaların ışık kirliliğini nasıl etkilediğini tam olarak anlamak için geceleri birden fazla zaman noktasını yakalayan verilere duyulan ihtiyacın altını çizmektedir.

5.5 2020'de Aylık Trendler: COVID-19 Etkileri Ve SQM Karşılaştırması

2020'deki eğilimler için yapılan analizde, merkez ilçeler-Konyaaltı, Muratpaşa ve Kepez için SQM okumaları ve uydu parlaklığı karşılaştırılmıştır (Şekil 4.25). Özellikle, SQM verileri Mart ayından sonra gece gökyüzü parlaklığında tutarlı bir artış gösterirken, diğer konumlar için uydu değerleri dalgalanmıştır. SQM ve uydu verilerinde gözlemlenen zıt eğilimler, her bir yöntemin ölçtüğü şeydeki farklılıkları vurgulamaktadır. SQM ölçümleri tüm geceyi kapsarken, uydu okumaları yalnızca gece 1:30 koşullarını yakalamaktadır, bu da akşam yapay ışık davranışını yansıtmayabilir.

Karmaşıktırıcı bir diğer faktör de COVID-19 kısıtlamalarının zamanlamasıdır; bu kısıtlamalar değişen yoğunluklarda ve düzensiz olarak uygulanmıştır. En uzun süreli karantina 29 Nisan ve 17 Mayıs tarihleri arasında Türkiye'deki 81 ilin tamamı için uygulanmıştır (Koybasi vd., 2021). Mayıs ayında parlaklıkta azalma olmaması ve diğer zamanlarda dalgalanmalar olması, COVID-19'un aydınlatma modelleri üzerindeki etkisinin değişken ve karmaşık olduğunu göstermektedir. Uydu verileri bazı değişiklikleri yakalamış olsa da, sınırlı gözlem penceresi, özellikle gece aydınlatma davranışının gece yarısı yerine akşamın erken saatlerinde değişebileceği pandemiyle ilgili çalışmalar için çok zamanlı verilerin kullanılmasının önemini göstermektedir.

5.6 Uzaya Toplam Enerji Kaybının Tahmini

Enerji kaybının hesaplanması, ışık kirliliğinin ekonomik ve çevresel etkilerini vurgulamıştır. Sadece 12 ilçede 2023 yılında tahmini 860,75 GWh enerji kaybı yaşanmıştır ve bu rakam Türkiye'nin toplam tüketiminin %0,257'sini temsil etmektedir. Bu rakam, ışık kirliliği kontrol önlemlerinin uygulanması halinde büyük enerji tasarrufu potansiyelini göstermektedir.

Sonuçların ardından aşağıdaki varsayımlar ve sınırlamalar dikkate alınmalıdır:

1. Güneş ufkun 12 derece altına düştüğünde ışıkların açıldığı varsayımı, gece aydınlatma süresinin (9,75 saat) geniş bir tahminini sağlamıştır, ancak farklı bölgelerdeki çeşitli aydınlatma programlarını hesaba katmayabilir.
2. Uydunun $3 \text{ nW/cm}^2/\text{sr}$ 'lik algılama eşiği de burada dikkate alınması gereken bir diğer önemli faktördür. Bu sınırın altında parlaklık yayan yerler uydu okumalarının dışında bırakıldığından, toplam enerji kaybının düşük tahmin edilmesine neden olabilir.
3. Işık kullanımı gece boyunca değişir. Uydu verilerinin 1.30 gözlem periyodu tüm geceyi temsil etmeyebilir.
4. Uydu okumaları, komşu bölgelerden nadir dışı ışık kirliliği alabilir ve bazı durumlarda potansiyel olarak parlaklık tahminlerini artırabilir.

5. Yapay aydınlatma genellikle yönlüdür ve emisyonlar ışık kaynaklarının türüne ve yönüne bağlı olarak değişir. Bazı yukarı yönlü emisyonlar da arazi veya yapılar tarafından engellenebilir. Bu tezde, 2π steradyanlık tekdüze bir yukarı doğru dağılım varsayılmıştır.
6. Bir başka faktör de uydu sensörlerinin mavi aralıktaki veya daha yüksek frekanslardaki ışıkları algılayamamasıdır; bu da LED ışık katkılarının eksik temsil edilebileceği anlamına gelir. Kentsel alanlarda yaygın olan LED'ler ışığın önemli bir kısmını mavi aralıkta yaydığından, enerji kaybının gerçek boyutu burada tahmin edilenden daha büyük olabilir. Benzer şekilde, kızılötesi radyasyon da dikkate alınmamıştır.

Toplam enerji kaybının tahmini, Antalya bölgesindeki yapay ışık emisyonlarının boyutuna ilişkin değerli bilgiler sağlamaktadır. Metodolojinin kısıtlamalarını kabul etmekle birlikte enerji kaybına ilişkin anlamlı tahminler elde edebilir. Bu bulgular çevre yönetimi, kentsel planlama ve enerji tasarrufu çabaları için önemli sonuçlar doğurabilir.

5.7 PM_{2,5} Konsantrasyonları ve Işık Parlaklığı Arasındaki Korelasyon

PM_{2,5} konsantrasyonları ve parlaklık arasındaki korelasyon analizi istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki ortaya koymamıştır. Diğer çalışmalar PM_{2,5} seviyelerini tahmin etmek için uydu verilerini kullanırken, bu çalışma ışık kirliliği ve hava kalitesi arasındaki korelasyonları bulmayı amaçlayan başka bir yaklaşım benimsemiştir. Aylık ve günlük analizler PM_{2,5} ile parlaklık arasında güçlü bir korelasyon olmadığını göstermiştir. Korelasyon eksikliği, radyansı etkilemede PM_{2,5} üzerindeki diğer atmosferik etkilerin potansiyel baskınlığı da dahil olmak üzere birçok faktörden kaynaklanabilir. Rüzgar ve hızlı partikül dağılımı gibi değişkenler, hava kirliliğinin ışık emisyonları üzerindeki etkisinin yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Hava kalitesi istasyonu etrafında 4 piksellik sınırlı bir ızgara kullanılması da analizi kısıtlamış olabilir; daha geniş bir alan, bu küçük ızgarada tespit edilemeyen korelasyonları ortaya çıkarabilir. Uydunun yerel saatle 1.30 civarında ölçüm yaptığı ve hava kalitesi ölçümlerinin 1 saatlik aralıklarla kaydedildiği, yani iki ölçüm arasında mükemmel bir zamansal senkronizasyon olmadığı da unutulmamalıdır. Sonuçlar, ışık ve hava kirliliği etkileşimlerini incelemek için uydu verilerinin tek başına yetersiz olabileceğini göstermekte ve hava kalitesi istasyonları ile birlikte konumlandırılmış yer tabanlı cihazların kullanılmasının potansiyel bir faydasını vurgulamaktadır.

5.8 Sonuçların Literatürle Karşılaştırılması

Bu tez, bölgesel ışık kirliliği modelleri, ölçüm zorlukları ve çevresel sonuçlarla ilgili önceki araştırmalardan elde edilen bazı bulgularla uyumludur ve bunları genişletmektedir. Önceki çalışmalarda yinelenen bir tema, ışık kirliliğinin zaman içinde arttığının değerlendirilmesidir (örn. Kyba vd., 2017). Bu çalışma, 2012'den 2023'e kadar Antalya'nın ilçelerindeki parlaklık değerlerinde sürekli bir artışı belgeleyerek bu bulguları desteklemektedir; kentsel genişleme ve altyapısal gelişmeler, özellikle merkezi ve yüksek aktiviteli bölgelerde ışık emisyonlarında önemli artışlara katkıda bulunmaktadır.

Metodolojik olarak, bu çalışmanın yaklaşımı, sağlam bulut filtreleme ve gözlem için uydu ve SQM verilerini entegre etmenin etkinliğini gösteren (Cavazzani vd., 2020) Şili ve İtalya'daki çalışmalarına paraleldir. Cavazzani'nin çalışması, uydu ve SQM verilerinin kombinasyonu yoluyla bulut örtüsü tespitinde %95 doğruluk elde ederken, bu tez bulut örtüsünü filtrelemek ve parlaklık ölçümlerinde kalite kontrolü sağlamak için benzer şekilde titiz ön işleme adımları kullanmıştır.

Son olarak, ışık kirliliğinin sosyoekonomik etkilerine ilişkin bulgular, ışık kirliliğinin maliyetlerini anlamak için daha fazla bağlam sağlamaktadır. (Yılmaz & Özdemir, 2021) Malatya'da enerji israfı nedeniyle yıllık 3,6 milyon TL'lik bir ekonomik etki tahmin ederken, bu tez tüm ilçeler için toplam enerji kaybını tahmin etmiştir. Abdulvahap ve Tuncay kentsel aydınlatma maliyetlerine odaklanırken, bu tez birden fazla ilçedeki potansiyel kaybı hesaplayarak kapsamı genişletmiştir.

Özetle bu tez, sürekli ışık kirliliği artışlarını belgeleyerek, veri ön işlemede metodolojik titizliği göstererek ve kontrolsüz yapay aydınlatmanın ekonomik etkilerini vurgulayarak önceki çalışmalardan elde edilen bulguları doğrulamakta ve üzerine inşa etmektedir. Benzersiz katkılar arasında, Türkiye'deki birden fazla ilçede enerji kaybının genişletilmiş analizi ve parlaklık eğilimi hesaplamaları için yeni analiz yöntemleri yer almaktadır.

6. SONUÇLAR

Bu tez, uydu ve yer tabanlı verileri kullanarak Türkiye'nin Antalya ilindeki ışık kirliliğinin uzun vadeli nicel bir analizini sunmaktadır. Temel sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1. 2012'den 2023'e kadar, Antalya'daki kentsel ve banliyö ilçeleri gece parlaklığında genel bir artış sergilemiştir. Azalma gösteren hiçbir alan olmamıştır. Belirli sıcak noktalar üzerinde yapılan pilot çalışmalar, artışı kentleşmeye ve seraların varlığına bağlamıştır.
2. TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde 2020 yılı için toplanan SQM verileri, yıl boyunca doğrusal artış eğilimleri ile Mart ayından sonra parlaklık seviyelerinde istikrarlı bir artış göstermiştir. SQM verilerinin çoğu 2020 yılında yoğunlaşırken, diğer yıllar için sınırlı veri mevcuttur ve bu da daha uzun vadeli SQM trend analizini engellemektedir.
3. İki CV eşiği (0,5 ve 0,9) kullanılarak 2012'den 2023'e kadar yapılan parlaklık analizi, ortalama parlaklıktaki düşüşlere rağmen toplam parlaklık değerlerinin artmaya devam ettiğini göstermiştir ve bu da geçerli veri içeren piksel sayısındaki artışa bağlanmıştır.
4. 2020'ye ait aylık uydu radyans değerleri, Şubat ayındaki düşüş, Haziran ve Kasım aylarındaki zirveler ve ilçeler arasında değişen eğilimler de dahil olmak üzere dalgalanmalar göstermiştir.
5. 2023 yılında Antalya'nın on iki ilçesinde ışık emisyonlarından kaynaklanan toplam tahmini enerji kaybı yaklaşık 860,75 GWh olmuştur. Bu enerji kaybı, Türkiye'nin o yılki toplam enerji tüketiminin %0,257'sini temsil etmektedir. Ortalama gece aydınlatma süresi 9,75 saat olarak hesaplanmıştır.
6. PM_{2,5} konsantrasyonları (4 lokasyon için) ve 2023 yılı için radyans seviyeleri arasındaki aylık korelasyon analizleri istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki göstermemiştir. Kepez hava kalitesi izleme istasyonunda açık gökyüzü koşullarına sahip Temmuz 2023 verileri de günlük PM_{2,5} değerleri ile radyans arasında bir korelasyon vermemiştir.
7. Veri filtreleme, işleme ve analizin birçok aşaması için Python kodları yazılmıştır. Bu kodlar veri işleme süreçlerini otomatikleştirmiş, filtreleme eşiklerini uygulamış ve hesaplamaları gerçekleştirerek iş akışını tekrarlanabilir ve benzer çalışmalar için uyarlanabilir hale getirmiştir.

Bu araştırma, daha önce bu bağlamda uygulanmamış olan NASA'nın Black Marble verilerini kullanan ilk kapsamlı bölgesel analizi sağlayarak Antalya'daki ışık kirliliği çalışmalarına önemli katkılarda bulunmaktadır. Çalışma, DMSP gibi önceki nesil verilere dayanan geçmiş yöntemleri (Koc-San vd., 2013) genişleterek işleme ve mekansal analize yeni yaklaşımlar getirmektedir. Ayrıca, enerji kaybı tahmini, yapay aydınlatma ile ilişkili ekonomik ve çevresel maliyetler hakkında fikir vererek potansiyel politika önlemleri için bir temel oluşturmaktadır. Uydu verilerini yer tabanlı SQM ve PM_{2,5} ölçümleriyle karşılaştıran bu tez, gelişmekte olan kentsel alanlarda ışık kirliliğini incelemek için çok katmanlı bir yaklaşım oluşturmaktadır.

Bu bulguları geliştirmek için gelecekteki çalışmalar, özellikle daha yerel eğilimleri yakalamak için kentsel ve banliyö alanlarına SQM cihazları yerleştirilerek daha kapsamlı yer tabanlı ölçümler yoluyla veri toplamayı geliştirebilir. Enerji kaybı tahmini,

ışık emisyonlarının yukarı doğru yayılma açısı ve spektral bileşimi için saha deneylerine ve gözlemlerine dayalı bir çalışma yapılarak da geliştirilebilir. Yüksek aktiviteli bölgelerdeki günlük ve haftalık ışık emisyonu modellerine odaklanan araştırmalar, aktivite kaynaklı parlaklık değişikliklerinin daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlayacaktır. Ayrıca, gelecekteki çalışmalar ışık kirliliğinin yerel ekosistemler üzerindeki biyolojik etkilerini araştırabilir, ışık kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirebilir veya kentsel aydınlatma politikası reformunun potansiyel faydalarını inceleyebilir. Son olarak, parlaklık verilerinin diğer kirlleticiler ve meteorolojik faktörlerle birleştirilmesi, atmosferik bileşim ve ışık kirliliği arasındaki karmaşık etkileşimler hakkında yeni bilgiler sunarak hava kalitesi etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir.



7. KAYNAKLAR

- Adizel, Ö., Durmuş, A., & Kiziroglu, İ. (2010). Preliminary study on newly detected Yayliyaka marshes in the Lake Van basin, Turkey. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 286–292.
- Altan, M., Aslan, B., Ozdemir, S., & Aslan, Z. (2013). *Sky brightness measurement and light pollution mapping Case study: Eskisehir city center and surroundings*.
- Aslan, B. (2018). *Işığın Kirli Yüzü: Işık Kirliliği*. Ankara: Dayanışma Akademisi.
- Aydın, G., & Şen, İ. (2020). Determination of arthropod biodiversity and some ecological parameters of Erdal Şekeroğlu (Isparta, Turkey) and Kadıni (Antalya, Turkey) cave ecosystems with evaluation of usability of insects in cave mapping. *Turkish Journal of Entomology*, 44(4), 539–557.
- Bará, S., Lima, R. C., & Zamorano, J. (2019). Monitoring long-term trends in the anthropogenic night sky brightness. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/su11113070>
- Bennie, J., Davies, T. W., Cruse, D., & Gaston, K. J. (2016). Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology*, 104(3), 611–620.
- Bertolo, A., Binotto, R., Ortolani, S., & Sapienza, S. (2019). Measurements of night sky brightness in the Veneto Region of Italy: Sky quality meter network results and differential photometry by digital single lens reflex. *Journal of Imaging*, 5(5). <https://doi.org/10.3390/jimaging5050056>
- Bingöl, F. (2022). *Erzurum ilinin ışık kirliliği ölçümü*. Atatürk Üniversitesi.
- Birriel, J., & Adkins, J. K. (2010). *A Simple, Portable Apparatus to Measure Night Sky Brightness at Various Zenith Angles* (Vol. 38). http://rammb.cira.colostate.edu/ramdis/online/goes-west_goes-east.asp.
- Birriel, J., Wheatley, J., & McMichael, C. (2010). Documenting Local Night Sky Brightness Using Sky Quality Meters: An Interdisciplinary College Capstone Project and a First Step Toward Reducing Light Pollution. *Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 38, 132.
- C. Rich and T. Longcore. (2004). Ecological light pollution. In *Frontiers in Ecology and the Environment* (Vol. 2, pp. 191–198).
- Canbolat, A. F. (2004). A review of sea turtle nesting activity along the Mediterranean coast of Turkey. *Biological Conservation*, 116(1), 81–91.
- Cavazzani, S., Ortolani, S., Bertolo, A., Binotto, R., Fiorentin, P., Carraro, G., Saviane, I., & Zitelli, V. (2020). Sky Quality Meter and satellite correlation for night cloud-cover analysis at astronomical sites. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 493(2), 2463–2471. <https://doi.org/10.1093/mnras/staa416>

- Chepesiuk, R. (2009). Missing the Dark: Health Effects of Light Pollution. *Environmental Health Perspectives*, 117(1). <https://doi.org/10.1289/ehp.117-a20>
- Cinzano, P. (2005). *Night Sky Photometry with Sky Quality Meter*.
- de Miguel, A. S., Bennie, J., Rosenfeld, E., Dzurjak, S., & Gaston, K. J. (2021). First estimation of global trends in nocturnal power emissions reveals acceleration of light pollution. *Remote Sensing*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/rs13163311>
- EUMETSAT. (2007). *Cloud Detection for MSG - Algorithm: Theoretical Basis Document*.
- 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). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- Fiorentin, P., Binotto, R., Cavazzani, S., Bertolo, A., Ortolani, S., & Saviane, I. (2022). Long-Time Trends in Night Sky Brightness and Ageing of SQM Radiometers. *Remote Sensing*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/rs14225787>
- Gallaway, T., Olsen, R. N., & Mitchell, D. M. (2010). The economics of global light pollution. *Ecological Economics*, 69(3), 658–665. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.10.003>
- Gaston, K. J., Gaston, S., Bennie, J., & Hopkins, J. (2015). Benefits and costs of artificial nighttime lighting of the environment. *Environmental Reviews*, 23(1), 14–23.
- Góez Therán, C., & Vargas Domínguez, S. (2021). Comparative Analysis of Sky Quality and Meteorological Variables During the Total Lunar Eclipse on 14-15 April 2014 and their Effect on Qualitative Measurements of the Bortle Scale. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 57(1), 57–66. <https://doi.org/10.22201/ia.01851101p.2021.57.01.03>
- Hänel, A., Posch, T., Ribas, S. J., Aubé, M., Duriscoe, D., Jechow, A., Kollath, Z., Lolkema, D. E., Moore, C., Schmidt, N., Spoelstra, H., Wuchterl, G., & Kyba, C. C. M. (2018). Measuring night sky brightness: methods and challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 205, 278–290. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2017.09.008>
- Herdiwijaya, D., Satyaningsih, R., Prastyo, H. A., Arumaningtyas, E. P., Sulaeman, M., Setiawan, A., Yulianti, Y., & others. (2020). Measurements of sky brightness at Bosscha Observatory, Indonesia. *Heliyon*, 6(8).
- Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E. K., & Tockner, K. (2010). Light pollution as a biodiversity threat. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 25, Issue 12, pp. 681–682). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007>

- Hollan, J. (2009). What is light pollution, and how do we quantify it. *Disponible En Ligne à: Http://Amper. Ped. Muni. Cz/Light/Lp_what_is. Pdf.*
- Hürriyet Daily News. (2024, August 13). *Bursa unveils country's first 'Dark Sky Park.'* <https://www.hurriyetdailynews.com/bursa-unveils-countrys-first-dark-sky-park-199449>
- IEA. (2023). *Electricity Information.*
- J Reiter, R., Tan, D.-X., Rosales-Corral, S., & C Manchester, L. (2013). The universal nature, unequal distribution and antioxidant functions of melatonin and its derivatives. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 13(3), 373–384.
- Karadıc, H., & Erdoğan, A. (2019). Spring migration phenology of wheatear species in Southern Turkey. *Acta Biologica Turcica*, 32(2), 65–69.
- Karpińska, D. (2020). *Analysis of light pollution of the night sky in Toruń (Poland).*
- Kobisk, A., & Kwiatkowski, M. A. (2023). Effects of anthropogenic light on anuran calling site. *Environmental Pollution*, 333, 122005.
- Koc-San, D., San, B. T., Bakis, V., Helvaci, M., & Eker, Z. (2013). Multi-Criteria Decision Analysis integrated with GIS and remote sensing for astronomical observatory site selection in Antalya province, Turkey. *Advances in Space Research*, 52(1), 39–51.
- Koybasi, S., Aslan, V., & Haliloğlu, N. B. (2021). Turkey: Legal Response to Covid-19. *Jeff King/Octavio Ferraz (Hg.), The Oxford Compendium of National Legal Responses to Covid-19.*
- Kretzer, D., & Reichenbach, A. (2022, October). *Developing Light Pollution Reduction Guidelines for Switzerland.*
- Kyba, C. C. M., Kuester, T., Sánchez De Miguel, A., 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.* <https://www.science.org>
- L. J. M. U. Astrophysics Research Institute. (n.d.). *Sky Brightness.* Retrieved August 31, 2024, from <https://telescope.livjm.ac.uk/PropInst/Phase2/?sf=SkyBrightness>
- Leader, N., Levy, Y., & Türkozan, O. (2024). Artificial light at night on nesting beaches of the green turtle, *Chelonia mydas*, in the eastern Mediterranean and its possible effect on populations. *Turkish Journal of Zoology*, 48(4), 203–210.
- Levin, N. (2023). Using night lights from space to assess areas impacted by the 2023 Turkey earthquake. *Remote Sensing*, 15(8), 2120.

- Levin, N., & Zhang, Q. (2017). A global analysis of factors controlling VIIRS nighttime light levels from densely populated areas. *Remote Sensing of Environment*, 190, 366–382. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.006>
- Li, R., Liu, X., & Li, X. (2015). Estimation of the PM_{2.5} Pollution Levels in Beijing Based on Nighttime Light Data from the Defense Meteorological Satellite Program-Operational Linescan System. *Atmosphere*, 6(5), 607–622. <https://doi.org/10.3390/atmos6050607>
- M. Salmon. (2003). Artificial night lighting and sea turtles. In *Biologist* (4th ed., Vol. 50, pp. 163–168).
- Ma, Y., Zhang, W., Chen, X., Zhang, L., & Liu, Q. (2023). High Spatial Resolution Nighttime PM_{2.5} Datasets in the Beijing–Tianjin–Hebei Region from 2015 to 2021 Using VIIRS/DNB and Deep Learning Model. *Remote Sensing*, 15(17), 4271.
- Medail, F., & Quezel, P. (1997). Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 112–127.
- NASA. (2020). *Useful Tools - HDF to GeoTIFF*. <https://blackmarble.gsfc.nasa.gov/Tools.html>
- National Aeronautics and Space Administration, S. M. D. (2010). *Visible Light*. http://science.nasa.gov/ems/09_visiblelight
- Özarabac, Ö. (2017). *Türkiye’de ışık kirliliği politikalar*. Kocaeli Üniversitesi.
- Posch, T., Binder, F., & Puschig, J. (2018). Systematic measurements of the night sky brightness at 26 locations in Eastern Austria. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 211, 144–165. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2018.03.010>
- Puschig, J., Näslund, M., Schwöpe, A., & Wallner, S. (2020). *Correcting Sky Quality Meter measurements for aging effects using twilight as calibrator*. <https://doi.org/10.1093/mnras/staa4019>
- Rajkhowa, R. (2014). Light Pollution and Impact of Light Pollution. In *International Journal of Science and Research*. www.ijsr.net
- Sánchez de Miguel, A., Aubé, M., Zamorano, J., Kocifaj, M., Roby, J., & Tapia, C. (2017). Sky Quality Meter measurements in a colour-changing world. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 467(3), 2966–2979. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx145>
- Schnitt, S., Ruhtz, T., Fischer, J., Hölker, F., & Kyba, C. C. M. (2013). Temperature stability of the Sky Quality Meter. *Sensors (Switzerland)*, 13(9), 12166–12174. <https://doi.org/10.3390/s130912166>

- Sliney, D. H. (2016). What is light? The visible spectrum and beyond. *Eye*, 30(2), 222–229.
- Stark, H., Brown, S. S., Wong, K. W., Stutz, J., Elvidge, C. D., Pollack, I. B., Ryerson, T. B., Dube, W. P., Wagner, N. L., & Parrish, D. D. (2011). City lights and urban air. *Nature Geoscience*, 4(11), 730–731.
- TÜİK. (2023). *İl, tek yaş ve cinsiyete göre nüfus*. TÜİK, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi, 2007-2023.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). *Electricity*. <https://enerji.gov.tr/infobank-energy-electricity>
- Unihedron. (2023). *SQM-LE Operator's Manual* (Issue 20230909). Unihedron.
- Uyar, N. (2024). Monitoring Turkey's nighttime light and environmental change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(9), 851.
- Van Doren, B. M., Horton, K. G., Dokter, A. M., Klinck, H., Elbin, S. B., & Farnsworth, A. (2017). High-intensity urban light installation dramatically alters nocturnal bird migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(42), 11175–11180.
- Vignoli, L., & Luiselli, L. (2013). Better in the dark: two Mediterranean amphibians synchronize reproduction with moonlit nights. *Web Ecology*, 13(1), 1–11.
- Wang, H., Tian, M., Li, X., Chang, Q., Cao, J., Yang, F., Ma, Y., He, K., & others. (2015). Chemical composition and light extinction contribution of PM_{2.5} in urban Beijing for a 1-year period. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(6), 2200–2211.
- Wang, J., Aegerter, C., Xu, X., & Szykman, J. J. (2016). Potential application of VIIRS Day/Night Band for monitoring nighttime surface PM_{2.5} air quality from space. *Atmospheric Environment*, 124, 55–63.
- Wang, J., Zhang, L., Huang, J., Cao, X., Liu, R., Zhou, B., Wang, H., Huang, Z., Bi, J., Zhou, T., Zhang, B., & Wang, T. (2013). Macrophysical and optical properties of mid-latitude cirrus clouds over a semi-arid area observed by micro-pulse lidar. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 122, 3–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2013.02.006>
- Wang, Z., Shrestha, R. M., Roman, M. O., & Kalb, V. L. (2022). NASA's Black Marble Multiangle Nighttime Lights Temporal Composites. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2022.3176616>
- Yazici, A. D., Öztürk, D., Ayazli, İ. E., Sesli, A., Gör, Ö., Adnan, A., Üniversitesi, M., Yüksekokulu, A. M., Ve Şehir, M., & Bölümü, P. (2022). *İZMİR İLİNDEKİ IŞIK KİRLİLİĞİNİN DARKSKY MODEL İLE İNCELENMESİ*.

- Yerli, S. K., Aksaker, N., Bayazit, M., Kurt, Z., Aktay, A., & Erdoğan, M. A. (2021). The temporal analysis of light pollution in Turkey using VIIRS data. *Astrophysics and Space Science*, 366(4). <https://doi.org/10.1007/s10509-021-03942-6>
- Yetiş, K., Lisans, Y., Bilimleri, F., Anabilim, T., Doç, D., & Murat, Y. (2019). *KARAMAN IŞIK KİRLİLİĞİ ÖLÇÜMÜ VE HARİTALANMASI*.
- Yılmaz, A., & Özdemir, T. (2021). Measurement and determination of light pollution: case study of Malatya city. *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 2(1), 38–43.



8. EKLER

EK-1.

Ay ve Güneş'in ufkun üstünde veya altında yüksekliğini (derece cinsinden) hesaplamak için Python kodu. Değer, ufkun altındaysa negatif, ufkun üzerindeyse pozitif olacaktır.

```
1 import os
2 import sys
3 import ephem
4 from datetime import datetime
5
6 # Algorithm for finding sun and moon altitudes.
7 # a, b, c, d, and e are year, month, day, hour, and minute respectively.
8 def hoogte(a, b, c, d, e):
9     home = ephem.Observer()
10    home.lat, home.lon = "36.88", "30.70"
11    try:
12        home.date = datetime(a, b, c, d, e, 0)
13    except ValueError:
14        return None, None
15
16    sun = ephem.Sun()
17    sun.compute(home)
18    moon = ephem.Moon()
19    moon.compute(home)
20    return round(float(sun.alt) * 57.2957795), round(float(moon.alt) * 57.2957795)
```

EK-2.

Aşağıdaki kod, QGIS'in QgsRasterCalculator'ını kullanarak birden fazla ilçe ve yıl için raster hesaplamalarını otomatikleştirir. Prosedür, kısmi adlandırma kurallarına göre raster katmanlarının dinamik olarak alınmasını, raster girişlerinin hazırlanmasını ve her ilçe ve yıl için hesaplamaların yürütülmesini içerir. Bu ekran görüntüsündeki eşikler bir örnektir.

```
import re
from qgis.analysis import QgsRasterCalculator, QgsRasterCalculatorEntry
from qgis.core import QgsProject

# Define districts and years
districts = ["Konyaaltı", "Muratpaşa", "Kepez"]
years = range(2012, 2024)

# Function to retrieve raster layers by partial name
def get_raster_by_partial_name(partial_name):
    # Iterate through all loaded layers and return matching raster
    for layer in QgsProject.instance().mapLayers().values():
        if re.search(partial_name, layer.name(), re.IGNORECASE):
            return layer
    return None

# Loop through each district and year
for district in districts:
    for year in years:
        # Generate partial names for relevant rasters (std, val, num, district)
        rasters = {name: get_raster_by_partial_name(f"reprojected_{name}_{year}")
                    for name in ['std', 'val', 'num']}
        district_raster = get_raster_by_partial_name(district)

        # Continue only if all necessary rasters are found
        if None in rasters.values() or not district_raster:
            continue

        # Define entries for the Raster Calculator
        entries = [QgsRasterCalculatorEntry(r.name(), r, 1) for r in [district_raster, *rasters.values()]]

        # Define expression logic for raster calculation
        expression = (f'(( "{district_raster.name()}" > 0) AND ("{rasters["std"].name()}" < (0.9*"{rasters["val"].name()}")) '
                      f'AND ( "{rasters["num"].name()}" > 10 )) * "{rasters["val"].name()}" + '
                      f'(( "{district_raster.name()}" <= 0) OR ("{rasters["std"].name()}" >= (0.9*"{rasters["val"].name()}")) '
                      f'OR ( "{rasters["num"].name()}" <= 10 )) * -9999')

        # Output path and raster calculation
        output_raster = f"/path/to/results/{district}_result_{year}.tif"
        calc = QgsRasterCalculator(expression, output_raster, "Griff", district_raster.extent(),
                                   district_raster.width(), district_raster.height(), entries)
        calc.processCalculation()
```

EK-3.

Verilen koordinatlar için yılda ortalama gece süresini hesaplayan Python kodu.

1. Astronomik hesaplamalar için ephemeris kütüphanesini kullanır. Geceyi, deniz alacakaranlığının sonu ile başlangıcı (Güneş ufkun 12° altında) arasındaki süre olarak tanımlar.
2. Artık yılları ve kutup bölgeleri için uç durumları ele alır.

```
import ephemeris
from datetime import datetime, timedelta

def calculate_average_night_duration(latitude, longitude, year):
    # Create observer object
    observer = ephemeris.Observer()
    observer.lat = str(latitude)
    observer.lon = str(longitude)
    observer.elevation = 0
    # Set the horizon to -12 degrees for nautical twilight
    observer.horizon = '-12' # 12 degrees below horizon
    # Create sun object
    sun = ephemeris.Sun()
    # Initialize variables for calculation
    total_night_seconds = 0
    night_durations = []
    shortest_night = float('inf')
    longest_night = 0
    shortest_night_date = None
    longest_night_date = None
    # Calculate for each day of the year
    start_date = datetime(year, 1, 1)
    for day_offset in range(365 + (1 if year % 4 == 0 else 0)): # Account for Leap years
        current_date = start_date + timedelta(days=day_offset)
        observer.date = current_date.strftime('%Y/%m/%d')
        try:
            # Calculate sunset and next sunrise (using -12° horizon)
            sunset = observer.next_setting(sun).datetime()
            observer.date = ephemeris.Date(sunset) # Set date to sunset to find next rising
            sunrise = observer.next_rising(sun).datetime()
            # Calculate night duration
            night_duration = (sunrise - sunset).total_seconds()
            # Update statistics
            total_night_seconds += night_duration
            night_durations.append(night_duration / 3600) # Convert to hours
            if night_duration < shortest_night:
                shortest_night = night_duration
                shortest_night_date = current_date
            if night_duration > longest_night:
                longest_night = night_duration
                longest_night_date = current_date
        except (ephemeris.AlwaysUpError, ephemeris.NeverUpError) as e:
            print(f"Special case for date {current_date}: {str(e)}")
            continue
    # Calculate statistics
    days_calculated = len(night_durations)
    if days_calculated == 0:
        return 0, {
            "error": "No valid night durations calculated. Location might be in polar region."
        }
    average_night_hours = sum(night_durations) / days_calculated
    stats = {"average_night_hours": average_night_hours, "shortest_night_hours": shortest_night / 3600,
            "shortest_night_date": shortest_night_date, "longest_night_hours": longest_night / 3600,
            "longest_night_date": longest_night_date, "days_calculated": days_calculated}
    return average_night_hours, stats

if __name__ == "__main__":
    # Coordinates
    latitude = 36.8969
    longitude = 30.7133
    year = 2023
    avg_duration, statistics = calculate_average_night_duration(latitude, longitude, year)
    print(f"Average night duration: {avg_duration:.2f} hours\n\nDetailed statistics:")
    for key, value in statistics.items():
        if isinstance(value, datetime):
            print(f"{key}: {value.strftime('%Y-%m-%d')}")
        elif isinstance(value, float):
            print(f"{key}: {value:.2f}")
        else:
            print(f"{key}: {value}")
```

EK-4.

Belirli bir konum için sabah 1-2 arasında saatlik hava durumu verilerini (nem veya bulut örtüsü) almak için Python kodu.

```
from datetime import datetime
from meteostat import Point, Hourly

def get_weather_data(lat, lon, start_date, end_date, parameter):
    """Get hourly weather data (humidity or cloud cover) between 1-2 AM."""
    location = Point(lat, lon)
    data = Hourly(location, start_date, end_date).fetch()

    # Filter 1-2 AM data and calculate daily means
    night_data = data[(data.index.hour >= 1) & (data.index.hour <= 2)]
    daily_data = night_data.groupby(night_data.index.date)[parameter].mean()

    # Convert cloud cover from okta (0-8) to percentage if needed
    if parameter == 'coco':
        daily_data = (daily_data / 8) * 100

    return daily_data

# Example usage
if __name__ == "__main__":
    kepez_coords = (36.89, 30.68)
    date_range = (datetime(2023, 7, 1), datetime(2023, 8, 1))

    humidity = get_weather_data(*kepez_coords, *date_range, 'rhum')
    cloud_cover = get_weather_data(*kepez_coords, *date_range, 'coco')

    print(f"Humidity Stats:\n{humidity.describe()}\n")
    print(f"Cloud Cover Stats:\n{cloud_cover.describe()}")
```

ÖZGEÇMİŞ

Farhan Rafique SHAH

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2021-2024	Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	National University of Sciences and Technology
2017-2021	Institute of Environmental Sciences and Engineering, Islamabad

ESERLER

Shah, F. R., Peletier, R., Noel-Storr, J., van der Geest, D., Jurriens, T., Hänel, A., Kjeldsen, H., Cordes, L., Hoffmann, T., Will, R., Rietze, A. S., Gehlen, M., Nazarri, C., & Poppe, B. (2024). Beyond the Clouds - Analyses of long-term data from a network of sky quality meters (SQMs) [Poster presentation]. EURODARK 2024, March 14-16, Groningen, Netherlands.