



**TURİZM-ULAŞIM UYGUNLUK HARİTASI İLE ÇOKLU
KİRLETİCİ HAVA KİRLİLİĞİNİN CBS TABANLI
MEKÂNSAL İNTERPOLASYON VE SEZONSAL ANALİZ
YOLUYLA İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

Merve Pınar ÖZTÜRK

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2026

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



TURİZM-ULAŞIM UYGUNLUK HARİTASI İLE ÇOKLU KİRLLETİCİ
HAVA KİRLİLİĞİNİN CBS TABANLI MEKÂNSAL İNTERPOLASYON VE
SEZONSAL ANALİZ YOLUYLA İLİŞKİLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Merve Pınar ÖZTÜRK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ömer KAYA

ERZURUM, 2026

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

**TURİZM-ULAŞIM UYGUNLUK HARİTASI İLE ÇOKLU
KİRLETİCİ HAVA KİRLİLİĞİNİN CBS TABANLI MEKÂNSAL
İTERPOLASYON VE SEZONSAL ANALİZ YOLUYLA
İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Ömer KAYA danışmanlığında Merve Pınar ÖZTÜRK tarafından hazırlanan bu çalışma 5.03.2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **Oy birliği ile (3/3)** kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ömer KAYA

Erzurum Teknik Üniversitesi

İmza

Üye: Doç. Dr. Emre KUŞKAPAN

Erzurum Teknik Üniversitesi

İmza

Üye: Doç. Dr. Nuriye KABAKUŞ

Atatürk Üniversitesi

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. İlker KAZAZ
Enstitü Müdürü

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etik ilkelere uygun davrandığımı ve tezin hazırlanması sürecinde üretken yapay zekâ programlarından, içeriğin ve sonuçların özgünlük sorumluluğunun tarafıma ait olması ve çalışmanın bilimsel niteliğini etkilemeyecek düzeyde, yalnızca yardımcı bir araç olarak sınırlı düzeyde destek alındığını beyan ederim.

5.03.2026

İmzası

Merve Pınar ÖZTÜRK

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasının her aşamasında bilgi, deneyim ve yönlendirmeleriyle bana rehberlik eden, bilimsel bakış açısı kazanmamda önemli katkılarda bulunan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ömer Kaya' ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmam kapsamında ulaşım mühendisliği alanında teknik bilgi ve akademik destek sağlayan Erzurum Teknik Üniversitesi Ulaşım Anabilim Dalı akademik personeline teşekkür ederim.

Bu süreç boyunca sabır, anlayış ve destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve eşime sonsuz teşekkür ederim.

Merve Pınar ÖZTÜRK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TURİZM-ULAŞIM UYGUNLUK HARİTASI İLE ÇOKLU KİRLİTİCİ HAVA KİRLİLİĞİNİN CBS TABANLI MEKÂNSAL İNTERPOLASYON VE SEZONSAL ANALİZ YOLUYLA İLİŞKİLENDİRİLMESİ

Merve Pınar ÖZTÜRK

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ömer KAYA

Bu tez çalışması, turizm ve ulaşımın yoğunlaştığı kıyı illerinde hava kirliliğinin mekânsal ve mevsimsel değişimini ortaya koyarak turizm-ulaşım baskısı ile birleşik kirlilik düzeyi arasındaki ilişkiyi nicel olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma alanı olarak Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir seçilmiştir. İlk aşamada turizm çekiciliği, konaklama ve rekreasyon yoğunluğu, ulaşım ağı ve erişilebilirlik göstergeleri ile nüfus ve topoğrafya gibi bileşenleri temsil eden 11 kriter tanımlanmıştır. Bu kriterler, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Bulanık SIWEC yaklaşımlarıyla ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklar dört uzmandan oluşan karar verme ekibinin değerlendirmelerine dayanmaktadır. Ağırlıklandırılmış kriterler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında birleştirilerek Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi (SUI) yüzeyleri üretilmiştir. İkinci aşamada PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ ve CO kirlleticileri için yaz ve kış dönemlerine ait istasyon verileri Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) interpolasyon ile sürekli yüzeylere dönüştürülmüştür. Haritalar referans eşik değerlerine bölünerek normalize edilmiştir. NO ve NO_x için uygun sabit referans değerler bulunmadığından, istasyon bazlı dönemsel medyanlardan türetilen 95. yüzdelik (N95) eşik değerleri kullanılmıştır. Normalize edilen alt-indeksler Kök Ortalama Kare (RMS) yaklaşımıyla çoklu kirlitici birleşik metrik haline dönüştürülmüş ve mevsimsel farkı göstermek üzere Δ yüzeyleri hesaplanmıştır. Üçüncü aşamada SUI, sekiz sınıfa ayrılmış ve her sınıf için RMS değerleri ArcMap Bölgesel İstatistikler (Zonal Statistics) yöntemiyle özetlenmiştir. SUI ile yaz, kış ve Δ çoklu kirlitici indeksleri arasındaki ilişki Spearman sıra korelasyon katsayısı (ρ) ile değerlendirilmiş, Pearson korelasyon katsayısı (r) ise duyarlılık analizi kapsamında raporlanmıştır. Bulgular, turizm-ulaşım baskısının mekânsal olarak kıyı odaklı ve koridor niteliğinde yoğunlaştığını göstermiştir. Kirlilik yüzeyleri ise illere göre değişen biçimde mevsimsel farklılaşma sergilemiştir. Birleşik RMS haritaları tekil kirliticilerdeki farklı yönlü mevsimsel eğilimleri tek bir ölçütte toplayarak karşılaştırılabilirliği artırmıştır. Zonal istatistik ve korelasyon sonuçları ise SUI ile kirlilik göstergeleri arasındaki ilişkinin genellikle zayıf ve bağlama bağlı olduğunu, bazı illerde mevsimsel değişimin (Δ) daha belirgin sinyal verdiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak tez, turizm-ulaşım baskısı ile hava kirliliği ilişkisini tekil kirliticilere indirgemeden çoklu kirlitici ve mevsimsellik boyutlarını birlikte ele alan il bazında genellenebilir bir CBS tabanlı analiz çerçevesi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Turizm-ulaşım uygunluğu, Mevsimsel hava kirliliği, Çoklu kirlitici indeks, Mekansal analiz, Korelasyon analizi

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

LINKING A TOURISM-TRANSPORT SUITABILITY MAP WITH MULTI-POLLUTANT AIR POLLUTION USING GIS-BASED SPATIAL INTERPOLATION AND SEASONAL ANALYSIS

Merve Pınar ÖZTÜRK

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ömer KAYA

This thesis aims to characterize the spatial and seasonal variability of air pollution in coastal provinces where tourism and transport activities concentrate, and to quantitatively assess the relationship between tourism-transport pressure and composite pollution levels. Antalya, Muğla, Aydın, and İzmir are selected as the study area. In the first stage, 11 criteria are defined to represent tourism attractiveness, accommodation and recreation intensity, transport network and accessibility, as well as population and topography. Criteria weights are derived using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy SIWEC, based on the assessments of a four-member expert panel. Weighted criteria are integrated in a Geographic Information Systems (GIS) environment to generate the Tourism-Transport Suitability Index (SUI) surfaces. In the second stage, station observations for PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃, and CO are interpolated into continuous seasonal surfaces using Inverse Distance Weighting (IDW). Surfaces are normalized by dividing by pollutant-specific reference thresholds. Since fixed reference values are not available for NO and NO_x, province-level 95th percentile (N95) thresholds are computed from seasonal station medians and used for normalization. Normalized sub-indices are then aggregated into a multi-pollutant combined metric using the Root Mean Square (RMS) approach, and seasonal difference surfaces (Δ) are calculated. In the third stage, SUI is classified into eight classes and class-based RMS statistics are computed using ArcMap Zonal Statistics. The association between SUI and the summer, winter, and Δ multi-pollutant indices was evaluated using Spearman's rank correlation coefficient (ρ), while Pearson's correlation coefficient (r) was reported as part of a sensitivity analysis. Results indicate that tourism-transport pressure concentrates along coastal zones and corridor-like structures, whereas pollution surfaces exhibit province-specific seasonal patterns. RMS maps improve comparability by synthesizing pollutant-specific and sometimes opposing seasonal behaviours into a single metric. Zonal statistics and correlation outcomes suggest that the SUI-pollution relationship is generally weak and context dependent, with seasonal change (Δ) providing a clearer signal in some provinces. Overall, the thesis proposes a GIS-based framework that jointly addresses multi-pollutant effects and seasonality, enabling province-level comparison and more generalizable interpretation of tourism-transport pressure and air pollution dynamics.

Keywords: Tourism-transport suitability, Seasonal air pollution, Multi-pollutant index, Spatial analysis, Correlation analysis

İÇİNDEKİLER

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Küresel İklim Krizi ve Turizm Sektörünün Çevresel Paradoksu	1
1.2. Turizmde Emisyonların Merkezi Bileşeni: Ulaşım	2
1.3. Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Ekonomik Maliyetler	4
1.4. Türkiye'nin İklim Politikası Vizyonu ve 2053 Net Sıfır Hedefi.....	5
1.5. Ulusal Ulaştırma ve Turizm Stratejilerinde Sürdürülebilirlik.....	6
1.6. Bölgesel Dinamikler: Turizm Merkezlerinde Emisyon ve Ulaşım Stratejileri	7
1.7. Literatür Taraması	11
1.7.1. Turizm-Ulaşım Emisyonları / Karbon Ayak İzi / Politika ve Modelleme Yaklaşımları	11
1.7.2. Hava Kirliliğinin Mekânsal-Zamansal Analizi.....	19
1.8. Tezin Amacı	27
2. MATERYAL VE METOT	30
2.1. Çalışma Alanı ve Kapsam	30
2.2. Veri Kaynakları ve Ön İşleme.....	33
2.2.1. Hava Kalitesi Verileri (İstasyon)	33
2.2.2. Mekânsal Kriter Verileri.....	35
2.3. Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi (SUI) Modeli.....	40
2.3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	40
2.3.2. Bulanık Basit Ağırlık Hesaplama Yöntemi (Bulanık SIWEC)	42
2.3.3. CBS Tabanlı Birleştirme	45
2.4. Referans Değere Göre Normalizasyon.....	46
2.5. Çoklu Kirlletici Birleşik Kirlilik Haritaları (RMS).....	50

2.6. SUI ile Kirlilik Haritalarının İlişkilendirilmesi	51
2.7. Nokta Örneklemeye Tabanlı Korelasyon Analizi	53
2.7.1. Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı (<i>ps</i>)	54
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	55
3.1. Turizm-Ulaşım Uygunluk Haritası (SUI) Bulguları	55
3.2. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	66
3.3. Sezonlar Kirlilik Yüzeyleri ve Referans Tabanlı Normalizasyon	75
3.4. SUI Sınıfları ile RMS Haritalarının Zonal İstatistiklerle İlişkilendirilmesi	91
3.5. İller Arası Karşılaştırmalı Analiz: Turizm-Ulaşım Baskısı, Sezonlar Kirlilik ve Genellenebilirlik	97
3.6. SUI-Kirlilik İlişkisinin Korelasyon Bulguları: İl Bazlı Değerlendirme	99
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	108
KAYNAKÇA	112

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. İllere ait hava kalite istasyonları ve konum bilgileri.....	34
Tablo 2. SUI kriterleri için kullanılan mekânsal analiz türleri ve yön tanımları.....	36
Tablo 3. AHP İkili Karşılaştırma Ölçeği.....	41
Tablo 4. Dilsel terimlerin üyelik fonksiyonlarıyla eşleştirilmesi	43
Tablo 5. AHP yöntemi ile hesaplanan alt kriter ağırlıkları	67
Tablo 6. Bulanık SIWEC için uzman görüşlerine dayalı dilsel karar matrisi	68
Tablo 7. Dilsel terimlerin üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmesiyle elde edilen başlangıç bulanık karar matrisi.....	68
Tablo 8. Bulanık SIWEC kapsamında elde edilen normalize edilmiş bulanık karar matrisi	69
Tablo 9. Bulanık SIWEC kapsamında elde edilen ağırlıklandırılmış normalize matris ve durulaştırılmış (defuzzified) skorlar	69
Tablo 10. Bulanık SIWEC ile hesaplanan nihai alt kriter ağırlıkları	70
Tablo 11. NO _x ve NO için il bazında hesaplanan P95 (N95) referans değerleri (µg/m ³)	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Turizmin küresel karbon ayak izinin sektörel bileşenleri (Lenzen vd., 2018)	2
Şekil 2. Ulaşım modlarına göre yolcu başına emisyon yoğunluğu (Carbon Footprint of Tourism, 2020)	3
Şekil 3. Otellerde enerji tüketiminin alt bileşenlere dağılımı (Caribbean Hotel Energy Efficiency Action Program, 2026).....	5
Şekil 4. Çalışmanın yöntemsel akış şeması	31
Şekil 5. Çalışma alanı sınırları	32
Şekil 6. Hava kalite istasyonlarının coğrafi dağılımları	35
Şekil 7. Çalışma alanı ve SUI kriterlerinin türetilmesinde kullanılan mekânsal veri katmanlarının il sınırları üzerindeki dağılımı	37
Şekil 8. Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir il sınırları içerisinde korelasyon analizinde kullanılan rastgele örnekleme noktalarının mekânsal dağılımı	53
Şekil 9. Antalya ili için C1 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri.....	56
Şekil 10. Antalya ili için C2 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri.....	57
Şekil 11. Antalya ili için C3 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri.....	58
Şekil 12. Antalya ili için C4 alt kriterlerine ait raster yüzeyleri	58
Şekil 13. Muğla ili için C1 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri.....	59
Şekil 14. Muğla ili için C2 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri.....	60
Şekil 15. Muğla ili için C3 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri.....	61
Şekil 16. Muğla ili için C4 alt kriterlerine ait raster yüzeyleri	61
Şekil 17. Aydın ili için C1 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri	61
Şekil 18. Aydın ili için C2 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri	62
Şekil 19. Aydın ili için C3 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri	63
Şekil 20. Aydın ili için C4 alt kriterlerine ait raster yüzeyleri.....	63
Şekil 21. İzmir ili için C1 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri.....	64
Şekil 22. İzmir ili için C2 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri.....	65
Şekil 23. İzmir ili için C3 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri.....	65
Şekil 24. İzmir ili için C4 alt kriterlerine ait raster yüzeyleri	66
Şekil 25. Antalya ili için AHP ve Bulanık SIWEC ile üretilen uygunluk haritaları ve eşit ağırlıkla birleştirilmiş nihai uygunluk yüzeyi.....	72

Şekil 26. Muğla ili için AHP ve Bulanık SIWEC ile üretilen uygunluk haritaları ve eşit ağırlıkla birleştirilmiş nihai uygunluk yüzeyi.....	72
Şekil 27. Aydın ili için AHP ve Bulanık SIWEC ile üretilen uygunluk haritaları ve eşit ağırlıkla birleştirilmiş nihai uygunluk yüzeyi.....	73
Şekil 28. İzmir ili için AHP ve Bulanık SIWEC ile üretilen uygunluk haritaları ve eşit ağırlıkla birleştirilmiş nihai uygunluk yüzeyi.....	74
Şekil 29. Antalya ili için yaz dönemi (Haz-Eyl) referans tabanlı normalize edilmiş alt- indeks kirletici yüzeyleri	77
Şekil 30. Antalya ili için kış dönemi (Kas-Şub) referans tabanlı normalize edilmiş alt- indeks kirletici yüzeyleri	78
Şekil 31. Antalya ili için kirletici bazında sezonluk medyan konsantrasyonların (Yaz: Haz-Eyl; Kış: Kas-Şub) ve $\Delta = \text{Yaz} - \text{Kış}$ farklarının karşılaştırılması.....	79
Şekil 32. Muğla ili için yaz dönemi (Haz-Eyl) referans tabanlı normalize edilmiş alt- indeks kirletici yüzeyleri	80
Şekil 33. Muğla ili için kış dönemi (Kas-Şub) referans tabanlı normalize edilmiş alt- indeks kirletici yüzeyleri	81
Şekil 34. Muğla ili için kirletici bazında sezonluk medyan konsantrasyonların (Yaz: Haz-Eyl; Kış: Kas-Şub) ve $\Delta = \text{Yaz} - \text{Kış}$ farklarının karşılaştırılması.....	82
Şekil 35. Aydın ili için yaz dönemi (Haz-Eyl) referans tabanlı normalize edilmiş alt- indeks kirletici yüzeyleri	82
Şekil 36. Aydın ili için kış dönemi (Kas-Şub) referans tabanlı normalize edilmiş alt- indeks kirletici yüzeyleri	83
Şekil 37. Aydın ili için kirletici bazında sezonluk medyan konsantrasyonların (Yaz: Haz-Eyl; Kış: Kas-Şub) ve $\Delta = \text{Yaz} - \text{Kış}$ farklarının karşılaştırılması.....	84
Şekil 38. İzmir ili için yaz dönemi (Haz-Eyl) referans tabanlı normalize edilmiş alt- indeks kirletici yüzeyleri	85
Şekil 39. İzmir ili için kış dönemi (Kas-Şub) referans tabanlı normalize edilmiş alt- indeks kirletici yüzeyleri	86
Şekil 40. İzmir ili için kirletici bazında sezonluk medyan konsantrasyonların (Yaz: Haz-Eyl; Kış: Kas-Şub) ve $\Delta = \text{Yaz} - \text{Kış}$ farklarının karşılaştırılması.....	87
Şekil 41. Antalya ili için çoklu kirletici birleşik kirlilik (RMS) haritaları: yaz dönemi RMS, kış dönemi RMS ve sezonsal fark haritası	88
Şekil 42. Muğla ili için çoklu kirletici birleşik kirlilik (RMS) haritaları: yaz dönemi RMS, kış dönemi RMS ve sezonsal fark haritası	89

Şekil 43. Aydın ili için çoklu kirletici birleşik kirlilik (RMS) haritaları: yaz dönemi	
RMS, kış dönemi RMS ve sezonsal fark haritası	90
Şekil 44. İzmir ili için çoklu kirletici birleşik kirlilik (RMS) haritaları: yaz dönemi	
RMS, kış dönemi RMS ve sezonsal fark haritası	91
Şekil 45. Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir için 8 sınıflı Turizm-Ulaşım Uygunluk (SUI)	
haritalarının mekânsal dağılımı ve iller arası karşılaştırmalı gösterimi.....	92
Şekil 46. Antalya ili için SUI (Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi) ile çoklu kirletici	
birleşik kirlilik göstergesi (MPI) arasındaki ilişki (n=463)	101
Şekil 47. Muğla ili için SUI (Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi) ile çoklu kirletici	
birleşik kirlilik göstergesi (MPI) arasındaki ilişki (n=399)	102
Şekil 48. Aydın ili için SUI (Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi) ile çoklu kirletici	
birleşik kirlilik göstergesi (MPI) arasındaki ilişki (n=500)	103
Şekil 49. İzmir ili için SUI (Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi) ile çoklu kirletici	
birleşik kirlilik göstergesi (MPI) arasındaki ilişki (n=348)	105

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
AGW (AQG)	WHO Hava Kalitesi Kılavuz Değerleri (Air Quality Guidelines)
AMG	Artırılmış Ortalama Grup yöntemi (Augmented Mean Group)
AUS	Akıllı Ulaşım Sistemleri
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CI	Tutarlılık İndeksi (Consistency Index)
CO	Karbon monoksit
CO ₂ -eşd	Karbon dioksit eşdeğeri
COPERT	Karayolu araç emisyon hesap modeli
CORSIA	Uluslararası Havacılık için Karbon Dengeleme ve Azaltım Planı
CR	Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio)
CS-ARDL	Yatay kesit bağımlılığını içeren ARDL yaklaşımı
DCCE	Dinamik ortak korelasyonlu etki yöntemi
DEM	Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model)
DHMI	Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü
EU ETS	Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi

SIWEC	Basit Ağırlık Hesaplama Yaklaşımı
GHG	Sera gazı
GSYH	Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
HBEFA	Trafik koşullarına bağlı emisyon faktörleri veri tabanı
HSR	Yüksek hızlı demiryolu
IDW	Türkiye İstatistik Kurumu
LCA	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
LMDI	Logaritmik Ortalama Divisia Endeksi
LTO	İniş-kalkış döngüsü
MPI	Çoklu Kirletici İndeksi (Multi-Pollutant Index)
NDC	Ulusal Katkı Beyanı (Nationally Determined Contribution)
NO	Azot monoksit
NO ₂	Azot dioksit
NO _x	Azot oksitler (NO + NO ₂)
O ₃	Ozon
P95	%95 yüzdelik değer (95th percentile)
PKM	Yolcu-kilometre (Passenger-kilometre)
PLS-SEM	Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modellemesi
PM	Partikül madde
PM _{2.5}	2,5 µm'den küçük partikül madde
PM ₁₀	10 µm'den küçük partikül madde
POI	İlgi çekici nokta (Point of Interest)
RI	Rassal İndeks (Random Index)
RMS	Kök Ortalama Kare (Root Mean Square)
SECAP	Sürdürülebilir Enerji ve İklim Eylem Planı
SO ₂	Kükürt dioksit
STG	Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
SUI	Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi
UAB	Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
UHKİA	Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı
UNWTO	Dünya Turizm Örgütü (United Nations World Tourism Organization)
VOC	Uçucu organik bileşikler
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
°C	Derece Celsius

%	Yüzde
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mikrogram / metreküp
mg/m^3	Miligram / metreküp
Gt	Gigaton (10^9 ton)
Mt	Megaton (10^6 ton)
tCO ₂	Ton CO ₂
Δ Fark	Yaz – Kış
ΔMPI	Mevsimsel fark indeksi ($\text{MPI}_{\text{yaz}} - \text{MPI}_{\text{kış}}$)
RNA	Ribonükleik asit
ΔRMS	Mevsimsel fark ($\text{RMS}_{\text{yaz}} - \text{RMS}_{\text{kış}}$)
I_p	p kirleticisi için normalize alt-indeks
$I_{p,s}$	p kirleticisi, s sezonu için normalize alt-indeks
C_p	p kirleticisine ait konsantrasyon (IDW raster değeri)
Ref_p	p kirleticisi için referans değer (WHO-AQG veya P95)
RMS_s	s sezonu için birleşik kirlilik metriği (kök ortalama kare)
$\text{RMS}\Delta$	Sezonsal değişimin şiddeti (alt-indeks farklarının RMS'i)
r	Pearson korelasyon katsayısı
ρ	Spearman sıra korelasyon katsayısı
λ_{max}	En büyük özdeğer
n	Örneklem büyüklüğü / matris boyutu
x_{ij}	i. kriterin j. pikseldeki değeri
r_{ij}	Normalize edilmiş kriter değeri
S_j	j pikselinin toplam uygunluk puanı
d_i	i. gözleme ait sıra farkı
$R(X), R(Y)$	X ve Y'nin sıra (rank) dönüşümleri
$\text{cov}(\cdot)$	Kovaryans
$\sigma(\cdot)$	Standart sapma
NoData	Eksik veri / ölçüm yok (0'a çevrilmeyen)

1. GİRİŞ

1.1. Küresel İklim Krizi ve Turizm Sektörünün Çevresel Paradoksu

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin Paris Anlaşması kapsamında sunulan mevcut ulusal katkı beyanlarının küresel emisyon sonuçlarına ilişkin tahminlerin 2030'dan sonra küresel ısınmayı 1.5°C ile sınırlayamayacağını göstermekte olduğunun altını çizmektedir. Diğer taraftan sağlık, geçim kaynakları, gıda güvenliği, su temini, insan güvenliği ve ekonomik büyümeye yönelik iklimle ilgili risklerin 1.5°C'lik ısınma ile artacağı ve 2°C ile daha da yükseleceği öngörülmektedir. Bu öngörü sera gazı emisyonlarının yüzyılın ortasına kadar "net-sıfır" seviyesine indirilmesini zorunlu kılan radikal bir dönüşüm sürecini başlatmıştır (Gössling vd., 2023; İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030), 2023). Bu hedefe ulaşılması küresel ekonominin her bir dışlisinin karbonsuzlaştırma stratejileriyle yeniden kurgulanmasını gerektirmektedir. Turizm sektörü, dünya gayrisafi yurtiçi hasılasının (GSYH) %10'undan fazlasını üretmesi ve her on işten birini desteklemesi bakımından devasa bir ekonomik güce sahip olsa da aynı zamanda iklim değişikliğinin hem en büyük kurbanlarından biri hem de en önemli itici güçlerinden biri olarak "çevresel bir paradoks" içinde yer almaktadır (Sun vd., 2024; Transport-related CO₂ Emissions of the Tourism Sector - Modelling Results, 2019).

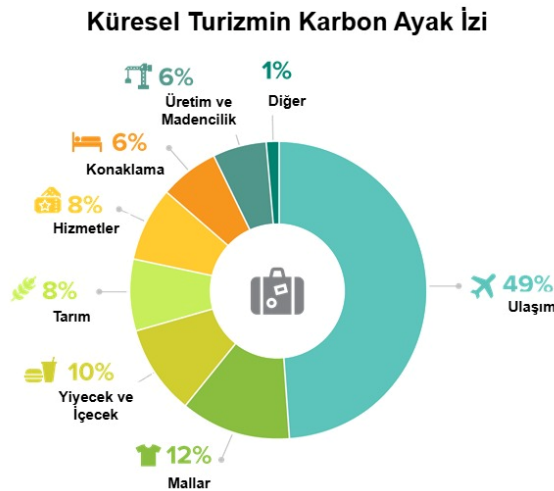
Turizmin çevresel etkisi incelendiğinde sektörün küresel karbon ayak izinin sanılandan çok daha derin olduğu görülmektedir. 2013 verilerine göre turizm küresel CO₂-eşdeğer emisyonların yaklaşık %8'inden sorumluyken; 2019 itibarıyla bu payın 5,2 gigaton CO₂-eşdeğer (5,2 Gt CO₂-eşd) düzeyine ulaştığı ve toplam küresel sera gazı emisyonlarının %8,8'ini (bazı hesaplamalarda %10'unu) oluşturduğu tahmin edilmektedir (Lenzen vd., 2018; Sun vd., 2024). Turizm sektörü kazanılan her 1 dolarlık gelir başına ürettiği 1,02 kg sera gazı emisyonu ile hizmet sektörünün ortalamasından dört kat küresel ekonominin ortalamasından ise %30 daha fazla karbon yoğunluğuna sahiptir. Bu yoğunluk sadece otellerdeki konaklamayı değil gıda, tekstil, enerji ve inşaat gibi tedarik zincirinden kaynaklanan dolaylı emisyonları da kapsayan karmaşık bir yapıyı yansıtmaktadır. Akademik veriler turizmin büyüme hızının küresel ekonominin büyüme hızını ikiye katladığını (%3,5 yıllık artış) ve mevcut olağan seyir senaryolarında sektör emisyonlarının 2005-2035 yılları arasında %130 oranında artış göstereceğini öngörmektedir (Nicholls, 2014; G. Yang & Jia, 2022).

Ancak turizmin iklim üzerindeki etkisi yalnızca küresel karbon ayak izi ile sınırlı değildir. Turizmin mekânsal yoğunlaşma yeteneği özellikle kıyı ve destinasyon kentlerinde yerel hava kalitesi üzerinde de baskı oluşturmaktadır. Bu durum küresel iklim değişikliği ile yerel hava kirliliği arasında çok ölçekli bir etkileşim yaratmaktadır.

1.2. Turizmde Emisyonların Merkezi Bileşeni: Ulaşım

Turizm, doğası gereği bireylerin alışılmış ortamları dışına geçici hareketliliğini temel aldığından ulaşım sektörüyle kopmaz ve organik bir bağ içerisindedir. Turizm kaynaklı toplam karbon emisyonlarının yaklaşık %75'i doğrudan ulaşım faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (World Tourism Organization (UNWTO), 2023). Bu veriler turizmde karbonsızlaştırma başarısının temel olarak ulaştırma sektöründeki teknolojik ve yapısal değişimlere bağlı olduğunu kanıtlamaktadır.

Turizmin küresel ölçekte karbon ayak izindeki payının yaklaşık %8 düzeyinde olduğu uçuşlar ve karayolu yolculuklarının yanı sıra konaklama, yiyecek-içecek, hizmetler ve tüketim kalemlerinin (mal/hizmet) de bu toplam etkiyi beslediği Şekil 1'de vurgulanmaktadır. Ayrıca turizmin karbon ayak izinin önemli bir bölümünün yüksek gelirli ülkelerden gelen ziyaretçiler tarafından üretildiği belirtilmektedir. Seyahatin ekonomik olarak daha erişilebilir hâle gelmesiyle turizmin çevresel ayak izinin de büyüme eğilimi taşıdığı belirtilmektedir.

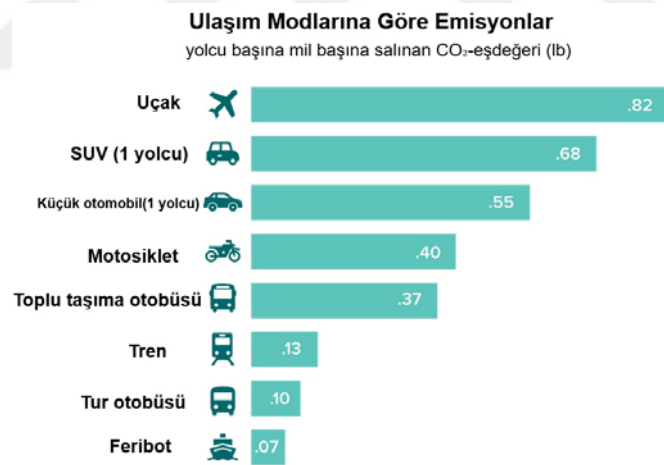


Şekil 1. Turizmin küresel karbon ayak izinin sektörel bileşenleri (Lenzen vd., 2018)

Ulaştırma modları arasında emisyon yoğunluğu bakımından en büyük pay ve büyüme ivmesi havacılık sektörüne aittir. Turizm ulaşımı emisyonlarının yaklaşık %40

ile %64 arasındaki devasa bir bölümü hava yolu seyahatlerinden kaynaklanmaktadır. Havacılığın iklim üzerindeki etkisi sadece CO₂ salımı ile sınırlı olmayıp yüksek irtifada salınan azot oksitler (NO_x), su buharı ve yoğunlaşma izleri gibi CO₂ dışı etkiler, sektörün küresel ısınmaya olan katkısını (Işıma Zorlaması) sadece CO₂'nin yarattığı etkinin yaklaşık iki ila beş katı üzerine çıkarmaktadır. 2016 verilerine göre turizm amaçlı tüm yolculukların sadece %31'i hava yoluyla yapılmış olsa da bu yolculuklar turizm ulaşım emisyonlarının yarısını üretmiştir ve 2030 yılına gelindiğinde bu payın %56'ya ulaşacağı öngörülmektedir.

Turizmde seyahat en temel bileşen olup uçak, otomobil, tren ve feribot gibi modlar destinasyon erişimini sağlarken bu hareketlilik beraberinde yüksek bir karbon yükü getirmektedir. Güncel karşılaştırmalar yolcu başına emisyon yoğunluğu açısından uçak ve otomobilin en yüksek değerlere sahip olduğunu tur otobüsleri, tren ve feribotların ise görece daha düşük emisyon yoğunluğu sergilediği Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu çerçevede uluslararası seyahatin hızla yaygınlaştığı dönemde ulaşım ilişkili turizm emisyonlarının belirgin biçimde arttığı; 2005-2016 arasında bu emisyonların %60'tan fazla yükseldiği raporlanmıştır.



Şekil 2. Ulaşım modlarına göre yolcu başına emisyon yoğunluğu (Carbon Footprint of Tourism, 2020)

Havacılık emisyonlarındaki hızlı artışın temel nedeni teknolojik verimlilik iyileştirmelerinin (yıllık yaklaşık %0,3-%0,8), talep artışının (yıllık %3,5-%5) çok gerisinde kalmasıdır (Sun vd., 2024). Havacılık sektörü yakıt kullanımının 2020-2050 döneminde iki katına emisyonlarının ise en iyimser senaryolarda bile kontrolsüz bir şekilde artmaya devam edeceği tahmin edilmektedir (Bows vd., 2009; Gürçam, 2023).

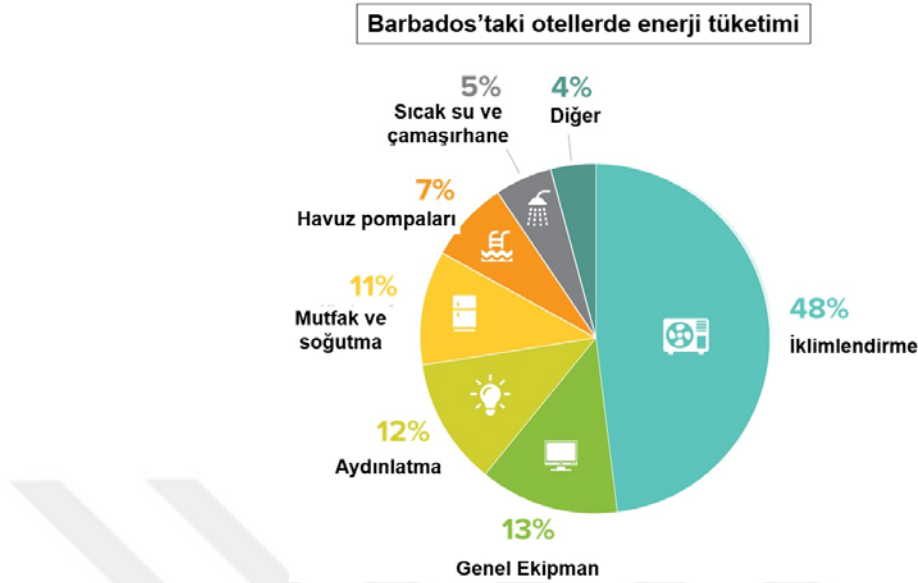
Özellikle uluslararası turizmde havacılık emisyonların %90'ından fazlasından sorumludur. Öte yandan, yerli turizmde emisyonların ana kaynağı hâlâ özel araç kullanımıdır (%75) ancak otomotiv sektöründeki hızlı elektrifikasyon ve hibritleşme eğilimleri nedeniyle 2030'da karayolu emisyonlarının Yolcu-Kilometre (PKM) başına havacılığın altına inmesi beklenmektedir (İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030), 2023; Transport-related CO2 Emissions of the Tourism Sector - Modelling Results, 2019). Türkiye'nin İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında ulaşım alanında benimsediği yaklaşım, sera gazı emisyonlarını düşürmeye dönük yapısal dönüşümü hızlandırmayı hedeflemektedir. Bu çerçevede; deniz/demiryoluna modal kayma sağlanması, ulaştırma sektöründe verimliliğin artırılması, ulaşım sistemlerinde sürdürülebilir/temiz enerji kaynaklarının kullanımı ve sektörün dekarbonizasyonu için gerekli altyapı faaliyetlerinin yapılması başlıkları, ulaşım kaynaklı emisyonların azaltılmasında temel politika eksenleri olarak ele alınmakta ve planlama süreçlerine yön vermektedir.

Ulaşım dışındaki önemli bir bileşen de konaklamadır: otel, pansiyon ve kiralık konutlarda ısıtma/soğutma, sıcak su sistemleri, aydınlatma ve elektrikli ekipmanlar (TV, buzdolabı, çamaşırhane vb.) enerji tüketimini artırarak CO₂ oluşumuna katkı vermektedir. Konaklama kaynaklı emisyonların hizmet seviyesi yüksek tesislerde (özellikle resort ve büyük otellerde) daha yüksek, daha küçük ölçekli konaklama türlerinde ise görece daha düşük olma eğiliminde olduğu belirtilmektedir. Örnek bir otel enerji kırılımında toplam tüketimin neredeyse yarısının iklimlendirme kaynaklı olması turizmde konaklama bileşeninin neden “enerji yoğun” bir emisyon alanı olduğuna işaret etmektedir ve Şekil 3’de detaylı olarak sunulmuştur.

1.3. Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Ekonomik Maliyetler

Sera gazı emisyonlarının yarattığı küresel ısınma etkisinin yanı sıra ulaştırma ve enerji sektörü kaynaklı emisyonlar yerel hava kalitesini bozarak ciddi bir sağlık krizine yol açmaktadır. Hava kirliliği, dünyada yıllık 4 milyondan fazla Türkiye’de ise 2022 verilerine göre yaklaşık 70 bin erken ölüme neden olmaktadır. Türkiye nüfusunun en az %92’si Dünya Sağlık Örgütü standartlarına göre kirli hava solumaktadır (Gayretli vd., 2024). Hava kirleticileri arasında en tehlikelileri olan Partikül Madde (PM_{2.5} ve PM₁₀), Azot Dioksit (NO₂) ve Kükürt Dioksit (SO₂) esas olarak motorlu taşıt egzozlarından,

sanayi tesislerinden ve ısıtma amaçlı fosil yakıt kullanımından kaynaklanmaktadır (Alagöz vd., 2023).



Şekil 3. Otellerde enerji tüketiminin alt bileşenlere dağılımı (Caribbean Hotel Energy Efficiency Action Program, 2026)

Özellikle azot dioksit emisyonları turizm merkezlerinde yoğunlaşan trafik yüküyle doğrudan ilişkilidir. Havalimanı operasyonları (LTO - İniş ve Kalkış döngüleri, apron araçları) kentsel hava kirliliğinin önemli bir bileşenini oluşturmaktadır (Ayvaz vd., 2025). Hava kirliliğinin küresel sağlık maliyeti yıllık 8,1 trilyon dolara (küresel GSYH'nin %6,1'i) ulaşarak ekonomiler üzerinde de ağır bir yük oluşturmaktadır. Bu durum, turizm bölgelerinde sadece iklim değişikliğiyle mücadelenin değil halk sağlığının korunmasının da ulaştırma stratejilerinin bir parçası olmasını gerektirmektedir.

Turizm merkezlerinde ise bu kirleticilerin dağılımı homojen değildir. Turistik çekim noktaları, ulaşım aksları, havalimanları ve konaklama bölgelerinde kirletici yoğunlaşmaları gözlenmektedir. Bu durum, turizm-ulaşım baskısının mekânsal olarak modellenmesini gerekli kılmaktadır.

1.4. Türkiye'nin İklim Politikası Vizyonu ve 2053 Net Sıfır Hedefi

Türkiye, iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek bölgelerden biri olan Akdeniz havzasında yer almaktadır ve bu durum turizm, tarım ve su kaynakları gibi stratejik sektörleri risk altına sokmaktadır. Bu risklerin bilinciyle Türkiye, 27 Eylül 2021 tarihinde 2053 net sıfır emisyon hedefin, açıklamış ve böylece ülkemizin yeşil kalkınma hamlesi

başlatılmıştır. 2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi ve Türkiye'nin Paris Anlaşması'na taraf olma iradesi neticesinde başlatılmış olan yeşil dönüşüm süreci tüm sektörlerde kapsamlı bir değişimi ve dönüşümü beraberinde getirmektedir (İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030), 2023).

Paris Anlaşmasına taraf olması ile birlikte Türkiye, Ulusal Katkı Beyanının (NDC) güncellenmesi, İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı ve 2053 Uzun Dönemli İklim Değişikliği Stratejisinin hazırlanması çalışmalarına Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) işbirliği ile başlamıştır. Bu çerçevede 2015 yılında Referans Senaryoya kıyasla %21'e kadar azaltım olarak açıklanan ulusal azaltım hedefi, güncellenerek %41'e yükseltilmiştir (İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030), 2023; İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi Ve Eylem Planı (2024-2030), 2023). Türkiye'de toplam sera gazı emisyonlarının (2021 verisiyle 564,4 Mt CO₂-eşd) yaklaşık %16,2'si ulaştırma sektöründen kaynaklanmakta ve bu payın %94,8'i gibi ezici bir çoğunluğu karayolu taşımacılığına aittir (Alagöz vd., 2023). Ulaştırma emisyonları 1990'dan bu yana yaklaşık üç kat artış göstermiştir. Bu durum, Türkiye'nin net sıfır hedefine ulaşmasında ulaştırma sektöründeki dönüşümün (modlar arası geçiş ve elektrifikasyon) kilit rol oynayacağını göstermektedir. Türkiye Uzun Dönemli İklim Stratejisi çalışmalarını 2053 net-sıfır emisyon hedefi doğrultusunda düşük emisyonlu ve iklim dirençli kalkınma anlayışı ile sürdürmeye devam etmektedir.

Bu durum, turizmin yoğunlaştığı kıyı kentlerinde ulaştırma kaynaklı emisyonların hem iklim politikaları hem de yerel hava kalitesi açısından kritik olduğunu göstermektedir.

1.5. Ulusal Ulaştırma ve Turizm Stratejilerinde Sürdürülebilirlik

Türkiye'nin "İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi (2024-2030)" ve "2053 Ulusal Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı" kapsamında ulaştırma için belirlenen temel yol haritası şu stratejik amaçlar üzerine kurgulanmıştır:

Modlar Arası Geçiş: Yolcu ve yük taşımacılığında karayolunun payının azaltılarak emisyon açısından daha verimli olan deniz ve demiryolu taşımacılığının payının artırılması (İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030), 2023; Tuncer vd., 2022).

Elektrifikasyon ve Alternatif Yakıtlar: Elektrikli araçların ve şarj altyapısının yaygınlaştırılması, havacılıkta CORSIA uyumlu sürdürülebilir yakıtların teşvik edilmesi.

Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik: Kentsel ulaşımında toplu taşıma, bisiklet yolları ve mikro mobilitenin (paylaşımlı skuter, e-bisiklet vb.) payının artırılması, kent merkezlerinin yayalaştırılması.

Enerji Verimliliği ve Akıllı Sistemler: Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) ve trafik optimizasyonu ile yakıt tüketiminin ve trafik sıkışıklığı kaynaklı emisyonların azaltılması.

Turizm sektörü açısından ise "İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi (2024-2030)", turizm tesislerinin iklim risklerine karşı dirençli inşa edilmesini ve düşük karbonlu enerji sistemlerine geçişini hedeflemektedir. Sektörde "Yeşil Yıldız", "Mavi Bayrak" ve sürdürülebilir turizm sertifikasyon sistemlerinin yaygınlaştırılması çevresel etkilerin minimize edilmesinde anahtar araçlar olarak tanımlanmıştır.

1.6. Bölgesel Dinamikler: Turizm Merkezlerinde Emisyon ve Ulaşım Stratejileri

Türkiye'nin karbonsuzlaştırma hedeflerine ulaşmasında turizmin yoğunlaştığı kıyı şeridi ve iç bölgelerdeki ulaşım tercihleri belirleyici bir rol oynamaktadır. Antalya, İzmir, Kapadokya, Aydın ve Muğla gibi merkezlerin hem yüksek emisyon potansiyeline sahip olduğunu hem de sürdürülebilir dönüşüm için kritik fırsatlar barındırdığı bilinmektedir.

Antalya: Turizmin başkentinde sürdürülebilir ulaşım hamlesi

Antalya, yıllık 10 milyonu aşan yabancı turist sayısı ile dünya genelinde Paris ve Londra'nın ardından en çok ziyaret edilen üçüncü kent konumundadır (Tuncer vd., 2022). Kentin ekonomik yapısı turizme dayalı olsa da bu yoğunluk ciddi bir emisyon yükünü beraberinde getirmektedir. Antalya'nın sera gazı envanterine göre emisyonların %30,2'si ulaşım kaynaklıdır ve bu payın %70,8'i gibi büyük bir çoğunluğu otomobillere aittir.

Antalya Büyükşehir Belediyesi, "Sürdürülebilir Enerji ve İklim Eylem Planı (SECAP)" kapsamında 2030 yılına kadar kişi başı emisyonları %40 oranında azaltmayı taahhüt etmiştir. Bu hedef doğrultusunda ulaştırma sektöründe köklü değişiklikler planlanmaktadır:

Raylı Sistem Genişlemesi: 2021'de hizmete giren 3. Etap'ın ardından, 2028'de tamamlanması planlanan 4. Etap (Konyaaltı-Varsak) ve hazırlık aşamasındaki 5. Etap

(Kundu-Lara) hatları ile toplu taşımanın payının artırılması hedeflenmektedir (Biz Doğamıza Söz Verdik, 2024).

Elektrifikasyon ve Mikro mobilite: Elektrikli taşıtların kullanım oranlarının artırılması ve türler arası entegrasyonun sağlanarak sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturulması hedeflenmektedir. Bu sayede ulaşım rahatlayacak, yakıt kullanımı azalacak ve daha az emisyon ile çevreye duyarlı ulaşım sistemleri özendirilecektir. Hava kirliliğinin azaltılması, karbon salımının düşürülmesi ve enerji verimliliğinin artırılması adına büyük bir adım atarak, 2024 yılı itibarıyla elektrikli araç sarj istasyonu sayısı 25'ten 35'e çıkarılmıştır. Bu adım, sürdürülebilir ulaşım çözümlerine katkı sağlayarak çevre dostu bir şehir altyapısı oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Belediye filosuna çevre dostu araçlar eklenerek, sürdürülebilir ulaşım hedeflerine bir adım daha yaklaşılması amaçlanmıştır. Filoya 1 elektrikli otomobil, 2 elektrikli otobüs, 25 elektrikli motosiklet ve 30 elektrikli scooter eklenmiştir. Bu araçlar, hem çevreye duyarlı hem de enerji verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Gelecekte, çevre dostu ulaşım çözümlerini daha da artırmak için çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca "park et-devam et" (park & ride) uygulamaları ile kent merkezindeki özel araç trafiğinin azaltılması amaçlanmaktadır.

İzmir: Yeşil şehir vizyonu ve hava kalitesi zorlukları

Ege Bölgesi'nin en büyük metropolü olan İzmir, 2030 yılına kadar emisyonlarını %40 azaltma taahhüdü veren kentler arasındadır. İzmir'de ulaşım sektörü, sanayi ile birlikte en büyük kirletici kaynaklardan biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle PM10 (Partikül Madde) seviyeleri, Dünya Sağlık Örgütü kılavuz değerlerinin üç katına kadar çıkarak ciddi bir risk oluşturmaktadır (Gayretli vd., 2024).

İzmir'in ulaşım odaklı karbonsuzlaştırma stratejisi şu unsurları içermektedir:

Elektrikli Otobüs Filosu: Toplu taşımada karbon ayak izini düşürmek amacıyla 1.097 adet elektrikli otobüsün hizmete alınması planlanmaktadır.

Akıllı Trafik Yönetimi: Trafik akışının optimize edilmesi ve yakıt israfının önlenmesi için merkezi bir komuta sistemi üzerinden akıllı sinyalizasyon çalışmaları yürütülmektedir (İzmir Sürdürülebilir Enerji ve İklim Eylem Planı, 2020).

Deniz ve Demir Yolu Entegrasyonu: İzmir Körfezi'nin ulaşımında daha etkin kullanılması ve raylı sistemlerin payının artırılması, "İzmir Ulaşım Master Planı (UPI 2030)" ile uyumlu şekilde karbonsuzlaştırmanın temel taşlarını oluşturmaktadır.

2020-2025 yılları arasında sürdürülebilir düşük enerji hedefine; 2025-2030 arasında binalarda neredeyse sıfır enerji hedefine ve ardından 2030'dan itibaren binarda net sıfır enerji hedefine ulaşılacaktır.

Aydın: Geçiş trafiği ve jeotermal enerji potansiyeli

Aydın, konumu itibarıyla İzmir-Denizli ve İzmir-Muğla devlet karayollarının kavşak noktasında yer alması nedeniyle yoğun bir transit trafik emisyonuna maruz kalmaktadır. Aydın merkezinden günde ortalama 24.000 araç geçmekte olup, bu yoğunluğun yarattığı emisyon yükü kentin hava kalitesini doğrudan bozmaktadır (Aydın İli Temiz Hava Eylem Planı (2020-2024), 2020). Aydın'da yaşanan kirliliğin en önemli nedeni fosil yakıt tüketiminin fazla olmasıdır. Son yıllarda merkezi ısıtma sistemli bina sayısında artış olsa da, sobalı konut sayısı çok fazla yer tutmaktadır. Sobalı konutlar genellikle eski yerleşim olması nedeniyle merkez noktalarda yoğunlaşmıştır. Sobalı konutlarda kullanılan yakıtın çoğunlukla yerli linyit olması da kirlilik değerlerini artırmaktadır. Ayrıca; Aydın'da az oranda da olsa kat kaloriferi olarak tabir edilen yakma sistemi kullanılmakta olup, bu yakma sistemlerinde genellikle motorin veya fuel-oil kullanılmaktadır. Aydın'da yaşanan kirliliğin en önemli faktörlerinden biriside trafikten kaynaklanan kirliliktir. Ancak trafik kaynaklı kirliliğin ilimizde ki hava kirliliği üzerinde ki etkisi tam olarak bilinmemektedir ve bu konuda herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

•Aydın, 2023 verilerine göre Türkiye'de PM10 sınır değerlerinin en çok aşıldığı illerden biri olarak "Yüksek Kirlilik Potansiyeline Sahip İller" listesinde yer almaktadır.

• İlin zengin jeotermal kaynaklarının sadece enerji üretiminde değil aynı zamanda turizm tesislerinde ve evsel ısınmada fosil yakıtların yerine kullanılması emisyon azaltım hedefleri için stratejik bir avantaj olarak görülmektedir.

• Aydın, Türkiye’de mavi bayraklı plaj ve marina sayısının en yüksek olduğu iller arasındadır. Turizmin devamlılığı için ulaşım kaynaklı kirliliğin deniz suyu kalitesine (özellikle NOx seviyeleri üzerinden) etkisinin minimize edilmesi şarttır.

Kirliliği azaltmak için uygulanacak projelerin başında şehir içi trafiğin düzenlenmesi ve servis araçları ve güzergahlarında gözden geçirme: kent içerisinde ana yolların oldukça az olması ve servis saatlerinde bu yolların tıkanması söz konusudur. Dur kalkların çok olması, araç yoğunluğunun fazla olması nedeni ile sıkışmış olan kent merkezinde alternatif yolların geliştirilmesi, bunun yanında güzergahların tekrar

düzenlenmesi gerekmektedir. Bu şekliyle belli bölgelerde oluşan emisyonun dağıtılması sağlanacaktır.

Muğla: Araç sahipliği ve kritik altyapı riski

Muğla, Türkiye’de kişi başına düşen otomobil sahipliği oranının en yüksek olduğu illerden biridir. Bu durum, turizm sezonundaki yoğun trafikle birleştiğinde emisyonların kontrol edilmesini güçleştirmektedir.

- İlde bulunan iki uluslararası havalimanı (Dalaman ve Milas-Bodrum) turizm ulaşımı kaynaklı emisyonların ana merkezleridir.

- Muğla, aşırı sıcaklık artışları ve orman yangınları bakımından turizm sektörünün en hassas olduğu bölgelerden biridir. Bu durum, bölgedeki ulaştırma altyapısının (özellikle kıyı yolları ve limanlar) yükselen deniz seviyelerine ve aşırı hava olaylarına karşı dirençli hale getirilmesini zorunlu kılmaktadır.

- Muğla Büyükşehir Belediyesi’nin "Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı" binalarda verimlilik ve ulaştırmada düşük karbonlu yakıtların teşvik edilmesini önceliklendirmektedir.

Bu beş bölge arasındaki dinamiklerin incelenmesi; turizmin sürdürülebilirliğinin sadece destinasyonun iç yönetimiyle değil, o destinasyona nasıl ulaşıldığı ve ulaşımındaki modal kaymanın (karayolundan demiryoluna ve deniz yoluna geçiş) ne ölçüde başarıldığıyla doğrudan ilişkili olduğunu kanıtlamaktadır.

Ancak literatürde bu iller için turizm-ulaşım baskısının mekânsal olarak modellenmesi ve bu modelin sezonsal hava kirliliği değişimi ile bütüncül biçimde ilişkilendirilmesine yönelik çalışmalar sınırlıdır.

Bu tez çalışması, turizm ve ulaşım faaliyetlerinin hava kirliliği üzerindeki mekânsal ve sezonsal etkisini nicel ve bütüncül bir model çerçevesinde ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışma alanı olarak Antalya, İzmir, Aydın ve Muğla illerinin seçilmesinin temel nedeni bu illerin Türkiye’de turizm yoğunluğu en yüksek destinasyonlar arasında yer alması, kıyı turizmine dayalı mevsimsel nüfus dalgalanmaları göstermesi ve ulaştırma altyapısı bakımından farklı karakteristiklere sahip olmalarıdır. Antalya ve Muğla yüksek yabancı turist girişine ve havalimanı temelli ulaşım baskısına sahipken İzmir büyük metropol yapısı ve karma ulaşım ağı ile öne çıkmakta, Aydın ise transit trafik ve kıyı turizmi etkileşimini birlikte barındırmaktadır. Bu çeşitlilik, turizm-

ulaşım kaynaklı kirlilik dinamiklerinin farklı mekânsal örüntüler altında test edilmesine imkân sağlamaktadır.

1.7. Literatür Taraması

Turizm-ulaşım etkileşiminin hava kirliliği üzerindeki etkisini ele alan literatür iki ana çerçeve üzerinden ilerlemektedir: (i) turizm kaynaklı hareketlilikten doğan emisyon/karbon ayak izi üretimi, modelleme zincirleri ve politika müdahaleleri, (ii) kirleticilerin mekânsal-zamansal dağılımının haritalanması/izlenmesi ve bunun turizm talebi, sağlık, adalet ve altyapı ile ilişkilendirilmesi. Bu durum çalışmanın turizm sezonuna özgü mekânsal deseni nicel olarak açıklamayı hedeflemektedir.

1.7.1. Turizm-Ulaşım Emisyonları / Karbon Ayak İzi / Politika ve Modelleme Yaklaşımları

Turizm hareketliliği özellikle karayolu ve havayolu üzerinden gerçekteştiğinde destinasyonlarda emisyon artışının en doğrudan tetikleyicisidir. Ancak bu artışın düzeyi yalnızca turist sayısına değil modal dağılıma, hız/akış koşullarına, rota seçimine, araç filosuna ve politika müdahalelerine (karbon fiyatlandırması, düşük emisyon bölgeleri, elektrikli araç dönüşümü, denetim) bağlı olarak değişir. Bu literatür, bir yandan turizm kaynaklı ulaşımın toplam karbon ayak izi içindeki baskın payını ve “turist başına emisyon” ile “toplam emisyon” ayrımını ortaya koyarken diğer yandan emisyonların yönetilebilirliğini sağlayan modelleme zincirlerini ve bunların politika senaryolarını nicel olarak test etme kapasitesini tartışır. Tez bağlamında bu bölüm turizm sezonunda yoğunlaşan ulaşım baskısının neden “sadece emisyon hesabı” ile değil mekânsal olarak nerede yoğunlaştığı ve sezonsal olarak nasıl değiştiği üzerinden okunması gerektiğini gerekçelendirir. Böylece SUI ile temsil edilen turizm-ulaşım baskısının, yaz-kış dönemlerinde gözlenen kirletici desenleriyle ilişkilendirilmesine (Δ yaklaşımıyla turizm sezonuna özgü farkın ayrıştırılmasına) kavramsal bir temel sağlar.

X. Yang vd. (2025), Lhasa’daki turizm sezonunda karayolu taşıtlarının emisyon karakteristiklerini trafik büyük verilerini kullanarak derinlemesine analiz etmişlerdir. Çalışma, 2023 yılı temmuz ayına ait verilerle yüksek rakımlı bölgelerde hız ve yol tipine göre CO, NO_x ve PM_{2.5} emisyon faktörlerinin nasıl değiştiğini ölçmüştür. Araştırmada, turizm sezonunda Lhasa gibi hassas ekosistemlerde araç yoğunluğunun hava kalitesi üzerinde oluşturduğu baskı vurgulanmaktadır. Hız değişimlerine bağlı olarak taşıtların

kirletici salınımlarında belirgin farklar saptanmıştır. Özellikle düşük hızlardaki trafik tıkanıklığının, turizm sezonunda Lhasa'da emisyon yoğunluğunu metropol düzeyine çıkardığı belirlenmiştir.

Yavuz (2020), insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararların bir ölçütü olan karbon ayak izi son yirmi yılda önemli bir çalışma alanı olduğunu ifade etmektedir. İnsan faaliyetleri arasında önemli bir yeri olan turizm sektörü enerjiden gıdaya farklı birçok alanda yüksek oranda tüketim faaliyetleri içermektedir. Buradan hareketle yapılan bu çalışmada beş yıldızlı bir otelin en çok tüketim yaptığı alanları dikkate alınarak karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan örnek otel Antalya ilinde 1907 yatak kapasiteli ve 5 yıldızlıdır. Otel 12 ay boyunca Antalya'da hizmet vermektedir. Otelin en yoğun emisyon kaynakları olan elektrik, su, LNG ve motorin kalemleri dikkate alınarak karbon ayak izi tespiti yapılmıştır. Yapılan çalışmada otelin son 5 yıllık tüketimleri göz önüne alınmıştır. Son 5 yılda karbon ayak izi farklılık gösterse de ortalama yıllık 5.3 tonluk bir emisyon atmosfere salınmaktadır.

Luo vd. (2018), Çin'in Zhangjiajie bölgesindeki seyahat modellerinin 2009-2015 yılları arasındaki değişimini ve karbon ayak izi üzerindeki yansımalarını incelemişlerdir. Seyahat mesafeleri kısalma eğilimi gösterse de turist sayısındaki devasa artışın toplam emisyonları yükselttiği kaydedilmiştir. Çalışma, havayolu ulaşımından demiryoluna ve özel araçlara doğru gerçekleşen modal geçişin emisyon yapısını nasıl dönüştürdüğünü belgelemiştir. Turist başına düşen karbon ayak izi 94,55 kg'dan 82,97 kg'a düşmüştür. Buna rağmen, toplam emisyon hacminin 178.810 tondan 275.510 tona yükseldiği ve havayolunun emisyon payının %38,3'ten %25,9'a gerilediği saptanmıştır.

Tirico vd. (2025), trafik kaynaklı hava kirletici emisyonlarının değerlendirilmesinde kullanılan Symuvia ve MATSim gibi modelleme zincirlerini karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. Farklı ölçeklerdeki emisyon çıktılarını inceleyen çalışma, trafik değişkenlerinin emisyon tahminleri üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Yazarlar, modelleme seçiminin politika yapım süreçlerindeki kritik rolüne dikkat çekmektedir. COPERT (*karayolu araç emisyon hesap modeli*) ve HBEFA (*trafik koşullarına bağlı emisyon faktörleri veri tabanı*) modelleri kullanılarak yapılan analizlerde trafik yoğunluğunun arttığı senaryolarda modeller arasındaki sapmanın %10 ila %17 arasında değiştiği görülmüştür. MATSim modelinin bazı durumlarda emisyonları sistematik olarak yüksek tahmin ettiği saptanmıştır.

Fageda & Oesingmann (2025), Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi'nin (EU ETS) turistik rotalardaki havacılık emisyonları ve yolcu sayıları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Karbon fiyatlandırmasının havayolu talebi ve arzı üzerindeki etkisi "farkların farkı" yöntemiyle (müdahale öncesi-sonrası değişimi, kontrol grubu ile karşılaştıran nedensel etki yöntemi) test edilmiştir. Çalışma, karbon piyasalarının havacılık sektörünün yeşil dönüşümündeki etkinliğini değerlendirmektedir. Politikanın yolcu sayıları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı negatif bir etki yaratmadığı, ancak karbon emisyonlarının kontrol grubuna kıyasla azaldığı saptanmıştır. Emisyonlardaki düşüşün talep azalmasından ziyade arz verimliliğinden kaynaklandığı görülmüştür.

Yapılan çalışmada küresel kamusal mal kapsamına giren hava kirliliğinin özellikle havacılık sektörü odaklı kirletilmesi araştırılmıştır. Havacılık sektörünün gelişim süreci incelenmiş, faydaları ve zararları ortaya konulmuştur. Küresel çapta ticaret, turizm gibi alanlarda bir köprü görevi gören havacılık sektörü bir yandan fayda sağlarken diğer yandan uçaklardan yayılan zehirli gazlar nedeniyle havayı kirletmekte ve küresel ısınmaya katkı sağlamaktadır. Uçak kaynaklı emisyonu azaltmak için ulusal ve küresel çapta fiyatlandırmalara gidilmiştir. Yapılan bu ücretlendirmeler uçak firmalarını emisyon azaltacak teknolojiye yönlendirmelidir. Sektör üzerinde yapılan düzenlemeler, vergiler ve fiyatlandırmaların emisyon azaltıcı etkileri ile sektörün geleceği arasında dengenin sağlanması da önem arz etmektedir (Doğan, 2018).

L. Wu vd. (2022), turistik gezi tasarım problemlerini karbondioksit emisyon kısıtlamalarını dikkate alarak matematiksel bir modelleme ile ele almışlardır. Turistlerin çevresel tercihleri ile gezi faydası arasındaki dengeyi optimize etmeye yönelik algoritmalar geliştirilmiştir. Çalışma, akıllı turizm sistemlerinin düşük karbonlu rotalar önerme potansiyelini teknik olarak kanıtlamaktadır. Çevresel duyarlılığı yüksek turistlerin karbon emisyonu düşük ulaşım araçlarını tercih ettiklerinde toplam gezi faydasında belirgin bir düşüş yaşamadıkları saptanmıştır. Geliştirilen algoritmaların, geleneksel yöntemlere göre emisyonları %15-20 oranında optimize edebildiği öngörülmektedir.

Huang (2025), turizm kaynaklı kentleşmenin ulaşım emisyonları üzerindeki etkilerini Çin'deki 285 şehir üzerinden mekânsal bir perspektifle araştırmıştır. Endüstriyel, nüfus ve ekolojik kentleşme boyutlarının emisyonlar üzerindeki doğrudan ve yayılma etkileri mekânsal Durbin modeli ile test edilmiştir. Çalışma, kentleşme modellerinin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki kritik etkisini belgeler. Nüfus ve

endüstriyel kentleşmenin yerel emisyonları artırdığı ancak ekolojik odaklı kentleşmenin karbon salınımlarını baskılama potansiyeline sahip olduğu saptanmıştır. Doğu Çin'deki yoğun nüfus kümelenmesinin komşu şehirlerde emisyon artışına yol açtığı teyit edilmiştir.

Ito & Higham (2025), Japonya'da düzenlenen 2019 Rugby Dünya Kupası örneğinde mega spor etkinliklerinin karbon emisyonlarını üç merkezli model (three-hub model) ile ölçmüşlerdir. Etkinlik bazlı turizmin havayolu ulaşımı ve konaklama kaynaklı salınımları analiz edilmiş gelecekteki büyük organizasyonlar için karbon yönetimi stratejileri önerilmiştir. Seyahat talebi yönetiminin emisyon azaltımındaki kritikliği vurgulanmıştır. Havayolu ulaşımının bazı maç rotalarında toplam emisyonların %80'inden fazlasına neden olduğu saptanmıştır. Stadyumlar arası ulaşımında demiryolu kullanımının teşvik edilmesinin, toplam etkinlik ayak izini %15 oranında düşürebileceği hesaplanmıştır.

Cavallaro vd. (2021), İtalya'nın Misano Adriatico kasabası örneğinde iklim değişikliği, turizm ve ulaşım arasındaki etkileşimi senaryo analiziyle ele almışlardır. İklimsel değişimlerin turizm talebi üzerindeki etkileri ve bu durumun ulaşım emisyonlarına yansımaları incelenmiştir. Yazarlar, sürdürülebilir ulaşım modlarına geçişin destinasyonların çevresel direncini artırmada hayati olduğunu savunmaktadır. Turistlerin sürdürülebilir ulaşım araçlarını benimsemesi halinde, 2035'e kadar ulaşım kaynaklı karbondioksit salımının 550,57 tondan 216,91 tona düşebileceği tahmin edilmektedir. Bu durum, emisyonlarda yaklaşık %61'lik bir azalma potansiyeline işaret etmektedir.

Yapılan çalışma, turizm sektöründe faaliyet gösteren teknelerin Karbon Ayak İzini Fethiye Örneği ile ortaya koymayı amaçlamıştır. Çalışmada öncelikle hedef tekneler belirlenerek bu teknelerin 2011 ile 2014 yılları arasındaki niceliksel değişimleri tespit edilmiştir. Bulunan yakıt tüketim değerleri literatürden elde edilen emisyon faktörü ve dönüşüm oranı ile işleme tabi tutularak teknelerden kaynaklanan sera gazı miktarı toplam CO₂ eşdeğeri olarak bulunmuş ve teknelerin Karbon Ayak İzi ortaya konulmuştur. Çalışma neticesinde, 2014 yılında Fethiye'de turizm sektöründe faaliyet gösteren 276 adet teknenin toplam 5919,6 ton/yıl CO₂ eşdeğeri Karbon Ayak İzi oluşturduğu saptanmıştır (Sunturlu, 2017).

Xu & Gursay (2024), turizm sektörü emisyonlarının iklim değişikliği ve sosyo-ekonomik alanlar üzerindeki doğrusal olmayan etkilerini 16 ülke verisiyle analiz

etmişlerdir. Turist başına düşen emisyonlar ile toplam sektör emisyonları arasındaki farklar incelenmiş konaklama ve ulaşım alt sektörlerinin rolleri kıyaslanmıştır. Çalışma, sektörel önceliklerin emisyon türüne göre değiştiğini ortaya koymaktadır. Konaklama sektörünün turist başına emisyon etkisinin ulaşımından daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ulaşım sektörünün ise toplam emisyon hacmi bakımından ekonomi ve toplum üzerinde en büyük dolaylı negatif etkiye sahip olduğu doğrulanmıştır.

Jiang vd. (2025), Çin'in Guilin şehrinde 2000-2021 yılları arasında turizm büyümesi ile emisyonlar arasındaki ayrışma ilişkisini analiz etmişlerdir. STIRPAT modeli (emisyonları nüfus, gelir/refah ve teknoloji gibi belirleyicilerle istatistiksel olarak açıklayan regresyon temelli çerçeve) ve Tapio modeli (emisyonların ekonomik büyümeden ayrışma düzeyini, değişim elastikiyetine göre sınıflandıran ayrışma yaklaşımı) modellerini birleştiren çalışma, Guilin'in düşük karbonlu kalkınma hedeflerine ne derece uyum sağladığını sorgulamaktadır. Araştırma, bölgesel turizm planlamasında karbon verimliliğinin artırılması gerektiğini savunur. Guilin'de turizm emisyonlarının 2000-2019 döneminde %228,57 arttığı ancak ekonomik büyüme hızı ile emisyon artışı arasında "zayıf ayrışma" durumunun hakim olduğu saptanmıştır. Enerji yoğunluğundaki iyileşmenin emisyonları baskılayan tek ana faktör olduğu görülmüştür.

Grizane & Jurgelane-Kaldava (2019), Letonya örneğinde turizm ulaşımından kaynaklanan karbondioksit salınımlarını hibrit bir yaklaşımla incelemişlerdir. 2012-2017 yılları arasındaki verilerle araç tipleri ve yakıt türlerine göre emisyon değişimleri analiz edilmiştir. Çalışma, milli gelir ile turizm ulaşımı emisyonları arasındaki doğrusal bağlantıyı test etmektedir. Toplam turizm ulaşım emisyonlarının 2012'de 1202,86 tCO₂ iken 2017'de 727,51 tCO₂'ye gerilediği saptanmıştır. En yüksek emisyonların benzinli binek araçlardan en düşük salınımların ise demiryolu ulaşımından kaynaklandığı belirlenmiştir.

J. Wu vd. (2023), Çin'deki Qinling Dağları koruma alanlarında turizm kaynaklı CO₂ emisyonlarını ve turistlerin düşük karbonlu davranışlarını etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) yöntemiyle 2014-2019 dönemi için emisyonlar hesaplanmış turistlerin çevresel bilgisi ve tutumu arasındaki ilişki test edilmiştir. Koruma alanlarındaki turizm yönetiminin hassasiyeti vurgulanmıştır. Toplam emisyonların ulaşım faaliyetlerindeki artış nedeniyle 2014-2019 arasında yaklaşık iki katına çıktığı saptanmıştır. Turistlerin düşük karbonlu davranış niyetlerinin %69

düzeyinde olduğu ancak bunun gerçek davranışa dönüşmesinde çevresel bilgi düzeyinin en güçlü belirleyici olduğu görülmüştür.

Susanty vd. (2021), Endonezya'daki Karimunjava Ulusal Parkı için CO2 emisyonlarını azaltmaya yönelik politika senaryolarını sistem dinamikleri yöntemiyle modellemişlerdir. Turist sayısı, seyahat tercihleri ve feribot seferleri gibi değişkenlerin etkileşimi test edilmiştir. Çalışma, sınırlı taşıma kapasitesine sahip ada destinasyonları için sürdürülebilir ulaşım stratejileri sunar. Sadece turistlerin davranışlarını değiştirmenin emisyon azaltımında yetersiz kaldığı en etkili stratejinin feribot seferlerinin optimizasyonu ve mini tur otobüsü kullanımının zorunlu kılınması olduğu saptanmıştır. Rota kısıtlamalarıyla emisyonların %30 oranında düşürülebileceği görülmüştür.

Pousa-Unanue vd. (2025), İspanya'nın San Sebastián şehri örneğinde turistlerin mekân-zaman davranışlarının karbon ayak izi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Turist profillerine göre (kültür, gastronomi vb.) hareket rotaları haritalandırılmış ve her bir grubun emisyon yoğunluğu hesaplanmıştır. Kentsel turizm yönetiminde ziyaretçi akışlarının kontrol edilmesinin önemi vurgulanmaktadır. Doğa ve açık hava etkinliklerine odaklanan turist grubunun, kişi başı seyahat bazında 30,69 kg CO2-eşdeğeri ile en yüksek emisyon profiline sahip olduğu saptanmıştır. Şehir merkezindeki konaklama yoğunluğunun yerel emisyon odaklarını belirlediği görülmüştür.

Zheng vd. (2025), dünyanın en çok emisyon üreten 10 ekonomisinde turizm, küreselleşme ve çevresel direnç arasındaki dinamik ilişkiyi analiz etmişlerdir. Dinamik ortak korelasyonlu etki (DCCE) ve artırılmış ortalama grup (AMG) yöntemleriyle 1995-2021 dönemi panel verileri incelenmiş turizm büyümesinin çevresel kalite üzerindeki uzun dönemli etkileri test edilmiştir. Küreselleşmenin emisyon azaltıcı bir moderatör olup olamayacağı tartışılmıştır. Turizm varışlarının çevresel kirliliği artırdığı ancak turizm gelirlerinin teknolojik verimlilik sayesinde emisyonları negatif yönde (azaltıcı) etkilediği saptanmıştır. Küreselleşmenin, turizm ve emisyon arasındaki pozitif ilişkiyi zayıflatan kritik bir faktör olduğu belirlenmiştir.

Ma vd. (2022), Pekin'in turizm trafiği kaynaklı karbon emisyonlarını Tapio ve Logaritma Ortalaması Divisia Endeksi (LMDI) yaklaşımlarıyla 2005-2017 dönemi için incelemiştir. Havayolu ulaşımının Pekin turizmindeki baskın rolü ve emisyon artışındaki devasa payı vurgulanmaktadır. Yeşil ulaşım teknolojilerinin yaygınlaşmasının emisyon dinamikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir. Havayolu ulaşımının emisyon

artışına en büyük katkıyı sağladığı demiryolu ve karayolunun paylarının ise nispeten sabit kaldığı saptanmıştır. Emisyon verimliliğindeki artışın, toplam emisyon hacmini sınırlamada tek kritik faktör olduğu belirlenmiştir.

Ullah vd. (2023), BRICS ülkelerinde ekonomik büyüme, turizm, doğal kaynaklar ve teknolojik inovasyonun CO2 emisyonları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. CS-ARDL modeli ile 1995-2019 dönemini analiz eden çalışma, teknolojik ilerlemelerin turizm kaynaklı kirliliği dengelemedeki rolünü vurgular. Doğal kaynak yönetiminin sürdürülebilirlik üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Teknolojik inovasyonun emisyonları negatif (azaltıcı) yönde etkilediği turizm gelirlerinin ise verimlilik artışı nedeniyle kirliliği düşürdüğü saptanmıştır. Doğal kaynakların aşırı kullanımının karbon salınımını %2,9 oranında artırdığı belirlenmiştir.

Yiğit vd. (2024), 15 Akdeniz ülkesinde turist varışları ile ulaşım sektörü kaynaklı emisyonlar arasındaki ilişkiyi kuantil regresyon yöntemiyle incelemişlerdir. Gelir düzeyi farklı ülkelerdeki emisyon duyarlılıklarını karşılaştıran çalışma turizm gelişiminin her ülkede aynı çevresel etkiyi yaratmadığını savunmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri için bölgesel stratejiler önerilmiştir. Turist varışlarındaki artışın düşük emisyonlu ülkelerde daha yüksek kirletici etki yarattığı saptanmıştır. Kentleşme ve endüstrileşmenin ulaşım emisyonlarını tetikleyen en güçlü yan faktörler olduğu doğrulanmıştır.

Naik vd. (2025), Hindistan'daki turistlerin sürdürülebilir ulaşım tercihlerini (elektrikli araçlar, yürüyüş, bisiklet) benimsemesini etkileyen davranışsal faktörleri araştırmışlardır. PLS-SEM yöntemiyle çevresel kaygı ve karbon ayak izi bilincinin niyet üzerindeki etkisini test etmişlerdir. Çalışma, düşük karbonlu seyahati teşvik etmek için psikolojik müdahalelerin önemini vurgular. Çevresel kaygının sürdürülebilir seyahat niyetini pozitif etkilediği ancak karbon ayak izi farkındalığının doğrudan davranış değişikliği yaratmadığı saptanmıştır. Yaşın, niyet ve gerçek davranış arasındaki ilişkide kritik bir değişken olduğu görülmüştür.

Tsai vd. (2018), uluslararası turistlerin bir ada ülkesine olan seyahatlerinin karbon etkisini ve bu durumun yerel sürdürülebilirlik üzerindeki baskısını incelemiştir. Uzun mesafeli uçuşların ada turizmindeki toplam emisyon yükündeki payı vurgulanmaktadır. Çalışma, ada destinasyonlarının iklim değişikliğine karşı savunmasızlığını ve karbon nötr turizm ihtiyacını tartışmaktadır. Uluslararası turistlerin toplam karbon etkisinin ulaşım

moduna bağı olarak yerli turistlerden 3-4 kat daha fazla olabildiğı saptanmıştır. Ulaşım emisyonlarının ada ekosistemi üzerindeki dolaylı maliyetlerinin turizm gelirleriyle dengelenmesi gerektiğı savunulmuştur.

Kitamura vd. (2020), Japonya’da turist tüketimine dayalı karbon ayak izini yaşam döngüsü değerlendirmesi çerçevesinde ölçmüşlerdir. Konaklama, yiyecek-içecek ve ulaşım sektörleri arasındaki emisyon dağılımını analiz eden çalışma Japonya’nın 2050 karbon nötr hedefine turizm sektörünün nasıl katkı sağlayabileceğini tartışır. Tüketim kalıplarının emisyon yoğunluğuyla ilişkisi incelenmiştir. Toplam turizm emisyonlarının 136 milyon ton CO₂-eşdeğeri olduğu ve ulaşımın bunun %56,3’ünden sorumlu olduğu saptanmıştır. Souvenir (hediyeelik eşya) alımlarının emisyonlarda %23,2 ile beklenmedik düzeyde yüksek bir paya sahip olduğu görölmüştür.

Dorta Antequera vd. (2021), ada destinasyonlarındaki uluslararası hava trafiğinin karbon ayak izini ve iklim değişikliği ile olan etkileşimini Kanarya Adaları örneğinde araştırmışlardır. Mesafe ve uçak tipi değişkenlerine göre emisyonları hesaplayan çalışma adalarda turizmin sürdürülebilirliğinin havayolu verimliliğine doğrudan bağı olduğunu göstermektedir. Politika yapıcılar için stratejik öneriler sunulmuştur. Kanarya Adaları’na gelen turistlerin havayolu ulaşımı kaynaklı emisyonlarının toplam ayak izinin %80’ini oluşturduğu saptanmıştır. Teknolojik ilerlemelerin emisyon artış hızını sadece %15 oranında yavaşlatabildiğı, radikal politika değişikliklerinin şart olduğu görölmüştür.

R. Cao vd. (2023), Guilin şehrindeki turizm yaşam döngüsünün karbon ayak izini 2011-2022 dönemi verileriyle analiz etmişlerdir. Konaklama, catering ve faaliyetlerin yanı sıra ulaşımı da modele dahil eden çalışma Guilin’in düşük karbonlu turizm kenti olma potansiyelini test etmektedir. Turist sayısındaki büyüme ile emisyon verimliliğı arasındaki ilişki incelenmiştir. Kişi başı karbon ayak izinin Guilin’de yıllar içinde azalma eğilimi gösterdiği, bunun turizm sektöründeki düşük karbonlu uygulamaların artışıyla ilişkili olduğu saptanmıştır. Otel sınıfları yükseldikçe emisyon yoğunluğunun arttığı doğrulanmıştır.

Herrero vd. (2025), İspanya ve Portekiz’deki dört farklı destinasyonda turizm faaliyetlerinin çevresel etkilerini ölçen "Greentour" aracını geliştirmişlerdir. LCA perspektifiyle dokuz farklı çevresel göstergeyi kullanan araç yerel yöneticiler için sürdürülebilirlik karnesi sunmaktadır. Ulaşımın toplam çevresel etki içindeki baskınlığı yeniden teyit edilmiştir. Ulaşım faaliyetlerinin toplam çevresel etkinin %60 ila %96’sını

oluşturduğu saptanmıştır. Yiyecek-içecek hizmetlerinde kırmızı et ve süt ürünleri kullanımının karbon ayak izini %26 oranında artırdığı, konaklamada ise su tüketiminin en büyük çevresel yük olduğu görülmüştür.

1.7.2. Hava Kirliliğinin Mekânsal-Zamansal Analizi

Hava kirliliği, trafik, ısınma, sanayi, meteoroloji ve topoğrafya etkileşimi nedeniyle mekânda heterojen zaman içinde ise mevsimsel ve olay-temelli dalgalanan bir olgudur. Bu nedenle politika üretimi ve etki değerlendirmesi noktasal ölçümlerden ziyade yüksek çözünürlüklü mekânsal yüzeyler, uzaktan algılama ve sensör ağlarıyla desteklenen izleme yaklaşımları ve bunların istatistiksel/hesaplamalı analizi üzerine kurulmaktadır. Bu literatür, kirleticilerin (PM, NO₂, O₃ vb.) dağılımının CBS tabanlı interpolasyon ve uydu/saha verisi entegrasyonu ile nasıl haritalandığını irdelemektedir. Ardından bu haritaların sağlık (ölüm, astım, maruziyet), turizm talebi (çekim-itme etkileri, ziyaret davranışı), çevresel adalet (dezavantajlı mahallelerde orantısız maruziyet) ve altyapı/ulaşım planlaması (trafik yönetimi, düşük emisyon bölgeleri, Toplu taşıma etkileri) açısından nasıl yorumlandığını gösterir. Tez bağlamında bu bölüm, yaz ve kış dönemlerinde üretilen çoklu kirletici haritalarının Ters mesafe ağırlıklandırması (IDW) ile sürekli yüzeylere dönüştürülmesini, RMS ile birleşik indeks üretimini ve Δ (Yaz-Kış) fark haritası ile “turizm sezonu sinyali”nin ayrıştırılmasını metodolojik olarak temellendirir. Ayrıca zonal istatistik ile SUI sınıflarında kirlilik düzeyi/değişiminin nicel karşılaştırılmasının hem maruziyet hem de planlama/adalet perspektifinden anlamlı bir değerlendirme sunduğunu konumlandırır.

Chaston vd. (2025), Avustralya'nın Victoria eyaletinde trafik kaynaklı hava kirliliğinin halk sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerini incelemiştir. Çalışmada, NO₂ kirliliği üzerinden trafik emisyonlarının yıllık bazda yaklaşık 1.309 erken ölüme ve binlerce hastaneye yatışa neden olduğu hesaplanmıştır. Araştırma, ulaşım altyapısı müdahalelerinin ve elektrikli araç kullanımının artırılmasının sağlık üzerindeki yükü hafifletmek için kritik bir gereklilik olduğunu vurgulamaktadır. Trafik kaynaklı emisyonların azaltılması, Victoria genelinde yaşam süresini önemli ölçüde artırabilir; özellikle elektrikli araç dönüşümü sera gazı salınımını düşürerek sağlık sistemine binen yükü azaltma potansiyeline sahiptir.

Sağlanan bu çalışmada amaç, önemli karayolları arasında bulunan D-100 karayolunun kenarındaki tarım alanlarında trafik kaynaklı hava kirliliğine maruz kalan

bitkiler üzerinde Cd ve Ni birikiminin araştırılmasıdır. Çalışmada, yol kenarında seçilen bir bölgede hareket halindeki motorlu karayolu taşıtları kategorize edilerek sayılmış ve böylece karayolundaki trafik yoğunluğunun saatlik değişimleri incelenerek ağır vasıta sayısı tespit edilmiştir. Bu veri kullanılarak taşıt egzozlarından kaynaklanan emisyonlar hesaplanarak bölgenin karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyon envanteri çıkarılmıştır ve sonucunda günde 0,18 ton Cd, 1,27 ton Ni birikimi meydana geldiği tespit edilmiştir (Çolak, 2012).

Gao vd. (2022), Çin'deki yüksek hızlı demiryolu (HSR) bağlantılarının endüstriyel kirlilik deşarj yoğunluğu üzerindeki etkilerini firma düzeyindeki verilerle analiz etmiştir. Çalışma, HSR'nin kirlilik azaltma etkisinin özellikle kısa vadede belirgin olduğunu ve SO₂ ile kimyasal oksijen ihtiyacı gibi kirleticilerin deşarjını azalttığını göstermektedir. Bu ulaşım modunun sanayi yapısını daha temiz teknolojilere doğru iten bir mekanizma görevi gördüğü saptanmıştır. HSR bağlantısı, özellikle ağır kirleticilerde kirlilik deşarj yoğunluğunu %20 ile %23 arasında düşürerek çevresel kalitenin iyileşmesine doğrudan katkı sağlamaktadır.

Zeng vd. (2021), Çin'deki turizm gelişiminin kentsel hava kirliliği üzerindeki doğrudan ve mekânsal yayılma etkilerini 285 şehir verisiyle araştırmıştır. Çalışmada, turizm gelişimi ile PM_{2.5} konsantrasyonları arasında "ters U-şekilli" bir ilişki olduğu, yani turizmin başlangıçta kirliliği artırdığı ancak belirli bir eşikten sonra iyileştirdiği bulunmuştur. Ayrıca, yüksek hızlı demiryollarının bu süreçte kirliliği azaltıcı bir düzenleyici rol oynadığı belirlenmiştir. Çin'de turizmin kirlilik üzerindeki etkisi ters U-şekilli bir Kuznets eğrisini doğrulamaktadır; yüksek hızlı demiryolu altyapısı ise SO₂ emisyonlarını azaltarak turizmin çevresel maliyetlerini dengelemektedir.

G. Li vd. (2023), Çin'in 278 şehrinde turizm kaynakları ve çevresel taşıma kapasitesini (TRECC) baskı-destek perspektifiyle değerlendirmiştir. Araştırma, turizm gelişimi ile ekolojik bozulma arasındaki dengesizliği vurgulayarak, özellikle kuzeybatı şehirlerinde enerji tüketimi ve hava kirliliğinin turizmin sürdürülebilirliği önündeki en büyük engeller olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma, akıllı turizm ve dijital izleme sistemlerinin taşıma kapasitesini yönetmek için gerekliliğini savunmaktadır. Şehirlerin %65,1'inde hava kirliliği turizm taşıma kapasitesi önündeki birincil engeldir; güney şehirlerinde ise turist ölçeği çevresel baskının temel kaynağını oluşturmaktadır.

Wang & Li (2026), Çin'de yüksek hızlı demiryolunun altı farklı hava kirleticisi üzerindeki etkisini inceleyen kapsamlı bir teorik çerçeve sunmuştur. Araştırma, HSR'nin PM2.5, PM10 ve NO2 gibi kirleticileri azaltmada etkili olduğunu ancak SO2 üzerindeki etkisinin daha karmaşık olduğunu göstermektedir. Ayrıca, ulaşım altyapısının kirlilik transferi ve bölgesel kirlilik açığı üzerindeki etkileri mekânsal ekonometrik yöntemlerle analiz edilmiştir. HSR hattının açılması, bölgesel kirlilik farklarını bilgi yayılımı yoluyla etkilemekte ve PM2.5 konsantrasyonlarını anlamlı derecede düşürerek çevre kalitesini artırmaktadır.

Schmidt & Ong (2026), Berlin'deki NO2 konsantrasyonlarını tahmin etmek için kentsel yeşil alanlar, meteoroloji ve trafik özelliklerini makine öğrenmesi algoritmalarıyla analiz etmiştir. Çalışma, araç trafiğinin NO2 seviyelerinin en güçlü öngörücüsü olduğunu kentsel yeşilliğin ise kirlilik üzerindeki azaltıcı etkisinin mekânsal bağlama göre değiştiğini bulmuştur. Rastgele orman ve derin öğrenme modellerinin tahmin başarısı karşılaştırılmıştır. Berlin'de trafik yoğunluğu NO2 kirliliğinin temel kaynağıyken, ağaçların ve yeşil alanların kirliliği azaltma kapasitesi, meteorolojik koşullar ve rüzgar koridorları ile doğrudan ilişkilidir.

Wen vd. (2025), kentsel yenileme süreçlerinin ısı adası etkisi ve hava kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma, eski binaların ve kültürel miras alanlarının korunmasının mikro iklimi nasıl düzenlediğini ve trafik kaynaklı kirliliğin binaların iç mekan kalitesine sızma riskini değerlendirmiştir. Kentsel tasarımın sürdürülebilirlik ile ilişkisi üzerine deneysel ölçümler paylaşılmıştır. Kentsel yenileme süreçlerinde yeşil alanların stratejik planlanması ısı adası etkisini düşürmekte ve trafik kaynaklı PM yayılımını binalar içinde %10-%15 oranında azaltabilmektedir.

Hwang vd. (2025), hava kalitesi ve meteorolojik faktörlerin turistlerin bir varış noktası içindeki gerçek hareketlilikleri üzerindeki etkilerini araç navigasyon verileriyle incelemiştir. Kötü hava kalitesinin (PM2.5 ve PM10) turistlerin dış mekan aktivitelerini azaltarak kapalı mekanlara (alışveriş ve restoran) yönelmelerine neden olduğu saptanmıştır. Çalışma, hava kirliliğinin turizm talebi üzerinde "itici" bir faktör olduğunu doğrulamaktadır. Hava kirliliği, turistlerin park gibi açık alan ziyaretlerini azaltırken PM2.5 seviyeleri belirli bir eşiği aştığında turist girişlerini ve varış noktası seçimlerini olumsuz etkilemektedir.

Pérez-Martínez vd. (2025), düşük maliyetli sensör ağlarının kentsel ulaşım politikalarını şekillendirmedeki rolünü Sao Paulo örneğinde ele almıştır. Çalışma, trafik kaynaklı emisyonların yüksek çözünürlüklü haritalarının oluşturulmasının sağlık ve iklim emisyonlarını azaltma stratejileri için kritik olduğunu belirtmektedir. Sensör verilerinin kalibrasyon süreçleri ve politika geliştirme üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Düşük maliyetli sensör ağları ulaşım politikalarının hava kalitesi üzerindeki etkilerini gerçek zamanlı izleme olanağı sunarak düşük karbon ekonomisine geçişi hızlandırmaktadır.

Bie vd. (2022), tipik bir ekolojik koruma alanında (Renhuai, Çin) araç emisyonlarını aşağıdan yukarıya (bottom-up) bir yaklaşımla karakterize etmiştir. Turizmin ve sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu bu bölgelerde ulaşım kirliliğinin zaman ve mekan bazlı dağılımı modellenmiştir. Çalışma, özellikle ağır vasıtaların ve tur otobüslerinin emisyon kontrolündeki önemini vurgulamaktadır. Ekolojik koruma alanlarında ulaşım kaynaklı emisyonların %40'ı turizmle ilişkili ulaşım modlarından kaynaklanmakta olup bu bölgelerde sıkı emisyon denetimleri ekosistem sağlığı için elzemdir.

Çoşgun, (2024), Antalya'daki hafif raylı sistemin iç hava kalitesini CBS yöntemlerini kullanarak haritalandırmıştır. Araştırma, hafif raylı sistemlerin trafik yükünü azaltarak çevreci bir alternatif sunduğunu ancak istasyonlardaki yolcu yoğunluğunun iç mekan partikül madde (PM) seviyelerini etkilediğini göstermiştir. Çalışma, toplu taşıma sistemlerinde havalandırma standartlarının iyileştirilmesi gerektiğini savunmaktadır. Raylı ulaşım sistemleri kentsel hava kalitesini genel olarak iyileştirse de, yoğun saatlerde vagon içi PM10 değerleri dış ortam değerlerinin üzerine çıkabilmektedir.

Deng vd. (2017), hava kirliliğinin Çin'e gelen yabancı turist sayısı üzerindeki etkisini mekânsal ekonometrik modellerle analiz etmiştir. Araştırma, bir bölgedeki hava kirliliğinin turist sayısını doğrudan azaltmasının yanı sıra komşu bölgelerdeki kirliliğin de turistleri o bölgeden uzaklaştırdığını bulmuştur. Çalışma, turizmin canlanması için hükümetler arası çevre yönetimi iş birliğinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Komşu illerdeki hava kirliliği arttığında yabancı turistlerin yerel bölgeyi ziyaret etme olasılığı azalmakta ve dolaylı kirlilik etkisi doğrudan etkiden daha büyük olmaktadır.

Omokungbe vd. (2026), Nijerya'nın başkenti Abuja'da partikül madde kirliliğinin mevsimsel değişkenliğini incelemiştir. Çalışma, kuru mevsimde PM seviyelerinin toz

taşınımı ve trafik emisyonları nedeniyle yağışlı mevsime göre belirgin şekilde yüksek olduğunu göstermiştir. Şehirdeki hava kalitesi endeksinin mevsimsel olarak değişmesi turizm planlaması ve halk sağlığı önlemleri için kritik veriler sağlamaktadır. Abuja'da kuru mevsimdeki PM10 seviyeleri yağışlı mevsime göre iki kat daha fazla seyrederek solunum yolu hastalıkları riskini ve görünürlük kaybını artırmaktadır.

Zhu vd. (2026), Çin'deki merkezi çevre koruma denetimlerinin turizm endüstrisinin karbon emisyonları üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Çalışma, sıkı çevresel denetimlerin turizm işletmelerini daha çevreci teknolojilere geçmeye zorladığını ve sektörün ekolojikleşmesini teşvik ettiğini bulmuştur. Ancak bu etkinin uzun vadeli sürdürülebilirliği konusunda bazı kısıtlamalar olduğu belirtilmiştir. Merkezi çevre denetimleri turizm sektöründeki karbon salınımını özellikle denetim yılı ve sonrasındaki ilk yılda anlamlı şekilde düşürmekte, ancak üçüncü yıldan itibaren etkisi azalmaktadır.

Mochocki & Zglobicki (2023), Polonya'daki turizm bölgeleri üzerinde NO2 seviyelerinin zamansal ve mekânsal değişimlerini Sentinel-5P verileriyle değerlendirmiştir. Araştırma, turizm sezonlarında ulaşım faaliyetlerinin artmasıyla birlikte doğal parklar ve sağlık tesisleri çevresinde hava kirliliğinin nasıl yükseldiğini haritalandırmıştır. Bu verilerin turizm alanlarının yönetimi için stratejik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır. Polonya'daki popüler turizm merkezlerinde NO2 kirliliği, yoğun ulaşım koridorları ve tatil dönemlerindeki araç trafiği nedeniyle mevsimsel olarak %25-%30 oranında artmaktadır.

Kose vd. (2026), Osnabrück'teki şehir içi otobüs sistemlerinde emisyon duyarlı rotalamanın fizibilitesini değerlendirmiştir. Çalışma, elektrikli ve hibrit otobüslerin kullanımının yanı sıra, trafik ışığı önceliklendirme sistemlerinin emisyonları nasıl düşürdüğünü simüle etmiştir. Ulaşım planlamasında emisyon farkındalığının sürdürülebilir kentsel mobilite için anahtar olduğu vurgulanmıştır. Emisyon duyarlı otobüs rotalaması ve toplu taşımada elektrikli araç dönüşümü kentsel ulaşım ağlarında karbon ayak izini %30'a kadar azaltma potansiyeli taşımaktadır.

Ho vd. (2025), Vietnam'ın Hanoi kentinde trafik emisyonlarından kaynaklanan hava kalitesi ve sağlık etkilerini analiz etmiştir. Çalışma, trafik kirliliğinin azaltılmasına yönelik farklı senaryoların erken ölümler ve solunum yolu hastalıkları üzerindeki olumlu etkilerini modellemiştir. Biyokütle yakmanın etkileriyle birleşen trafik kirliliğinin yerel halk üzerindeki ağır yükü vurgulanmıştır. Hanoi'de trafik emisyonlarının %20 oranında

azaltılması senaryosu hava kalitesini anlamlı şekilde iyileştirerek yıllık bazda yüzlerce erken ölümün önüne geçilmesini sağlayabilir.

Wei vd. (2025), Çin'in Xi'an kentindeki çevre yollarında ve otoyollarda mobil ölçüm cihazlarıyla CO₂ ve CH₄ seviyelerini belirlemiştir. Çalışma, otoyollardaki sera gazı konsantrasyonlarının mekânsal modellerini ve bunları etkileyen trafik faktörlerini araştırmıştır. Mobil sensör ağlarının kentsel emisyon haritaları oluşturmadaki yüksek hassasiyeti örneklenmiştir. Xi'an'daki çevre yollarında CO₂ yoğunluğu, yoğun trafik saatlerinde ve ağır vasıta geçişlerinde ortalama şehir içi değerlerinden %20-%30 daha yüksek seyretmektedir.

Rahman vd. (2025), Bangladeş'in Dhaka kentindeki hava kirliliğinin zamansal ve mekânsal dinamiklerini Sentinel-5P uydu görüntüleri ve Google Earth Engine üzerinden incelemiştir. Araştırma, 2020-2024 yılları arasında NO₂, CO ve SO₂ kirleticilerindeki değişimleri ve bunların kentsel yapı ile ilişkisini analiz etmiştir. Uzaktan algılama verilerinin uzun vadeli kirlilik trendlerini izlemedeki etkinliği gösterilmiştir. Dhaka'da kurak mevsimlerde hava kirletici konsantrasyonları, sanayi ve trafik faaliyetlerinin etkisiyle en yüksek seviyelere ulaşmakta ve bu durum turizm ile açık hava aktivitelerini ciddi şekilde kısıtlamaktadır.

Khan vd. (2025), Çin'deki turizm alt sektörlerinin (konaklama, eğlence, gıda) karbonsuzlaşma süreçlerini ve bu alandaki politikaların etkinliğini araştırmıştır. Çalışma, konaklama sektörünün en yüksek çevresel ayak izine sahip olduğunu eğlence sektörünün ise nispeten daha düşük kirlilik maliyetiyle yüksek sosyal fayda sağladığını bulmuştur. Sektöre özel çevre vergileri ve düzenlemelerin gerekliliği tartışılmıştır. Konaklama sektörü sera gazı emisyonlarının ve ekolojik ayak izinin artmasında birincil etkense de eğlence sektörü insani gelişme endeksine daha olumlu katkı sağlamaktadır.

Kühbacher vd. (2025), Münih şehri için karayolu taşımacılığı emisyonlarını ve zamansal profillerini tahmin eden veri odaklı bir çerçeve geliştirmiştir. Çalışma, gerçek zamanlı trafik akış verilerinin emisyon modellerine entegrasyonu sayesinde yüksek çözünürlüklü kentsel kirlilik haritaları oluşturmuştur. Bu modellerin, kentsel düşük emisyon bölgelerinin başarısını ölçmedeki rolü örneklenmiştir. Veri odaklı DRIVE v1.0 modeli kentsel trafik emisyonlarını yol bazında tahmin ederek karbon nötr şehir hedefleri için %95'e varan doğruluk oranına sahip planlama verileri sunmaktadır.

C. Li vd. (2022), ilgi çekici nokta (POI) verilerinin (restoranlar, manzaralı alanlar, otoparklar) Çin'in Weifang kentindeki PM2.5 kirliliği üzerindeki etkilerini mekânsal olarak analiz etmiştir. Çalışma, otoparkların hava kirliliği üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu ancak turizm odaklı manzaralı alanların da dolaylı trafik yükü nedeniyle kirliliği tetiklediğini bulmuştur. Bölgeye özel kirlilik önleme stratejileri önerilmiştir. Weifang'da otopark ve restoran yoğunluğu PM2.5 konsantrasyonlarını doğrudan artırırken turizm alanlarının geliştirilmesi kentsel kirliliğin mekânsal dağılımını %12 oranında değiştirebilmektedir.

Dong vd. (2019), hava kirliliğinin Çin'deki iç turizm üzerindeki etkisini mekânsal ekonometrik modellerle incelemiştir. Araştırma, bir şehirdeki PM2.5 konsantrasyonundaki artışın o şehre gelen yerli turist sayısını azalttığını ancak çevredeki kirliliğin turistleri yerel bölgeye yönlendirdiğini göstermiştir. Bu durumun turizm pazarlamasında stratejik bir faktör olduğu belirtilmiştir. Yerel hava kirliliği turist girişlerini %0,7 azaltırken komşu şehirlerdeki kirlilik artışı yerel şehre olan turist talebini %4,1 oranında artırarak "itme-çekme" dinamiklerini şekillendirmektedir.

Liu vd. (2022), turizmin ekosistem hizmet değeri üzerindeki etkilerini mekânsal ve zamansal olarak modellemiştir. Araştırma, turizm faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelerde ulaşım altyapısının doğal ekosistemler üzerindeki baskısını analiz etmiştir. Çalışma, turizmin çevresel maliyetlerinin, sunduğu ekonomik faydalarla dengelenmesi gerektiğini savunmaktadır. Kontrolsüz turizm büyümesi doğal habitatların parçalanmasına ve hava kalitesinin bozulmasına neden olarak ekosistem hizmet değerlerinde yıllık bazda %5 ile %8 arasında kayıplara yol açabilmektedir.

Fu vd. (2024), Çin'deki kırsal turizmin sıcak noktalarını ve bunların nedenlerini büyük veri yöntemleriyle analiz etmiştir. Çalışma, internet ilgisi, ulaşım erişilebilirliği ve çevre kalitesinin kırsal turizm tercihlerindeki rolünü araştırmıştır. Kırsal turizmin kentsel kirlilikten kaçan insanlar için giderek daha popüler bir alternatif haline geldiği gözlemlenmiştir. Hava kalitesi endeksi kırsal turizm bölgelerinin cazibesini etkileyen birincil faktördür. Kentsel kirliliğin artması kırsal alanlardaki turist trafiğini %15 oranında yükseltmektedir.

Altay vd. (2025), Türkiye'deki karayolu altyapısının eyalet düzeyindeki hava kirliliği (NOx ve PM10) üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırma, bölünmüş yollar ve asfalt yol uzunluğunun artmasının trafik sıklığını azaltarak NOx emisyonlarını

düşürdüğünü ancak genel yol genişlemesinin araç sayısını artırma riski taşıdığını bulmuştur. Türkiye'nin ulaşım politikaları için çevresel veriler sunulmuştur. Türkiye genelinde asfalt yolların iyileştirilmesi yerel hava kalitesine olumlu katkı sağlarken orman alanlarının korunması NOx seviyelerini %10-12 bandında sönümleyebilmektedir.

Mansourihanis vd. (2024), Teksas'taki kentsel merkezlerde turizm, çevre ve hakkaniyet (equity) arasındaki ilişkiyi mahalle ölçeğinde analiz etmiştir. Çalışma, turistik alanlardaki ulaşım yükünün sosyoekonomik olarak dezavantajlı mahallelerde orantısız kirlilik yüküne yol açtığını ortaya koymuştur. Kentsel planlamada çevresel adalet ilkelerinin gerekliliği vurgulanmıştır. Turizm merkezlerine yakın dezavantajlı mahalleler trafik kaynaklı kirliliğe %25 daha fazla maruz kalmakta ve bu durum turizm gelişiminde "çevresel adaletsizlik" riski yaratmaktadır.

Boogaard vd. (2023), trafik kaynaklı hava kirliliğine uzun süreli maruz kalma ile kaza dışı ölümler arasındaki ilişkiyi sistemli bir inceleme ve meta-analiz yoluyla araştırmıştır. Çalışma, trafik koridorlarına yakınlığın halk sağlığı üzerindeki maliyetlerini ve bu bölgelerdeki kirlilik seviyelerinin düzenlenmesinin hayati önemini detaylandırmıştır. Ulaşım ağlarından kaynaklanan kirliliğe maruziyetteki her 10 birimlik artış genel ölüm riskini %8 ile %12 arasında istatistiksel olarak anlamlı şekilde yükseltmektedir.

Brønnum-Hansen vd. (2018), Kopenhag'da trafik kaynaklı kirliliğin hastalık ve ölüm oranları üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Araştırma, kentsel ulaşım emisyonlarının azaltılmasının ve düşük emisyon bölgelerinin kurulmasının sağladığı net sağlık kazançlarını hesaplamıştır. Kopenhag'da trafik emisyonlarının azaltılması yıllık bazda yaşam beklentisini ortalama 0,5 yıl artırarak sağlık maliyetlerinde milyonlarca Euro tasarruf sağlamaktadır.

Khreis vd. (2017), trafik kaynaklı kirliliğe maruz kalma ile çocukluk çağı astımı gelişimi arasındaki riski meta-analiz yöntemiyle incelemiştir. Ulaşım planlamasında okulların ve yerleşim alanlarının trafik koridorlarından uzaklaştırılmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Trafik kaynaklı partikül madde ve NO2 maruziyeti çocuklarda yeni astım tanısı alma riskini %14 oranında artırarak ciddi bir pediyatrik sağlık tehdidi oluşturmaktadır.

Saenz-de-Miera & Rosselló (2014), Mallorca'da turizmin PM10 seviyeleri üzerindeki etkilerini modellemiştir. Çalışma, turist sayısındaki artışın ulaşım talebi

yoluyla hava kalitesini nasıl doğrudan düşürdüğünü saptamıştır. Adadaki turizm kapasitesinin çevresel limitleri tartışılmıştır. Turist sayısındaki her %1'lik artış, adadaki PM10 konsantrasyonlarını %0,45 oranında yükselterek yerel hava kalitesi üzerinde doğrudan baskı yaratmaktadır.

Bu literatür çerçevesi iki güçlü yaklaşımı ortaya koymaktadır. Bir yanda turizm hareketliliğinin emisyon üretimi ve politika müdahaleleri tartışılmaktadır. Diğer yanda kirleticilerin mekânsal ve mevsimsel dağılımı haritalanmakta ve bu dağılımın turizm ve ulaşım dinamikleriyle ilişkisi yorumlanmaktadır. Buna karşın çalışmaların önemli bir kısmı ya yalnızca emisyon hesabına odaklanmakta ya da tekil kirleticiler üzerinden ilerlemektedir. Turizm baskısının nerede yoğunlaştığını gösteren bir mekânsal indeks ile çoklu kirletici yükünü aynı ölçekte birleştiren bir yaklaşım ise daha sınırlı kalmaktadır. Bu tez, Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi (SUI) ile baskı alanlarını tanımlamakta ve yaz ile kış dönemlerinde referans tabanlı normalize kirletici yüzeylerinden Kök Ortalama Kare (RMS) ile birleşik kirlilik haritaları üretmektedir. Ardından yaz-kış farkı üzerinden mevsimsel sinyali ayırtarmakta ve SUI sınıfları ile kirlilik düzeylerini zonal istatistik ve korelasyon temelli ölçütlerle birlikte değerlendirmektedir. Böylece turizm sezonunun hava kalitesi üzerindeki olası etkisi, yalnızca düzey tartışmasıyla değil mekânsal örüntü ve mevsimsel değişim üzerinden daha denetlenebilir bir çerçevede ele alınmaktadır.

1.8. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının temel amacı, turizm ve ulaşım faaliyetlerinin yoğunlaştığı kıyı destinasyonlarında hava kirliliğinin mekânsal dağılımını ve mevsimsel değişimini bütünsel bir CBS tabanlı çerçeve içinde analiz etmek ve turizm-ulaşım baskısı ile çoklu kirleticiye dayalı birleşik kirlilik yükü arasındaki ilişkiyi nicel olarak ortaya koymaktır. Çalışma alanı olarak Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir illerinin seçilmesinin temel gerekçesi, bu illerin Türkiye’de turizm yoğunluğunun en yüksek olduğu bölgeler arasında yer alması, kıyı turizmüne bağlı belirgin mevsimsel nüfus dalgalanmaları sergilemesi ve ulaşım altyapısı ile yerleşim dokusu bakımından birbirinden farklı özellikler göstermesidir. Böylece geliştirilen yaklaşımın, turizm baskısının güçlü olduğu ancak mekânsal ve yapısal koşulları farklılaşan illerde karşılaştırmalı olarak sınanması hedeflenmiştir.

Bu kapsamda ilk aşamada, turizm çekiciliği ve rekreasyon yoğunluğu, konaklama arzı ve turizm talep baskısı, ulaşım ağı erişilebilirliği ve hareketlilik potansiyeli ile alansal

maruziyet ve topoğrafik modülasyon bileşenlerini temsil eden 11 kriter tanımlanmıştır. Kriter ağırlıkları, hem uzman yargılarındaki tutarlılığı sınavabilen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) hem de belirsizlikleri dikkate alan Bulanık SIWEC yaklaşımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen ağırlıklar CBS ortamında ağırlıklı doğrusal birleşim ile bütünleştirilerek Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi (SUI) yüzeyleri üretilmiş ve turizm-ulaşım kaynaklı potansiyel çevresel baskının mekânsal temsili oluşturulmuştur.

İkinci aşamada, Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı istasyon verilerinden türetilen yaz (Haziran-Eylül) ve kış (Kasım-Şubat) dönem temsilleri kullanılarak PM10, SO₂, NO₂, O₃ ve CO için referans eşiklere dayalı normalizasyon yapılmıştır. NO ve NO_x için sabit ve yaygın kabul gören bir referans değer bulunmadığından uç değerlerin etkisini sınırlamak ve il bazında karşılaştırılabilir bir ölçek kurmak amacıyla dönemsel istasyon medyanlarından türetilen 95. yüzdeler (P95) eşik değerleri kullanılmıştır. Ardından her kirletici için dönemsel yüzeyler Ters Mesafe Ağırlıklı interpolasyon (IDW) ile üretilmiş ve normalize alt-indeksler çoklu kirletici birleşik metriğe dönüştürülmek üzere birleştirilmiştir. Bu kapsamda karekök ortalama kare (RMS) yaklaşımıyla yaz ve kış için birleşik kirlilik haritaları elde edilmiş ayrıca mevsimsel değişimi göstermek üzere Δ (Yaz – Kış) fark haritaları üretilmiştir. Bu yaklaşım, yalnızca mutlak kirlilik düzeylerini değil, turizm sezonuna eşlik edebilecek artış veya azalış örüntülerini de mekânsal olarak görünür kılmayı amaçlamaktadır.

Üçüncü aşamada tez, SUI ile birleşik kirlilik göstergeleri arasındaki ilişkiyi iki tamamlayıcı yolla test etmeyi amaçlamaktadır. İlk olarak, SUI sekiz sınıfa ayrılarak her sınıf için RMS yaz, RMS kış ve RMS Δ değerleri zonal istatistik yöntemiyle özetlenmiş, böylece uygunluk düzeyine göre kirlilik yükündeki değişim sınıf temelli olarak nicelleştirilmiştir. İkinci olarak, raster tabanlı katmanlardan üretilen rastgele örnekleme noktalarında SUI ile yaz, kış ve Δ çoklu kirletici indeksleri arasındaki ilişkiler hesaplanmıştır. Bu ilişkide birincil ölçüt olarak Spearman sıra korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Bunun nedeni, SUI'nin normalize kriterlerin ağırlıklı birleşimiyle üretilen bir indeks olması ve RMS ile Δ dağılımlarının çoğu durumda normal dağılmaması ya da ilişkinin kesin olarak lineer bir yapıda bulunmamasıdır. Pearson korelasyon katsayısı ise ilişki biçiminin lineerliğe yakın olup olmadığını görmek amacıyla duyarlılık analizi kapsamında ikincil olarak raporlanmıştır.

Bu çerçevede tez, turizm sezonunda turizm-ulaşım baskısının yüksek olduğu alanlarda birleşik kirlilik yükünde artış eğilimi görülüp görülmediğini ve mevsimsel fark

örüntüsünün hangi mekânsal zonlarda belirginleştğini ortaya koymayı hedeflemektedir. Nihai hedef, turizm-ulaşım baskısını temsil eden mekânsal bir indeks ile çoklu kirletici yükünü ortak ölçekte birleştiren ve mevsimsel fark bileşeniyle birlikte yorumlanabilen, karar destek potansiyeli yüksek bir yöntem akışını literatüre ve uygulamaya kazandırmaktır.



2. MATERYAL VE METOT

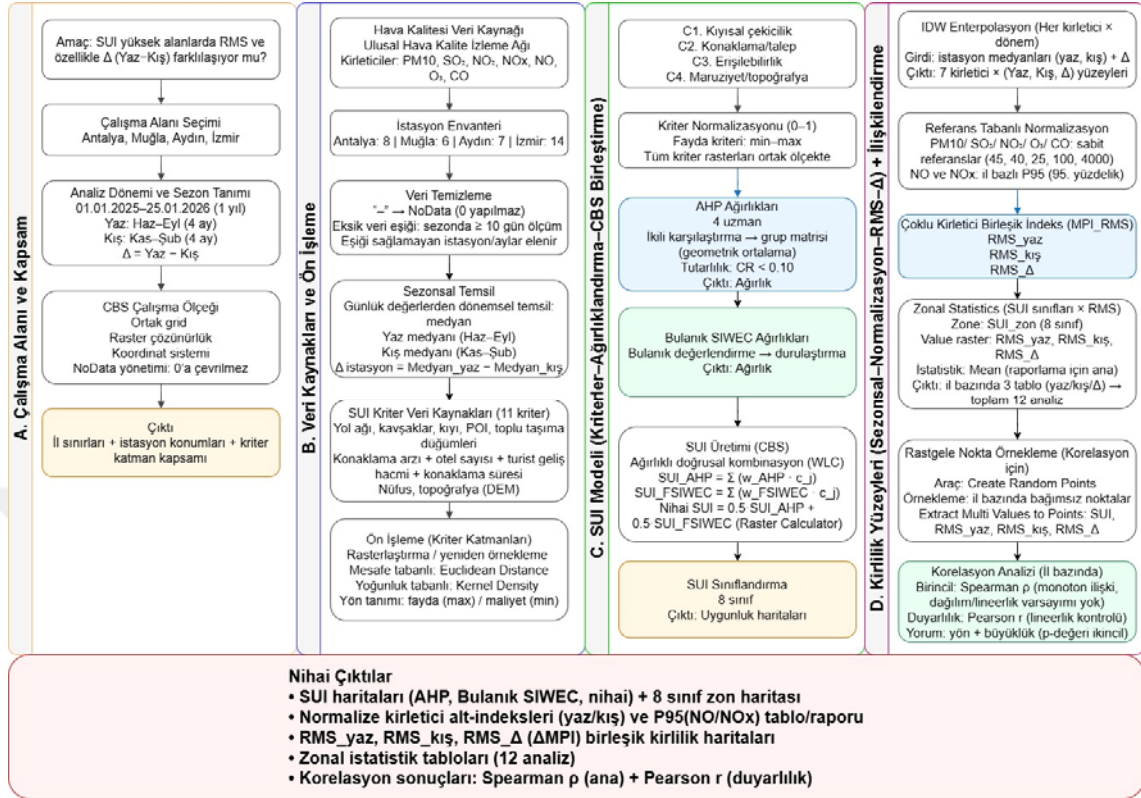
Bu bölümde çalışmada kullanılan veri setleri (materyaller) ile analiz ve modelleme adımları (metotlar) alt başlıklar altında ayrıntılı biçimde sunulmaktadır. Ancak yöntemsel bileşenler çok aşamalı bir iş akışı oluşturduğundan okuyucunun çalışmanın genel kurgusunu tek bakışta kavrayabilmesi için öncelikle bütünleşik akış şeması verilmiştir. Akış şeması, çalışma alanı ve sezon tanımlarından başlayarak veri temini ile ön işleme adımlarını özetlemektedir. Turizm–ulaşım baskısı, kriter temelli ağırlıklandırma yoluyla Turizm–Ulaşım Uygunluk İndeksi (SUI) olarak modellenmektedir. Kirletici ölçümleri mevsimsel olarak temsil edilmekte ve yüzeyler üretilmektedir. Ardından veriler referans tabanlı olarak normalize edilmekte ve çoklu kirleticiler karekök ortalama kare (RMS) yaklaşımıyla birleşik indekslere dönüştürülmektedir. RMS, normalize edilmiş çoklu kirleticileri tek bir birleşik indekste toplarken yüksek değerleri daha fazla ağırlıklandırarak yerel kirlilik piklerinin (sıcak noktaların) kaybolmasını önlediği için tercih edilmiştir. Son aşamada, SUI ile kirlilik çıktıları zonal istatistik ve korelasyon analizleri kullanılarak nicel olarak ilişkilendirilmektedir. Bu nedenle bölümün girişinde Şekil 4’de sunulan akış şeması hem izlenen analitik hattın mantıksal sırasını netleştirmekte hem de izleyen alt başlıklarda açıklanan işlemlerin birbiriyle nasıl bağlandığını görünür kılmaktadır.

2.1. Çalışma Alanı ve Kapsam

Bu tezde çalışma alanı Türkiye’de turizm talebinin ve bu talebi taşıyan ulaşım altyapısının (hava-deniz-karayolu) en yoğun biçimde kesiştiği Akdeniz-Ege kıyı kuşağını temsil edecek şekilde Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir illeri olarak belirlenmiştir. İl seçimi üç veri-temelli gerekçeye dayanmaktadır.

Turizm yoğunluğu: Kültür ve Turizm Bakanlığı’nın “Bakanlık Belgeli Konaklama İstatistikleri” kapsamında yayımladığı 2024 yıllık bültende illere göre konaklama tesis ve oda sayılarını yayınladı. Buna göre Türkiye genelinde işletme belgeli tesis sayısı 6 bin 906, yatırım belgeli tesis sayısı 716, basit konaklama işletme belgeli tesis sayısı 14 bin 596 olmak üzere toplamda 22 bin 218 adet bakanlık belgeli tesis bulunuyor. Oda sayılarına göre; İşletme belgeli oda sayısı 565 bin 888, yatırım belgeli oda sayısı 75 bin 981, basit konaklama işletme belgeli oda sayısı ise 321 bin 270’tir. Toplam oda sayısı ise 963 bin 139. Bakanlık belgeli tesis sayısı bakımından İstanbul 3

bin 194 tesis ile ilk sırada yer alıyor. Onu 2 bin 882 otel ile Muğla, 2 bin 721 tesis ile Antalya takip ediyor.



Şekil 4. Çalışmanın yöntemsel akış şeması

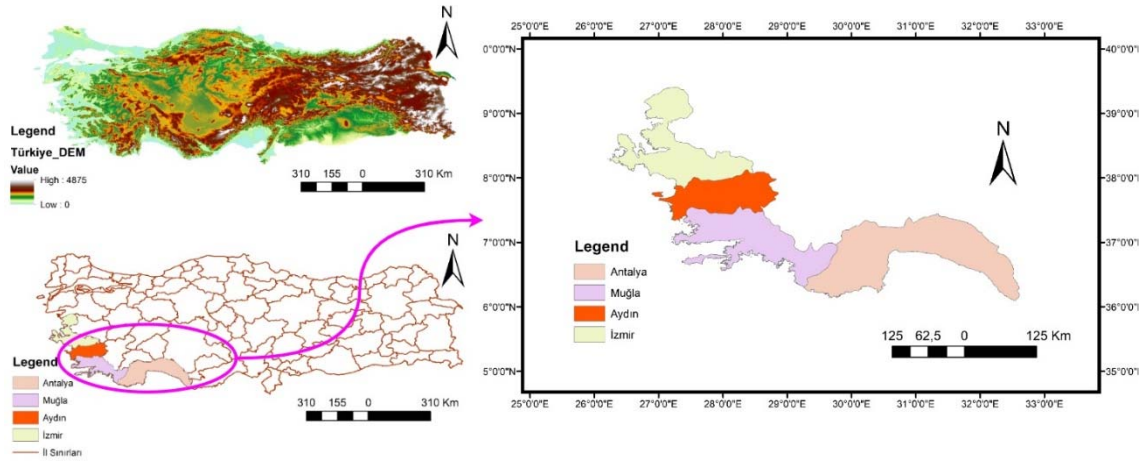
Bu illerimizi sırasıyla 1.908 tesis ile İzmir, 1.256 tesis ile Balıkesir, 969 tesis ile Çanakkale izliyor. Bakanlık belgeli tesislerin oda sayısı ölçüt alındığında Antalya ilimiz 308 bin 054 oda sayısı ile ilk sırada bulunuyor. Bu ilimizi 136 bin 433 oda ile İstanbul, 116 bin 744 oda ile Muğla takip ediyor. Bu şehirlerimizi sırasıyla 48 bin 326 oda ile İzmir, 29 bin 630 oda ile Aydın ve 26 bin 717 oda ile Balıkesir izliyor.

Kıyı destinasyonu niteliği ve turizm ürün çeşitliliği: Dört ilin tamamı kıyı turizmi omurgasında yer almaktadır. Kitle turizmi (Antalya), dağınık kıyı destinasyonları ve marina/rezort ağı (Muğla), kruvaziyer odaklı kıyı destinasyonu (Aydın/Kuşadası) ve metropol-kıyı-kültür turizmi bileşimi (İzmir) gibi farklı turizm tipolojilerini birlikte temsil etmektedir. Bu çeşitlilik turizm-ulaşım baskısının tek bir modele indirgenmeden farklı mekânsal örüntülerde incelenmesine olanak verir.

Ulaşım altyapısı çeşitliliği ve yüksek yolcu hareketliliği: DHMİ'nin 2025 verilerine göre Antalya Havalimanı 39.160.491, İzmir Adnan Menderes Havalimanı 12.660.080, Muğla Dalaman Havalimanı 5.638.025 ve Muğla Milas-Bodrum Havalimanı

4.412.884 yolcuya hizmet vermiştir. Bu değerler, çalışmanın turizm talebini taşıyan hava ulaşımı yoğunluğunu doğrudan temsil eden güçlü bir gerekçe sunar (Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, 2026). Deniz ulaşımı boyutunda ise UAB'nin 2025 kruvaziyer istatistiklerinde Kuşadası Limanı (Aydın) 617 gemi ve 995.843 yolcu ile Türkiye'nin en yoğun kruvaziyer limanı olarak verilmektedir. Aynı açıklamada Bodrum Limanı da yüksek yolcu hacmiyle öne çıkmaktadır. Bu durum, özellikle yaz sezonunda artan turizm hareketliliğinin deniz kapıları üzerinden de güçlü biçimde gözlenebildiğini göstermektedir (Kruvaziyer Yolcu Sayısı 2 Milyonu Aştı, 2026).

Bu üç gerekçe birlikte değerlendirildiğinde Antalya-Muğla-Aydın-İzmir seçimi yüksek turizm kapasitesi, kıyı destinasyonu sürekliliği ve çok modlu ulaşım ağları üzerinden turizm-ulaşım etkileşiminin hava kirliliği üzerindeki mekânsal ve sezonsal yansımalarını incelemek için temsil gücü yüksek ve nicel analizlere elverişli bir çalışma alanı sağlamaktadır. Çalışma alanı Şekil 5'de detaylı olarak sunulmaktadır.



Şekil 5. Çalışma alanı sınırları

Bu çalışmada hava kalitesi analizleri, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) istasyon verileri kullanılarak yürütülmüş olup veri temini (UHKİA), 2026 altyapısı üzerinden 25.01.2025-25.01.2026 tarih aralığını kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. UHKİA, ülke genelindeki istasyonlardan elde edilen ölçümlerin kamuya sunulduğu ulusal izleme sistemidir. Analiz dönemi olarak son bir yıllık pencerenin seçilmesinin temel gerekçesi veri sürekliliği ve karşılaştırılabilirlik ihtiyacıdır. Ön inceleme aşamasında birden fazla yıla ait istasyon verileri taranmış ancak bazı istasyonlarda uzun süreli ölçüm kesintileri (yer yer yılın büyük bölümüne uzanan ölçümsüzlükler) gözlenmiştir. Bu durum, çok yıllık analizlerde

mekânsal-zamansal karşılaştırmaların güvenilirliğini zayıflatacağından ölçüm kapsayıcılığı görece daha tutarlı olan en güncel 12 aylık dönemin kullanılması metodolojik olarak zorunlu hale gelmiştir.

Sezonsal inceleme çalışma alanında turizm hareketliliğinin yaz aylarında belirgin biçimde artması nedeniyle turizm-ulaşım kaynaklı olası ek kirlilik yükünün test edilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Bu kapsamda dönemler, ay sayısı bakımından dengeli olacak biçimde dörder aylık iki ana sezon olarak tanımlanmıştır. Yaz sezonu (Haziran-Eylül) ve kış sezonu (Kasım-Şubat) olarak belirlenmiştir. Geçiş ayları (ilkbahar/sonbahar) bilinçli olarak dışarıda bırakılarak sezonlar arası farkın daha net yakalanması hedeflenmiştir. Sezonsal değişim göstergesi ise her kirletici için $\Delta = \text{Yaz-Kış}$ olarak tanımlanmış ve bu fark haritaları mevsimler arası bileşenin mekânsal örüntüsünü doğrudan görünür kılan bir çıktı olarak değerlendirilmiştir.

2.2. Veri Kaynakları ve Ön İşleme

2.2.1. Hava Kalitesi Verileri (İstasyon)

Bu tezde kullanılan hava kalitesi verileri, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) kapsamında işletilen ölçüm istasyonlarından, SIM istasyon veri indirme ara yüzü üzerinden temin edilmiştir. Çalışma alanındaki istasyon ağı Antalya’da 8, Muğla’da 6, Aydın’da 7 ve İzmir’de 14 istasyon olmak üzere toplam 35 istasyondan oluşmaktadır. İstasyonların adları ve koordinatları Tablo 1’de sunulmuştur. Bu istasyonlardan elde edilen veri kümesi, çalışmanın kirletici setini oluşturan PM10 (partikül madde), SO₂ (kükürt dioksit), NO₂ (azot dioksit), NO_x (azot oksitler), NO (azot monoksit), O₃ (ozon) ve CO (karbon monoksit) konsantrasyonlarını (µg/m³) içermektedir.

Veri temizleme ve dönemsel temsile dönüştürme adımları aşağıdaki şekilde uygulanmıştır:

Eksik/uygunsuz kayıt yönetimi: SIM çıktı dosyalarında ölçüm bulunmayan gün/saat kayıtları “-” işareti ile gösterildiğinden bu kayıtlar NoData (eksik) olarak ele alınmış ve kesinlikle 0’a çevrilmemiştir. Böylece, ölçüm yokluğunun “sıfır konsantrasyon” olarak hatalı biçimde yorumlanmasının önüne geçilmiştir.

Günlük değerlerden sezon temsili üretimi (medyan): İstasyon bazında günlük konsantrasyon serilerinden her kirletici için sezonları temsil eden tek bir istatistik

üretilmiştir. Bu tezde dönemsel temsil ölçütü olarak medyan kullanılmıştır. Çünkü medyan, istasyon verilerinde görülebilen kısa süreli pikler/aşırı değerler karşısında sağlam bir ölçüdür ve sezonsal merkezi eğilimi daha güvenilir biçimde özetler.

Yaz medyanı: Haziran-Eylül günlük değerlerinin medyanı

Kış medyanı: Kasım-Şubat günlük değerlerinin medyanı

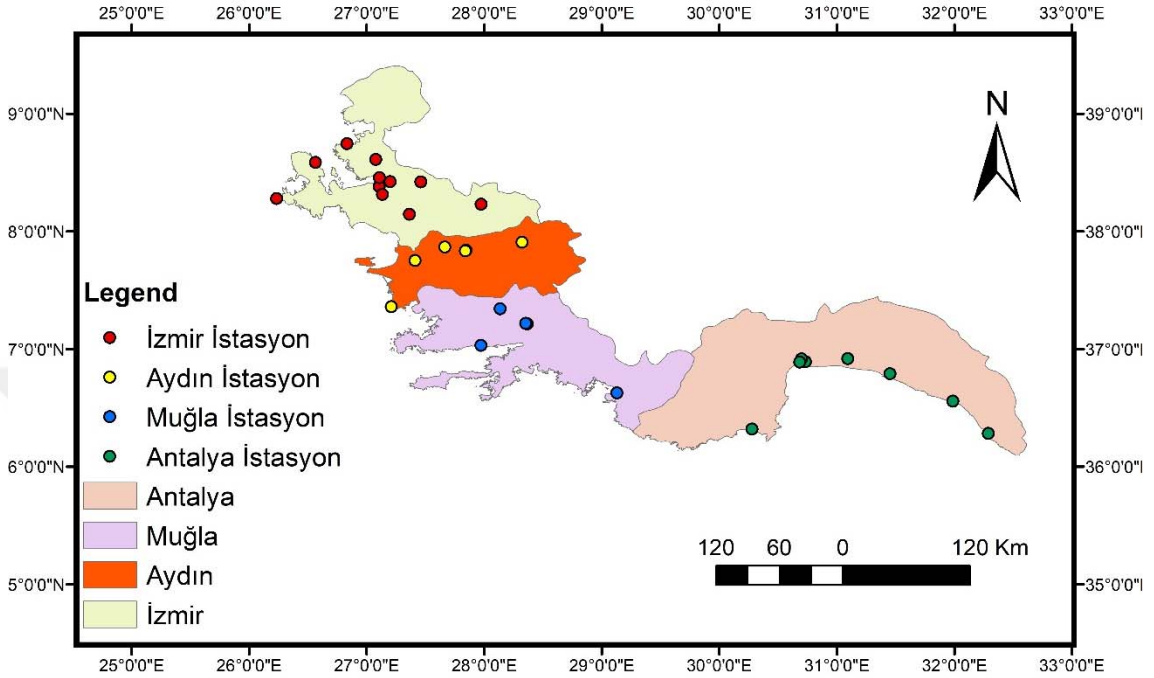
Δ hesaplamaları, yaz ve kış medyan temsilleri üzerinden yürütülmüştür.

Eksik veri eşiği ve eleme kuralı: Sezonsal medyanın temsiliyetini korumak amacıyla, her istasyon-kirletici-sezon kombinasyonu için ölçüm gün sayısı kontrol edilmiştir. Sezonda ölçüm sayısı belirlenen eşik değerin (10 gün) altında kalan istasyon/kirletici kayıtları analiz dışı bırakılmıştır. Bu filtreleme, uzun süreli ölçüm kesintilerinin dönemsel istatistikleri yanıltmasını önlemek ve interpolasyon (IDW) aşamasına yalnızca yeterli veri sürekliliği olan girdilerin taşınmasını sağlamak için uygulanmıştır.

Tablo 1. İllere ait hava kalite istasyonları ve konum bilgileri

İl	İstasyon İsmi	Enlem	Boylam	İl	İstasyon İsmi	Enlem	Boylam
Antalya	Gazipaşa	32,2872	36,281	İzmir	Torbalı	27,3627	38,1454
	Alanya	31,9864	36,555		Ödemiş	27,9744	38,2294
	Manavgat	31,4526	36,7897		Kemalpaşa	27,4612	38,4203
	Serik	31,0929	36,9181		Eğitim İstasyonu	27,1998	38,422
	Muratpaşa	30,7334	36,8923		Konak	27,1508	38,4006
	Kepez	30,7004	36,9148		Karabağlar	27,1067	38,3823
	Trafik	30,6835	36,8887		Gaziemir	27,134	38,3143
	Kumluca	30,2783	36,3185		Karşıyaka	27,1092	38,4558
Muğla	Fethiye	29,1292	36,6262		EMEP	26,8329	38,2304
	Trafik	28,3665	37,2122		Çeşme	26,2341	38,279
	Musluhittin	28,3535	37,217		Karaburun	26,5637	38,5849
	Milas ören	27,9716	37,0309		Yenifoça	26,8316	38,7444
	Yatağan	28,1343	37,3413		Aliaga	26,9646	38,7948
	Milas	27,7827	37,3111		Menemen	27,0775	38,6101
Aydın	Didim	27,2087	37,3597	Aydın	Trafik	27,8454	37,8394
	Söke	27,4114	37,7525		Efeler	27,8403	37,8339
	Germencik	27,6646	37,8656		Nazilli	28,3221	37,9078
	Aydın	27,8178	37,8546				

Bu ön işleme adımları sonucunda, her istasyon için her kirleticide yaz ve kış sezonlarını temsil eden tekil değerler elde edilmiştir. İzleyen aşamada bu değerler mekânsal interpolasyon ve çoklu kirletici birleştirme (RMS) işlemlerine girdi olarak kullanılmıştır. Dört ilin istasyonlarının coğrafi dağılımı Şekil 6’de sunulmaktadır.



Şekil 6. Hava kalite istasyonlarının coğrafi dağılımları

2.2.2. Mekânsal Kriter Verileri

Turizm ve ulaşım etkileşiminin mekânsal örüntüsünü temsil edebilmek amacıyla Turizm Ulaşım Uygunluk İndeksi (SUI) dört ana kriter ve toplam 11 alt kriterden oluşan bir kriter seti ile kurgulanmıştır. Kriter seti kıyı temelli turizm çekiciliği, konaklama arzı ve turizm talep baskısı, ulaşım ağının erişilebilirlik kapasitesi ile alansal maruziyet ve topoğrafik çerçeve bileşenlerini birlikte ele alarak çalışma alanındaki turizm ve ulaşımına bağlı yoğunlaşmaları çok boyutlu biçimde görünür kılmayı hedeflemektedir.

Bu kapsamda Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir için kriterleri temsil eden tüm coğrafi katmanlar ayrı ayrı derlenmiştir. Veriler ArcMap ortamına aktarılmış ve her il için aynı analiz akışı izlenerek kriter rasterları (hücre-piksel) üretilmiştir. Katmanların veri tipi ve çözünürlük farklılıkları nedeniyle kriterlerin birleştirilmesinden önce tüm çıktılar ortak bir raster ızgarasına taşınmıştır. Aynı hücre boyutu, aynı projeksiyon ve aynı analiz uzanımı altında yeniden örnekleme ve rasterlaştırma işlemleri uygulanmıştır. Ardından tüm kriter rasterları farklı ölçekteki değişkenleri karşılaştırılabilir hale getirmek için 0 ile

1 aralığında fayda (Eşitlik 1) ve maliyet (Eşitlik 2) normalizasyonu ile standardize edilmiştir. Son aşamada ise AHP ve Bulanık SIWEC yöntemleriyle elde edilen ağırlıklar kullanılarak kriterler ağırlıklı doğrusal kombinasyon yaklaşımıyla birleştirilmiş ve SUI haritaları üretilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{max} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (2)$$

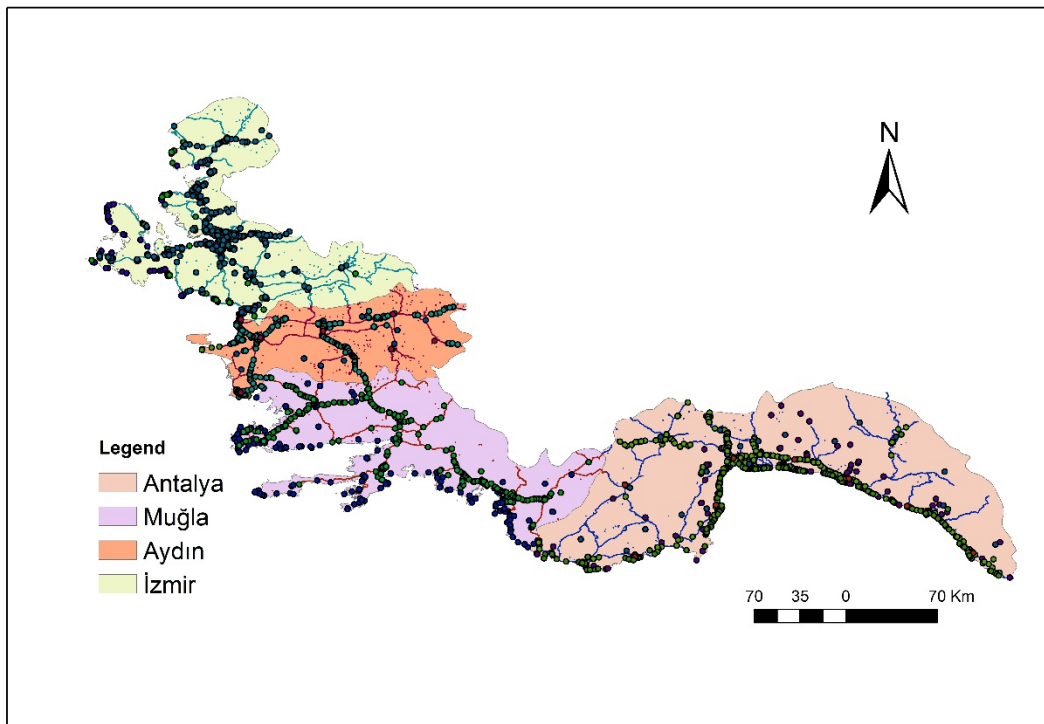
Kriterlere uygulanan mekânsal analiz türleri ve her bir kriterin yönü (fayda veya maliyet) Tablo 2’de sistematik olarak sunulmuştur.

Tablo 2. SUI kriterleri için kullanılan mekânsal analiz türleri ve yön tanımları

Kod	Kriter	Temel veri (tip)	CBS işlemi (ArcMap)	Yön (SUI)
C1.1	Kıyı yakınlığı	Kıyı çizgisi (çizgi)	Euclidean Distance	Fayda
C1.2	Turistik çekim & rekreasyon POI yoğunluğu	POI (nokta)	Euclidean Distance	Fayda
C2.1	Konaklama arz yoğunluğu	Konaklama tesisleri (nokta)	Kernel Density	Fayda
C2.2	Turist geliş hacmi	İstatistik + idari sınır (nokta)	Kernel Density	Fayda
C2.3	Ortalama konaklama süresi	İstatistik + idari sınır (nokta)	Kernel Density	Fayda
C2.4	Otel sayısı	Oteller (nokta)	Kernel Density	Fayda
C3.1	Karayolu ağ yoğunluğu	Yol ağı (çizgi)	Euclidean Distance	Fayda
C3.2	Yol kavşak/düğüm yoğunluğu	Kavşak noktaları (nokta)	Euclidean Distance	Fayda
C3.3	Toplu taşıma aktarma düğümlerine erişilebilirlik	Aktarma düğümleri (nokta)	Euclidean Distance	Fayda
C4.1	Nüfus yoğunluğu	Nüfus (nokta)	Kernel Density	Fayda
C4.2	Topoğrafik yükseklik	DEM (raster)	Slope	Maliyet

Şekil 7, çalışmanın dört il üzerinden tanımlanan mekânsal kapsamını ve SUI’nin türetilmesinde kullanılan temel mekânsal veri katmanlarının çalışma alanı üzerindeki dağılımını birlikte göstermektedir. Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir il sınırları renklerle ayrıştırılarak çalışma alanı çerçevesi netleştirilmiştir. SUI kriter setini oluşturan turizm

ve ulaşım bileşenleri ise aynı harita üzerinde katman mantığıyla sunulmuştur. Haritada, turizm çekiciliğini ve konaklama baskısını temsil eden noktasal varlıklar (turistik/rekreasyon POI'leri, konaklama/otel birimleri) ile hareketlilik potansiyelini temsil eden ulaşım altyapısı unsurları (karayolu ağı ve ana koridorlar, aktarma düğümleri/terminaller) birlikte görülebilmektedir. Böylece kriterlerin özellikle kıyı kuşağı ve ana ulaşım omurgaları boyunca kümelenen bir örüntü sergilediği anlaşılmaktadır. Bu gösterim SUI'nin çok kaynaklı mekânsal girdilerle oluşturulduğunu ve veri kapsamının çalışma alanı genelinde homojen olmayan fakat turizm-ulaşım baskısının beklenebileceği bölgelerde yoğunlaştığını görsel olarak doğrulamaktadır.



Şekil 7. Çalışma alanı ve SUI kriterlerinin türetilmesinde kullanılan mekânsal veri katmanlarının il sınırları üzerindeki dağılımı

Aşağıda, her kriterin SUI modelindeki rolü ve çalışma amacına katkısı açıklanmaktadır.

C1. Kıyısız Turizm Çekiciliği ve Rekreasyon Yoğunluğu

C1.1 Kıyı yakınlığı

Kıyı destinasyonları dört ilde turizm hareketliliğinin ana mekânsal omurgasını oluşturmaktadır. Kıyıya yakın alanlar, plaj kullanımı, sahil rekreasyonu, yazlık konut ve sezonluk nüfus artışı gibi mekanizmalarla hem turizm talebini hem de buna bağlı ulaşım

hareketliliğini yoğunlaştırmaktadır. Bu nedenle kıyı yakınlığı, turizm kaynaklı baskının en temel mekânsal belirleyicilerinden biri olarak modele dahil edilmiştir. Uygulamada kıyı çizgisine göre mesafe temelli bir kriter üretilmiş, kıyıya yaklaştıkça uygunluğu artıracak şekilde yön tanımlanmıştır.

C1.2 Turistik çekim ve rekreasyon POI yoğunluğu

Turistik çekim merkezleri ve rekreasyon noktaları ziyaretçi akışının hedeflerini ve günlük hareketlilik örüntülerini doğrudan temsil eder. Müzeler, ören yerleri, plajlar, marinalar, parklar, seyir noktaları ve benzeri POI kümelenmeleri, turizm odaklı seyahat üretimi ile ilişkilidir. Bu nedenle POI yoğunluğu, turizm aktivitesinin mekânsal çekim gücünü nicelleştiren bir gösterge olarak kullanılmıştır. Noktasal POI verileri, mekânsal kümelenmeyi yakalamak için yoğunluk tabanlı bir analiz ile rastera dönüştürülmüş, daha yüksek yoğunluk daha yüksek uygunluk olacak biçimde yön belirlenmiştir.

C2. Konaklama Sektörü Ölçeği ve Turizm Talep Baskısı

C2.1 Konaklama arz yoğunluğu

Konaklama arzı, turizmin mekânsal taşıyıcısıdır. Tesislerin yoğunlaştığı alanlar sezon boyunca sürekli ziyaretçi ve servis trafiği üretir. Ayrıca tedarik ve işgücü hareketliliğini artırmaktadır. Bu nedenle konaklama arz yoğunluğu turizm baskısının kalıcı bileşenini temsil etmek için modele dahil edilmiştir. Uygulamada konaklama tesislerine ait mekânsal göstergeler yoğunluk yüzeyine dönüştürülmüş ve uygunluk yönü fayda olarak tanımlanmıştır.

C2.2 Turist geliş hacmi

Turist geliş hacmi, talebin büyüklüğünü ve turizm kaynaklı hareketliliğin potansiyel ölçeğini temsil etmektedir. Turist akışı yükseldikçe özellikle yaz döneminde havaalanları, terminaler ve karayolu koridorları üzerinden gerçekleşen yolculuk sayısı artmaktadır. Bu kriter turizm talebinin nicel baskısını modele taşıyarak yalnızca arzı değil talep yönünü de kapsamaktadır. Uygulamada turist geliş hacmi uygunluk üzerinde artırıcı etkisi olan bir bileşen olarak ele alınmıştır.

C2.3 Ortalama konaklama süresi

Ortalama konaklama süresi turizm faaliyetinin sürekliliğini ve ziyaretçi varlığının zaman içindeki yoğunluğunu temsil etmektedir. Aynı geliş hacmi altında daha uzun konaklama, konaklama ve şehir içi hareketlilik kaynaklı maruziyeti artırabilir ve turizm

sezonunda alan kullanım baskısını güçlendirebilir. Bu nedenle kriter, talebin zamansal boyutunu mekânsal modele entegre eden tamamlayıcı bir göstergedir.

C2.4 Otel sayısı

Otel sayısı, konaklama sektörünün mekânsal yaygınlığını ve turizm faaliyetinin yapısal/kurumsal yoğunluğunu temsil eden tamamlayıcı bir göstergedir. Konaklama arz yoğunluğu kapasiteyi (ör. yatak, tesis yoğunluğu) nicelerken, otel sayısı turizm hizmetlerinin alansal dağılımını, sektörün ölçek ekonomisini ve turistik çekim alanlarında oluşan süreklilik gösteren talep baskısını daha doğrudan yansıtmaktadır. Ayrıca otel sayısı, özellikle kıyı kuşağı ve kentsel çekim bölgelerinde turizm sezonunda artan lojistik/servis hareketliliği ve yerel ulaşım talebi ile ilişkili olduğundan turizm-ulaşım etkileşimini temsil eden SUI modelinde ayrı bir kriter olarak değerlendirilmiştir.

C3. Ulaşım Ağı Erişilebilirliği ve Hareketlilik Potansiyeli

C3.1 Karayolu ağ yoğunluğu

Karayolu ağ yoğunluğu, alansal erişilebilirlik kapasitesini ve hareketliliğin yayılım potansiyelini temsil etmektedir. Turizm bölgelerinde yol ağının yoğunlaşması bireysel araç kullanımını ve servis trafiğini artırabilmektedir. Bu nedenle yol yoğunluğu ulaşım altyapısının turizm baskısını taşıma kabiliyetini gösteren temel bir kriterdir. Çizgisel yol verileri yoğunluk yüzeyine dönüştürülerek rasterleştirilmiş ve yüksek yoğunluk fayda yönünde değerlendirilmiştir.

C3.2 Yol kavşak ve düğüm yoğunluğu

Kavşak ve düğümler ağın bağlantısallığını ve trafik dağılım kapasitesini gösterir. Özellikle turistik merkezlerde yoğun kavşaklaşma hem erişilebilirliği hem de potansiyel trafik yükünü artırmaktadır. Bu kriter, ağ topolojisinin hareketlilik üretme ve yönlendirme kapasitesini yansıtmak için modele eklenmiştir. Uygulamada kavşak ve düğüm noktaları üretilerek yoğunluk analizi ile rastera dönüştürülmüştür.

C3.3 Toplu taşıma aktarma düğümlerine erişilebilirlik

Aktarma düğümleri (otogar, ana duraklar, terminal ve benzeri) günlük yolculukların odaklandığı kritik noktalardır. Turizm dönemlerinde bu düğümlere erişilebilirlik arttıkça ziyaretçi dağılımı ve hareketlilik yoğunluğu yükselir. Bu nedenle kriter, toplu taşımaya dayalı hareketlilik potansiyelini temsil etmektedir. Uygulamada

aktarma düğümlerine mesafe temelli erişilebilirlik yüzeyi oluşturularak düğümlere yaklaştıkça uygunluğun artacağı şekilde yön tanımlanmıştır.

C4. Alansal Maruziyet ve Topoğrafik Modülasyon

C4.1 Nüfus yoğunluğu

Nüfus yoğunluğu, hem emisyon üretimi hem de maruziyet açısından kritik bir göstergedir. Turizm sezonunda nüfus artışı ve gündüz nüfusu genişlemesi özellikle kentsel çekim alanlarında ulaşım talebini artırarak hava kirleticiler üzerinde dolaylı baskı oluşturabilir. Bu kriter, turizm ve ulaşım etkilerinin toplumsal maruziyet boyutunu modele dahil etmek amacıyla kullanılmıştır. Yüksek nüfus yoğunluğu uygunluğu artıran bir bileşen olarak ele alınmıştır.

C4.2 Topoğrafik yükseklik

Topoğrafya, hava kirleticilerin taşınımı ve birikimi üzerinde düzenleyici bir rol oynar. Vadiler, basenler ve kapalı topoğrafik birimler özellikle durağan meteorolojik koşullarda birikimi güçlendirebilir. Bu nedenle yükseklik, fiziksel çevrenin kirleticiler üzerindeki modülatör etkisini temsil eden bir kriter olarak modele eklenmiştir. Uygulamada sayısal yükseklik verisi raster olarak kullanılmış ve diğer katmanlarla aynı grid yapısına getirilmiştir.

Farklı veri tiplerinden üretilen kriter yüzeyleri doğrudan karşılaştırılabilir ölçeklerde olmadığından tüm kriterler 0 ile 1 aralığında normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Böylece her kriter ortak bir ölçekte temsil edilmiş ve ağırlıklandırma sonrası toplam uygunluk hesaplamasında herhangi bir kriterin yalnızca sayısal büyüklüğü nedeniyle baskın hale gelmesi önlenmiştir. Ardından AHP ve Bulanık SIWEC yöntemlerinden elde edilen ağırlıklar kullanılarak kriterler ArcMap ortamında ağırlıklı doğrusal kombinasyon ile birleştirilmiş ve il bazında SUI haritaları elde edilmiştir. Kriterlerin veri tipi, uygulanan mekânsal analiz operatörü, normalizasyon yönü ve nihai modeldeki yön tanımı (fayda veya maliyet) Tablo 2’de özetlenmiştir.

2.3. Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi (SUI) Modeli

2.3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) 1971 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirmiş çok kriterli karar verme yöntemidir (Saaty, 1990). AHP, karmaşıklığın

hiyerarşik yapılandırılması, ikili karşılaştırma, ağırlıkları türetmede özvektör ve tutarlılığın ölçümü gibi daha önceden bilinen ayırık konsept ve teknikten oluşmaktadır. Saaty bu konsept ve teknikleri bazı yeniliklerle birleştirerek parçalarının toplamından daha güçlü bir süreç oluşturmuştur (Ünal, 2012).

AHP yönteminde, karar süreçleri arasındaki ilişki tek yönlüdür. AHP üç ana aşamadan meydana gelmektedir. AHP de ilk olarak problemin çözümü için hiyerarşik bir yapı meydana getirilmektedir. Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra kriterlerin göreceli önem derecelerini gösteren ikili karşılaştırma matrisi (üstünlükler belirlenir) hesaplanmaktadır. Göreceli önemleri hesaplamak için Saaty'nin özvektör yöntemi kullanılmaktadır. Daha sonra matriste yer alan değerlerin tutarlı olup olmadığı, tutarlılık oranının tespitiyle kontrol edilmektedir. Tutarlılık oranı kabul edilebilir düzeyde ise alternatiflerin öncelik sıralamasına geçilmektedir. Böylece en yüksek değeri elde eden alternatif seçilmektedir (Eren vd., 2025).

Bu kapsamda, en üst düzeyde genel amaç; bir alt düzeyde ana kriterler ve gerekiyorsa alt kriterler; en alt düzeyde ise alternatifler tanımlanarak hiyerarşi oluşturulmuştur. Hiyerarşi kurulduktan sonra, karar vericilerin/uzmanların göreceli tercihlerini sayısallaştırmak için Saaty'nin 1–9 önem ölçeği kullanılarak ikili karşılaştırmalar yapılmış; karşılıklılık ilkesi gereği ters yöndeki karşılaştırmalar $1/x$ biçiminde Tablo 3'de ele alınmıştır (Aylin & Karakış, 2022).

Tablo 3. AHP İkili Karşılaştırma Ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önem	İki seçenek amaca eşit düzeyde katkı sağlar.
3	Orta Düzeyde Önem	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılar.
5	Güçlü Önem	Bir kriter diğerine göre güçlü bir şekilde tercih edilir.
7	Çok Güçlü Önem	Bir kriterin diğerine üstünlüğü çok güçlüdür.
9	Mutlak (Ekstrem) Önem	Bir kriterin diğerine üstünlüğü en yüksek olası kesinliktedir.
2, 4, 6, 8	Ara Değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılan ara değerlerdir.

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra, kriterlerin ağırlıklarını temsil eden öncelik (ağırlık) vektörü hesaplanmıştır. Uygulamada yaygın yaklaşım olarak matris normalize edilmiş; normalize matrisin satır ortalamaları alınarak öncelik vektörü elde

edilmiştir (öncelik vektörü elemanlarının toplamı 1'dir) (Kara & Ecer, 2016). Birden fazla uzmanın değerlendirmesi söz konusu olduğunda, uzman yargılarının tek bir karşılaştırma matrisine indirgenmesi için geometrik ortalama yaklaşımı kullanılabilir. Karar vericinin ikili karşılaştırmalardaki yargılarının tutarlılığı, Tutarlılık İndeksi (CI) ve Tutarlılık Oranı (CR) ile test edilmiştir. CI, en büyük özdeğer (λ_{max}) ve matris boyutu (n) kullanılarak Eşitlik (3)'teki gibi hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Burada n, karşılaştırılan kriter sayısını (matris boyutunu) ifade eder.

Ardından CR, CI'nin rassal indeks (RI) değerine oranı olarak Eşitlik (4)'te verildiği biçimde elde edilir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Literatürde yaygın kabul gören eşik değere göre CR'nin 0,10'dan küçük/eşit olması ($CR \leq 0,10$), yapılan karşılaştırmaların kabul edilebilir düzeyde tutarlı olduğunu ve elde edilen ağırlıkların güvenilir şekilde yorumlanabileceğini göstermektedir; CR'nin 0,10'dan büyük olması halinde ise ikili karşılaştırmaların gözden geçirilmesi ve tekrar edilmesi önerilmektedir.

2.3.2. Bulanık Basit Ağırlık Hesaplama Yöntemi (Bulanık SIWEC)

Bu çalışmada, kriterlerin önem düzeylerini belirlemek ve karar vericilerin öznel yargılarındaki belirsizlikleri modele dahil edebilmek amacıyla, Puška vd. (2024) tarafından literatüre kazandırılan Bulanık SIWEC yöntemi uygulanmıştır. ÇKKV problemlerinde sıklıkla kullanılan AHP gibi yöntemler kriter sayısı arttıkça karmaşıklaşan ikili karşılaştırma matrisleri gerektirirken SIWEC yöntemi, uzmanların kriterleri doğrudan değerlendirmesine olanak tanıyan daha sade ve esnek bir yapı sunmaktadır (Kaya, 2025; Kaya & Kabakuş, 2025).

Bulanık SIWEC yöntemi, klasik SIWEC yaklaşımının bulanık mantık teorisi ile genişletilmiş halidir. Bulanık SIWEC, kriterlerin karşılaştırılması yerine sadece değerlendirilerek karar vericilerin karar sürecindeki öneminin ön plana çıkartıldığı ve kullanışlı olması için basit yapıları geliştirilen, kriter ağırlıklandırılmasına yönelik bir yöntemdir. Bu yaklaşımda, karar vericiler kesin sayısal değerler yerine, insan düşünce yapısına daha uygun olan "Düşük", "Orta", "Yüksek" gibi dilsel ifadeler (linguistic terms)

Tablo 4'deki gibi kullanırlar. Bu ifadeler daha sonra bulanık sayılara dönüştürülerek matematiksel işlemlere dahil edilir (Kaya, 2025).

Tablo 4. Dilsel terimlerin üyelik fonksiyonlarıyla eşleştirilmesi

Dilsel Terimler	Kısaltma	Üyelik Fonksiyonu
Çok çok düşük	AB	(1,1,1)
Çok düşük	VB	(1,2,3)
Düşük	B	(2,3,4)
Orta-düşük	MB	(3,4,5)
Orta	E	(4,5,6)
Orta-yüksek	MG	(5,6,7)
Yüksek	G	(6,7,8)
Çok yüksek	EG	(7,8,9)
Çok çok yüksek	AG	(8,9,10)
Aşırı yüksek	P	(9,10,10)

Karmaşık problemlerin çözümünde doğru karar verebilmek adına çok sayıda kriterin titizlikle değerlendirilmesi gerekmektedir. Literatürde kriterlerin önem düzeylerini belirlemek için kullanılan yöntemler temel olarak öznel ve nesnel olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Nesnel yöntemler doğrudan karar matrisindeki verileri kullanırken öznel yöntemler karar verici grubun bilgi, birikim ve tecrübelerine dayanmaktadır (Asif vd., 2025; Phulara vd., 2024).

Bu yöntemin seçilmesindeki en önemli etken uzman kararlarında oluşabilecek tutarsızlıkları ve verimsizlikleri minimize etme yeteneğidir. Bulanık SIWEC, uzmanların görüşlerini dilsel değişkenler aracılığıyla modele yansıtarak belirsizliği en iyi şekilde yönetmektedir.

Yöntemin uygulama adımları aşağıda sunulmuştur (Kaya, 2025; Puška vd., 2024):

Adım 1: Kriterlerin Dilsel İfadelerle Değerlendirilmesi

Uzmanlar, belirlenen kriterlerin mevcut problem üzerindeki önem düzeylerini ifade etmek için sayısal değerler yerine dilsel değişkenler kullanır. Bu aşamada Tablo 4'de verilen dilsel değerler ve üyelik fonksiyonları esas alınır.

Adım 2: Bulanıklaştırma (Fuzzification)

Seçilen dilsel ifadeler ilgili üyelik fonksiyonları kullanılarak üçgensel bulanık sayılara dönüştürülür (Eşitlik 5). Burada her bir dilsel ifade, alt, orta ve üst değerlerden oluşan bir bulanık sayı seti ile temsil edilir.

$$\tilde{x}_{ij} = (x_{ij}^l, x_{ij}^m, x_{ij}^u) \quad (5)$$

Adım 3: Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar verici ekibindeki tüm uzmanların görüşleri bir araya getirilerek bulanık karar matrisi oluşturulur. Bu matris, tüm kriterlere ilişkin üçgensel bulanık ifadeleri içerir (Eşitlik 6).

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Adım 4: Normalizasyon İşlemi

Bulanık sayıların homojenliğini sağlamak ve uzman görüşlerinin objektifliğini artırmak amacıyla karar matrisi normalize edilir. Bu işlemde, üçüncü bulanık sayının (üst değer) en büyük değeri referans alınır ve diğer tüm değerler bu maksimum değere bölünerek normalizasyon sağlanır (Eşitlik 7).

$$\tilde{n}_{ij} = \frac{x_{ij}^l}{\max x_{ij}^u}, \frac{x_{ij}^m}{\max x_{ij}^u}, \frac{x_{ij}^u}{\max x_{ij}^u} \quad (7)$$

Adım 5: Standart Sapma ile Tutarlılık Artırma

Her bir uzmanın görüşleri dikkate alınarak normalize edilmiş değerler için standart sapma hesaplanır. Normalize değerler ile standart sapma değerlerinin çarpılması suretiyle verilerdeki tutarsızlıklar minimize edilir (Eşitlik 8).

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{n}_{ij} \times st. dev_j \quad (8)$$

Adım 6: Uzman Görüşlerinin Birleştirilmesi

Karar verme ekibindeki tüm uzmanların görüşleri bu aşamada toplanır. Üçgensel bulanık sayıların alt, orta ve üst değerleri ayrı ayrı toplanarak kümülatif bir değerlendirme elde edilir (Eşitlik 9).

$$\tilde{s}_{ij} = \sum_{j=1}^n \tilde{v}_j \quad (9)$$

Adım 7: Nihai Bulanık Değerlerin Elde Edilmesi

Toplanan uzman görüşleri tek bir çerçevede birleştirilir. Elde edilen toplam bulanık değerler, bireysel bulanık sayıların toplam değerlere oranlanmasıyla işlenir (Eşitlik 10).

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{s_{ij}^l}{\sum_{j=1}^n s_{ij}^u}, \frac{s_{ij}^m}{\sum_{j=1}^n s_{ij}^m}, \frac{s_{ij}^u}{\sum_{j=1}^n s_{ij}^l} \quad (10)$$

Adım 8: Durulaştırma ve Ağırlıkların Belirlenmesi

Son aşamada, hesaplanan bulanık değerler kesin (crisp) sayılara dönüştürülür. Kriterlerin nihai ağırlık veya öncelik değerlerini belirlemek için durulaştırma formülü kullanılır (Eşitlik 11). Bu işlem sonucunda, uzman deneyimlerine dayalı nihai ağırlıklar elde edilmiş olur.

$$w_{jdef} = \frac{w_{ij}^l + 4w_{ij}^m + w_{ij}^u}{6} \quad (11)$$

AHP ve Bulanık SIWEC analizleri sonucunda elde edilen ve tutarlılığı doğrulanan kriter ağırlıkları çalışma alanındaki mekansal uygunluk analizini gerçekleştirmek üzere CBS ortamına aktarılmıştır. Bu aşamada ArcMap yazılımı kullanılarak her bir kriter için oluşturulan raster veri katmanları, AHP ve Bulanık SIWEC'den elde edilen ağırlık katsayıları ile çarpılmıştır. "Ağırlıklı Çakıştırma" tekniği kullanılarak tüm katmanların birleştirilmesi sonucunda nihai uygunluk haritası üretilmiştir.

2.3.3. CBS Tabanlı Birleştirme

Tez çalışmanızın metodoloji bölümünü tamamlamak adına AHP ve Bulanık SIWEC yöntemlerinden elde edilen ağırlıkların mekansal verilerle nasıl işlendiği bu bölümde açıklanmıştır. Uygulama yazılımı olarak mekansal veri yönetimi, analizi ve kartografik sunumu konularındaki yetkinliği nedeniyle Esri ArcGIS 10.6 (ArcMap) platformu tercih edilmiştir.

Mekansal analiz süreci temel olarak dört aşamada gerçekleştirilmiştir:

Veri Tabanının Oluşturulması ve Ön İşleme: Çalışma kapsamında belirlenen kriterlere ait mekansal veriler (vektör ve raster formatında) ilgili kurumlardan temin edilerek sayısal ortama aktarılmıştır. Tüm veri katmanları mekansal çakışmanın doğru sağlanabilmesi için ortak bir koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Vektör formatındaki

veriler analizlerde kullanılmak üzere uygun hücre boyutuna (piksel çözünürlüğüne) sahip raster veri setlerine dönüştürülmüştür.

Yeniden Sınıflandırma (Reclassification): Farklı birimlere (metre, derece, yoğunluk vb.) sahip olan kriter katmanlarını ortak bir değerlendirme ölçeğine getirmek amacıyla "Reclassify" (Yeniden Sınıflandırma) işlemi uygulanmıştır. Bu işlemle, her bir piksel değeri kriterin uygunluk derecesine göre standardize edilmiştir.

Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay) Analizi: AHP ve Bulanık SIWEC yöntemleri ile hesaplanan nihai ağırlık katsayıları CBS ortamındaki ilgili kriter katmanlarına entegre edilmiştir. Uygunluk haritasının üretilmesinde mekansal analiz literatüründe yaygın olarak kullanılan Ağırlıklı Çakıştırma tekniği kullanılmıştır.

Bu teknikte, her bir kriter katmanının (C_i) standardize edilmiş piksel değeri (x_{ij}) ile o kritere ait ağırlık katsayısı (w_i) çarpılarak toplanır.

Uygulanan işlemin matematiksel ifadesi Eşitlik 12’da sunulmuştur.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_{ij} \quad (12)$$

Burada;

S_j : j noktasının (pikselinin) toplam uygunluk puanını,

w_i : i. kriterin AHP veya Bulanık SIWEC ile belirlenen ağırlığını,

x_{ij} i. kriterin j noktasındaki sınıflandırılmış değerini ifade eder.

Sonuç Haritalarının Üretilmesi: Analiz sonucunda, çalışma alanındaki her bir noktanın uygunluk veya risk düzeyini gösteren nihai haritalar üretilmiştir. Elde edilen haritalar farklı sınıf kategorilere ayrılarak karar vericiler için yorumlanabilir hale getirilmiştir.

2.4. Referans Değere Göre Normalizasyon

Bu çalışmada farklı kirleticilere ait IDW yüzeylerinin ortak bir ölçekte karşılaştırılabilmesi ve çoklu kirletici birleşik kirlilik haritalarının üretilmesi için tüm kirletici rasterları referans değerlere göre normalize edilmiştir. Kirleticiler hem birim olarak aynıdır ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) hem de sayısal büyüklük aralıkları birbirinden belirgin biçimde farklıdır (ör. CO ile PM10’un tipik düzeyleri aynı mertebede değildir). Bu nedenle ham konsantrasyonların doğrudan birleştirilmesi bazı kirleticilerin yalnızca sayısal büyüklüğü

nedeniyle birleşik indeksi baskılamasına yol açabilir. Normalizasyon ile her kirletici boyutsuz bir alt-indekse dönüştürülmüş ve tek bir çerçevede yorumlanabilir hale getirilmiştir.

PM10, SO₂, NO₂, O₃ ve CO için referans değerler, sağlık temelli bir karşılaştırma zemini sağladığı için WHO 2021 Küresel Hava Kalitesi Kılavuzu (AQG) kısa dönem kılavuz düzeylerinden alınmıştır. Bu kapsamda; PM10 (24s) 45 µg/m³, SO₂ (24s) 40 µg/m³, NO₂ (24s) 25 µg/m³, O₃ (günlük maksimum 8s) 100 µg/m³ ve CO (24s) 4 mg/m³ kullanılmıştır. CO için hesaplamalarda birim tutarlılığı sağlamak amacıyla 4 mg/m³ = 4000 µg/m³ dönüşümü uygulanmıştır (WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Executive summary, 2021).

NO ve NO_x için WHO 2021 kılavuzunda doğrudan karşılık gelen bir kısa dönem AQG referansı bulunmadığından, bu iki kirletici için veri-temelli bir ölçekleme benimsenmiştir. Bu tezde P95 (95. yüzdeler) değeri referans olarak seçilmiştir. P95 kullanımı iki nedene dayanır: (i) maksimum değere kıyasla uç değerlerin (pik) etkisini sınırlar, (ii) buna rağmen dağılımın “yüksek konsantrasyon” bölgesini temsil ederek NO/NO_x’in diğer kirleticilerle birlikte aynı indeks çerçevesinde yer almasını sağlar. P95, ilgili sezon için istasyon bazında elde edilen dönemsel temsil değerlerinin dağılımından hesaplanmış ve Ref_NO ile Ref_NO_x sabitleri olarak raster hesaplamalarında kullanılmıştır.

Her bir kirletici için normalize edilmiş alt-indeks rasteri Eşitlik 13 ile tanımlanmıştır:

$$I_p = \frac{C_p}{Ref_p} \quad (13)$$

Burada C_p ilgili kirleticiye ait IDW konsantrasyon rasterini, Ref_p ise yukarıda tanımlanan referans değeri (WHO-AQG veya P95) ifade etmektedir. Bu dönüşüm sonucunda elde edilen I_p boyutsuzdur ve yorum açısından doğrudan karşılaştırılabilir: $I_p=1$ referans düzeye karşılık gelir; $I_p>1$ referansın aşıldığını; $I_p<1$ ise referansın altında kaldığını gösterir.

Bu tezde turizm-ulaşım baskısının hava kalitesi üzerindeki olası etkilerini mekânsal ve sezonsal olarak değerlendirebilmek amacıyla Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı istasyonlarında düzenli olarak ölçülen ve hem trafik kaynaklı emisyonları hem de ikincil

fotokimyasal oluşum süreçlerini temsil eden yedi kirletici seçilmiştir: PM10, SO₂, NO₂, NO_x, NO, O₃ ve CO. Seçilen kirleticiler, kıyı turizminin belirgin olduğu çalışma alanında yaz sezonunda artması beklenen karayolu trafiği, havaalanı/terminal hareketliliği, turistik çekim odaklı şehir içi ulaşım ve buna eşlik eden atmosferik dönüşüm süreçlerini birlikte yakalayacak şekilde tasarlanmıştır.

PM10, hem doğal (deniz tuzu aerosolleri, toz taşınımı) hem de antropojenik (trafik kaynaklı yeniden süspansiyon, fren/lastik aşınması, yerel ısınma ve küçük ölçekli yakma) süreçlerden etkilenen halk sağlığı açısından kritik bir partikül göstergesidir. Turizm sezonunda artan araç hareketliliği ve yerel aktivite yoğunluğu nedeniyle PM10'un özellikle kıyı kuşağı ve ana ulaşım koridorlarında mekânsal farklılaşma göstermesi beklenir.

SO₂, fosil yakıt içeriğine bağlı olarak özellikle endüstriyel kaynaklar ve yakma süreçleriyle ilişkili olsa da kıyı kentlerinde liman faaliyetleri ve bölgesel taşınım gibi mekanizmalarla da değişkenlik gösterebilir. Tez bağlamında SO₂ çalışma alanında turizm sezonuna eşlik edebilecek enerji tüketimi artışlarının ve olası deniz ulaşımı etkilerinin izlenmesi açısından tamamlayıcı bir göstergedir. Kükürt dioksit, petrol ve kömür gibi fosil yakıtların ve kükürt filizlerinin yakılması ile soda, sülfirik asit selüloz üretimi sırasında ortaya çıktığı gibi, petrol rafinerileri ile bakır, çinko, kurşun üretim işletmelerinden ve içten patlamalı motorların egzoz gazlarından atmosfere karışmaktadır.

NO ve NO₂, karayolu taşımacılığı ve motorlu taşıt emisyonlarının en doğrudan göstergeleri arasında yer alır. NO (azot monoksit), özellikle egzoz emisyonlarında yüksek paya sahip "birincil" bileşeni temsil eder. Atmosferde oksitlenerek NO₂'ye dönüşür. Bu nedenle NO ve NO₂ birlikte değerlendirildiğinde hem doğrudan trafik etkisi hem de kısa ölçekli kimyasal dönüşüm süreçleri hakkında bilgi sağlar. NO ve onun oksidasyon ürünü olan NO₂ de mikropolarca ve stratosfer reaksiyonları ile üretilen gazlardır. Her ikisi de hava kirletici nitelik taşır. Hidrojen sülfür (H₂S) kıyı alanlar ve volkanlardan oluşur ve süratle kükürtdioksite oksitlenir. Atmosferde kalma zamanı 18 saattir, bundan türeyen SO₂ ise önemli bir kirletici ve aşındırıcı bir gazdır.

Azotun çeşitli oksitleri toksik etkilere sahip gazlardır. Bunlardan nitrozoksit (N₂O), azotmonoksit veya nitrikoksit (NO), azotdioksit veya peroksit (NO₂), azottrioksit (N₂O₃) ve azottetraoksittir (N₂O₄). Bu gazların doğal atmosferdeki miktarı en fazla 0,03 mg/m³ kadardır. Nitroz gazlar daha çok asit fabrikaları tarafından atmosfere salınırlar.

Buralarda görülen kahverengi bulutların rengi NO₂ den ileri gelir. Renksiz bir gaz olan NO çok kolay oksitlenerek NO₂ ye dönüşebilir. Kırmızı kahverenkli, keskin ve nahoş kokulu, kuvvetli zehir etkisinde bir gazdır.

NO_x (NO + NO₂) ise azot oksitlerinin toplamını ifade ederek özellikle ulaşım kaynaklı emisyon yükünün daha kararlı bir temsilini sunar. Tekil NO veya NO₂ ölçümleri meteoroloji ve dönüşüm süreçlerinden daha fazla etkilenebilirken NO_x toplamı çoğu durumda trafik baskısının daha bütüncül bir göstergesi olarak kullanılabilir. Bu tezde NO_x'in ayrıca ele alınması turizm-ulaşım uygunluk düzeyi yüksek bölgelerde (kıyı destinasyonları, transfer düğümleri çevresi, ana yol omurgaları) artması beklenen motorlu taşıt kaynaklı emisyon sinyalini güçlendirmek amacıyla tercih edilmiştir.

O₃ (ozon), doğrudan emisyonla değil, NO_x ve uçucu organik bileşiklerin (VOC) güneşlenme koşullarında fotokimyasal reaksiyonları ile oluşan “ikincil” bir kirleticidir. Bu nedenle O₃, yaz aylarında artan güneşlenme ve sıcaklık koşullarıyla birlikte ulaşımaya bağlı öncül emisyonların atmosfere verdiği tepkiyi yansıtır. Tez kapsamında O₃'ün değerlendirilmesi turizm sezonunda artan hareketlilik ile fotokimyasal kirlilik arasındaki olası bağın sınanabilmesi açısından kritiktir. O₃ esas olarak stratosferde bulunan diğer kısa ömürlü bir gaz bileşendir. Atmosferde bulunma süresi üç ay kadardır. Bu atmosferik katmanda, zararlı UV ışınlarını süzerek çok yararlı bir görev yapan ozon yer yakınlarında kirletici bir faktör olarak etki yapar. Endüstriyel kirletici olarak yer yakınlarında bulunan ozonun bulunma süresi çok daha kısadır.

CO (karbon monoksit), eksik yanmanın tipik bir ürünüdür ve kent içi trafikten güçlü biçimde etkilenir. CO'nun ölçüm setinde yer alması özellikle yoğun araç hareketliliğinin görüldüğü merkezlerde ve ana arterlerde turizm sezonu ile birlikte artabilecek yanma kaynaklı kirlilik bileşeninin izlenmesine olanak sağlar.

Bu yedi kirleticinin birlikte ele alınması tezdeki hedefle uyumlu olarak (i) birincil trafik göstergeleri (NO, NO₂, NO_x, CO), (ii) partikül yükü (PM₁₀), (iii) yakma/enerji ve olası denizcilik etkilerini temsil eden tamamlayıcı bileşen (SO₂) ve (iv) ikincil fotokimyasal kirlilik (O₃) olmak üzere turizm-ulaşım baskısının farklı mekanizmalarını aynı analitik çerçevede değerlendirmeyi mümkün kılar. Bu bütünleşik yaklaşım izleyen adımlarda referans değerlerle normalizasyon ve RMS temelli çoklu kirletici indeks üretimi yoluyla mekânsal karşılaştırmayı güçlendirmektedir.

2.5. Çoklu Kirletici Birleşik Kirlilik Haritaları (RMS)

Bu tezde her kirletici için üretilen normalize alt-indeks rasterları (I_p) tek tek yorumlanabilir olsa da turizm-ulaşım baskısının mekânsal izlerini daha bütüncül okumak için kirleticilerin tek bir birleşik metrikte toplanması gerekir. Bu amaçla, yaz ve kış sezonları ile sezonsal fark için RMS (Root Mean Square; karelerin ortalamasının karekökü) temelli çoklu kirletici birleşik kirlilik haritaları üretilmiştir.

Her kirletici yüzeyi referans değerine Eşitlik 14’de verilen formülasyon ile bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır.

$$I_{p,s} = \frac{C_{p,s}}{Ref_p} \quad (14)$$

Burada p kirletici türünü (PM10, SO₂, NO₂, NO_x, NO, O₃, CO), s ise sezonu (yaz/kış) ifade eder. Ardından her hücre (piksel) için 7 kirleticiye ait alt-indeksler, Eşitlik 15 RMS formülüyle tek bir birleşik değere indirgenmiştir:

$$RMS_s = \sqrt{\frac{\sum_{p=1}^n I_{p,s}^2}{n}} \quad (15)$$

Bu işlem sonucunda:

RMS_{yaz} : yaz sezonunda çoklu kirletici birleşik kirlilik yükünü,

$RMS_{kış}$: kış sezonunda çoklu kirletici birleşik kirlilik yükünü

temsil eden rasterlar elde edilmiştir. Sezonsal fark (Δ) için iki yaygın çıktı vardır.

İşaretleli fark

Yaz sezonunda birleşik kirlilik yükünün artıp artmadığı ve artış/azalışın yönü mekânsal olarak Eşitlik 16 ile ortaya konulmuştur.

$$\Delta MPI = RMS_{yaz} - RMS_{kış} \quad (16)$$

Pozitif değerler yazın birleşik yükün arttığını negatif değerler kışın baskın olduğunu gösterir.

Değişimin büyüklüğü

Sezonsal dalgalanmanın şiddetinin hangi bölgelerde yoğunlaştığı nicel olarak Eşitlik 17’den faydalanılarak haritalanmıştır.

$$RMS_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{p=1}^n (I_{p,yaz} - I_{p,kış})^2}{n}} \quad (17)$$

Bu çıktı, artış/azalış yönünden bağımsız olarak sezonsal değişimin şiddetini haritalar.

RMS seçiminin tez bağlamında üç temel metodolojik gerekçesi vardır:

Turizm-ulaşım etkileri tek bir kirleticide değil çoğu zaman birden fazla kirleticide eşzamanlı artış olarak ortaya çıkar. RMS, bu çoklu sinyali tek bir yüzeyde özetleyerek mekânsal yorumlamayı güçlendirir.

RMS, alt-indeksleri karesini alarak birleştirdiği için I_p değeri büyük olan kirleticilerin katkısını aritmetik ortalamaya göre daha fazla öne çıkarır. Bu, özellikle turizm sezonunda belirli koridorlarda veya çekim alanlarında oluşan yerel piklerin birleşik indekste kaybolmasını azaltır.

Alt-indeksler referans değerlerle normalize edildiği için RMS hesabı kirleticileri birim ve büyüklük farklılıklarından arındırılmış ortak bir zeminde birleştirir. Böylece birleşik harita “CO sayısal olarak büyük olduğu için” değil referans düzeyine göre göreceli yük arttığı için yükselir.

RMS çıktısı boyutsuzdur ve doğrudan yorumlanabilir:

$RMS \approx 1$: kirletici setinin genelinde referans düzey civarı bir yük,

$RMS > 1$: bir veya birden çok kirleticide referans düzeyin aşılması nedeniyle birleşik yükün arttığı alanlar,

$RMS < 1$: referans düzeyin altında kalan birleşik yük.

Hesaplamalarda istasyon kaynaklı eksik kayıtlar ve interpolasyon dışı alanlar NoData olarak korunmuş olup 0’a çevrilmemiştir. Böylece ölçüm yokluğu veya kapsam dışı hücreler birleşik indeksi yapay biçimde düşürmemiştir.

2.6. SUI ile Kirlilik Haritalarının İlişkilendirilmesi

Bu tezde turizm-ulaşım uygunluk düzeyi (Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi, SUI) ile çoklu kirletici kirlilik yükü (Kök Ortalama Kare, RMS) arasındaki ilişki, aynı mekânsal çözünürlük ve koordinat sisteminde eşlenmiş raster katmanlar üzerinden değerlendirilmiştir. Amaç, SUI’nin yüksek olduğu, yani turizm çekiciliği ve hareketlilik potansiyelinin yoğunlaştığı alanlarda birleşik kirlilik düzeylerinin yaz ve kış

dönemlerinde nasıl değiştiğini ve mevsimsel farkın ($\Delta = \text{Yaz} - \text{Kış}$) bu alanlarda sistematik bir örüntü sergileyip sergilemediğini nicel olarak sınamaktır. Bu kapsamda ilişkilendirme üç tamamlayıcı adımda yürütülmüştür. İlk adımda SUI sekiz sınıfa ayrılmış, RMS yaz, RMS kış ve RMS Δ yüzeyleri ArcMap Zonal Statistics aracı ile her sınıf için ortalama değerler üzerinden özetlenmiştir. İkinci adımda, sınıflar arası eğilimler karşılaştırılmış ve uygunluk düzeyi yükseldikçe kirlilik yükünde artış olup olmadığı ile mevsimsel farkın hangi sınıflarda belirginleştiği değerlendirilmiştir. Üçüncü adımda ise raster yüzeylerden rastgele örnekleme noktaları üretilerek SUI ile RMS_{yaz}, RMS_{kış} ve RMS Δ arasındaki ilişki Spearman sıra korelasyon katsayısı ile nicelleştirilmiş, Pearson korelasyon katsayısı duyarlılık analizi kapsamında ikincil olarak raporlanmıştır. Bu bütüncül yaklaşım, yalnızca mekânsal çakışmayı görsel düzeyde göstermeyi değil, turizm sezonu sinyalinin yönünü ve büyüklüğünü sınıf temelli özetler ve korelasyon ölçütleri ile birlikte yorumlamayı hedeflemektedir.

SUI rasteri, yorumlanabilirlik amacıyla önceden tanımlanan sınıflara ayrılmıştır (zonlar). Bu aşamada zon değişkeni olarak SUI sınıfları kullanılmış; değer rasteri (value raster) olarak ise çoklu kirletici birleşik kirlilik haritaları (RMS_{yaz} , $RMS_{kış}$ ve sezonsal bileşenler için RMS_{Δ} veya ΔMPI) seçilmiştir. Böylece her bir SUI sınıfı için kirlilik göstergelerinin merkezi eğilimi ve yayılımı özetlenmiştir.

Zonal Statistics çıktıları olarak sınıf bazında medyan (median) değerler raporlanmıştır. Bu istatistikler SUI düzeyi arttıkça RMS'nin artıp artmadığını görmeye ayrıca aynı SUI sınıfında iller arasında farklılaşma olup olmadığını karşılaştırmaya imkân vermiştir. Zonal özetleme piksel düzeyindeki gürültüyü azaltarak ilişkiyi tez için daha sağlam ve yorumlanabilir bir düzeye taşımıştır.

Zonal Statistics çıktıları, aşağıdaki üç temel karşılaştırma metrik seti üzerinden yorumlanmıştır:

SUI sınıfı-RMS eğilimi (trend analizi): SUI sınıfı yükseldikçe RMS_{yaz} ve/veya $RMS_{kış}$ değerlerinin monoton biçimde artıp artmadığını incelenmiştir. Bu analiz uygunluğu yüksek alanların çoklu kirletici yük bakımından sistematik olarak daha riskli olup olmadığını ortaya koymayı hedefler. Uygulamada sınıf bazında ortalama/medyan RMS değerleri sıralı olarak karşılaştırılmış ve eğilim grafik/tablolara desteklenmiştir.

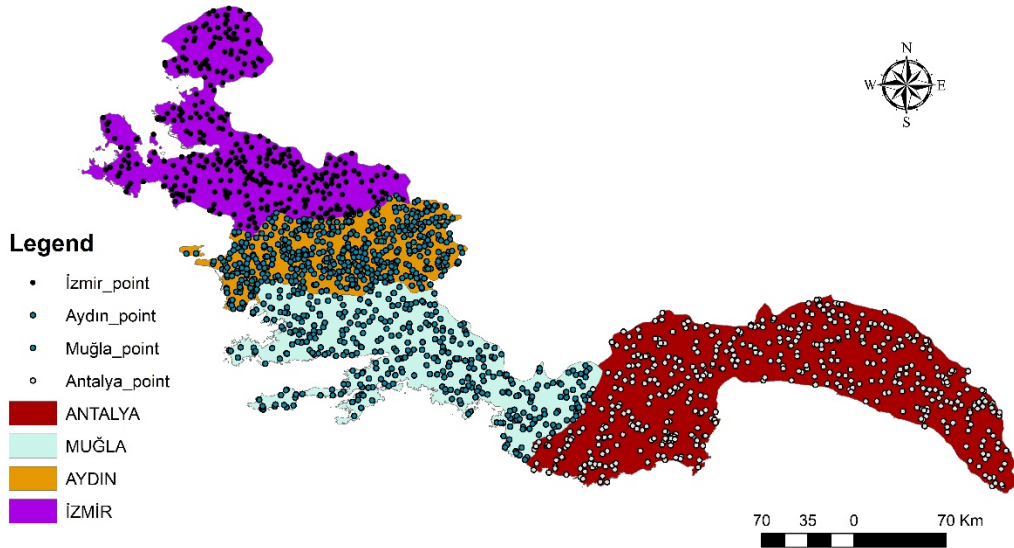
Sezonsal farkın yoğunlaştığı uygunluk sınıfları (Δ göstergeleri): Turizm sezonu ile ilişkili olası ek baskıyı test edebilmek için sezonsal fark göstergeleri (RMS_{Δ} veya

ΔMPI) SUI sınıfları bazında özetlenmiştir. Bu sayede yaz-kış değişiminin hangi uygunluk düzeylerinde yoğunlaştığı (yüksek SUI sınıflarında belirgin artış olup olmadığı) mekânsal olarak belirlenmiştir. Turizm-ulaşım aktivitesinin sezonsal bileşeni ile kirlilik değişimi arasındaki tutarlılık değerlendirilmiştir.

İller arası karşılaştırma (aynı sınıf için RMS ortalamaları): Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir’de aynı SUI sınıfına düşen alanların (RMS) özet istatistikleri karşılaştırılarak benzer uygunluk düzeyine sahip bölgelerde kirlilik yükünün iller arasında nasıl farklılaştığı incelenmiştir. Bu yaklaşım, illerin yalnızca genel ortalamalarla değil benzer turizm-ulaşım uygunluğu koşulları altında karşılaştırılmasını sağlayarak daha adil bir kıyaslama zemini sunar.

2.7. Nokta Örneklem Tabanlı Korelasyon Analizi

SUI ile çoklu kirletici kirlilik göstergeleri arasındaki ilişkinin piksel ölçeğinde sınanabilmesi için her il sınırı içerisinde rastgele nokta örnekleme yaklaşımı uygulanmıştır. Bu amaçla il poligonları içinde homojen biçimde dağıtılmış örnekleme noktaları üretilmiş ve örnekleme tasarımı Şekil 8’de gösterilmiştir. Her bir örnekleme noktasına SUI rasterından ve çoklu kirletici birleşik rasterlarından (RMS_{yaz} , $RMS_{kış}$ ve ΔMPI) değerler Extract Multi Values to Points aracı kullanılarak aktarılmıştır. Böylece her il için, aynı konumsal noktalarda uygunluk düzeyi ve kirlilik göstergelerini birlikte içeren bir tablo veri seti elde edilmiştir.



Şekil 8. Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir il sınırları içerisinde korelasyon analizinde kullanılan rastgele örnekleme noktalarının mekânsal dağılımı

Korelasyon analizinde birincil ölçüt olarak Spearman sıra korelasyon katsayısı (ρ) kullanılmıştır. Bunun temel gerekçesi, SUI'nin ağırlıklı birleşimle elde edilen normalize bir indeks olması ve RMS ile ΔMPI dağılımlarının çoğu durumda normal dağılmaması veya ilişkinin kesin olarak lineer olmamasıdır. Spearman yaklaşımı, değişkenler arasındaki ilişkinin lineer olmasını zorunlu kılmadan monoton eğilimleri yakalayabildiği için tez bağlamında daha sağlam bir ilişki ölçütü sunmaktadır. Ek olarak, ilişki biçiminin lineerliğe yakın olup olmadığını kontrol etmek amacıyla Pearson korelasyon katsayısı (r) duyarlılık analizi kapsamında ikincil olarak raporlanmıştır. Analizler il bazında ayrı ayrı yürütülmüş ve ilişkiler hesaplanarak turizm sezonunda uygunluk düzeyi yüksek alanlarda kirlilik yükünün artış gösterip göstermediği nicel olarak değerlendirilmiştir.

2.7.1. Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı (ρ_s)

Spearman sıra korelasyon katsayısı iki kesikli değişken arasındaki ilişkinin derecesini bulmak için kullanılan bir ölçüdür. Bu katsayı -1 ile +1 arasında değişken değerler almaktadır. İlişki olmadığı durumda katsayı sıfıra yaklaşırken, kuvvetli bir ilişki olması durumunda bulunan değer mutlak değer olarak 1'e yaklaşmaktadır. İlişki katsayısının işaretinin pozitif olması aynı yönlü ilişkiyi yani değişkenlerden biri artarken (azalırken), diğ erinin de arttığını (azaldığını) göstermektedir. Aynı şekilde değişkenlerden birinin aldığı değer artıyorken diğ eri azalıyorsa ters yönlü bir ilişkiden söz edilmekte bu durumda ilişki katsayısının işareti negatif olmaktadır.

Spearman sıra korelasyonu, X ve Y değişkenlerinin sıra dönüşümleri $R(X)$ ve $R(Y)$ kullanılarak, sıralar arasındaki Pearson korelasyonu Eşitlik 18'de tanımlanmıştır (J & S, 2018; Y. Wu vd., 2018).

$$\rho_s = \text{corr}(R(x), R(Y)) = \frac{\text{cov}(R(X), R(Y))}{\sigma_{R(X)} \sigma_{R(Y)}} \quad (18)$$

Bağ (tie) bulunmadığı durumda Spearman katsayısı sıra farkları üzerinden aşağıdaki kapalı form ile de Eşitlik 19'daki gibi ifade edilebilir.

$$\rho_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (19)$$

Burada (n) örneklem büyüklüğünü, $d_i = R(X_i) - R(Y)$ ise (i). gözleme ait sıra farkını göstermektedir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölüm, Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir illerinde turizm-ulaşım kaynaklı mekânsal baskıyı temsil etmek üzere geliştirilen SUI ile çoklu kirletici hava kirliliği göstergelerinden elde edilen bulguları bütüncül bir çerçevede sunmaktadır. Öncelikle, kıyısal çekicilik ve rekreasyon yoğunluğu, konaklama sektörü ölçeği ve turizm talep baskısı, ulaşım ağı erişilebilirliği ve hareketlilik potansiyeli ile alansal maruziyet/topoğrafik modülasyon bileşenlerini kapsayan 11 alt kriterli yapının ArcMap ortamında ortak ızgara üzerinde üretilmesi ve 0-1 aralığında standardize edilmesinin ardından kriter ağırlıklarının AHP ve Bulanık SIWEC yaklaşımlarıyla belirlenmesi ve ağırlıklı doğrusal kombinasyon ile SUI haritalarına dönüştürülmesi sonucunda ortaya çıkan mekânsal örüntüler raporlanacaktır. Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı verilerinden türetilen kirletici yüzeyleri (PM10, SO₂, NO₂, NO_x, NO, O₃, CO) için yaz ve kış dönemlerini temsil eden medyan değerlerden üretilen IDW rasterları referans değerlere göre normalize edilerek boyutsuz alt-indekslere dönüştürülmüştür. Bu alt-indeksler RMS yaklaşımıyla birleştirilerek RMS_{yaz} , $RMS_{kış}$ ve sezonsal farkı temsil eden ΔMPI (Multi-Pollutant Index) haritaları elde edilmiştir. Son olarak SUI'nin sınıf-temelli zonal istatistikleri ve rastgele nokta örnekleme tabanlı korelasyon analizi (Spearman ρ ; duyarlılık olarak Pearson r) aracılığıyla uygunluk düzeyi arttıkça birleşik kirlilik yükünün nasıl değiştiği yaz-kış farkının hangi uygunluk sınıflarında yoğunlaştığı ve bu ilişkinin iller arasında nasıl farklılaştığı nicel bulgular üzerinden değerlendirilerek turizm-ulaşım baskısının hava kalitesi üzerindeki olası etkisine ilişkin kanıtlar sunulacaktır.

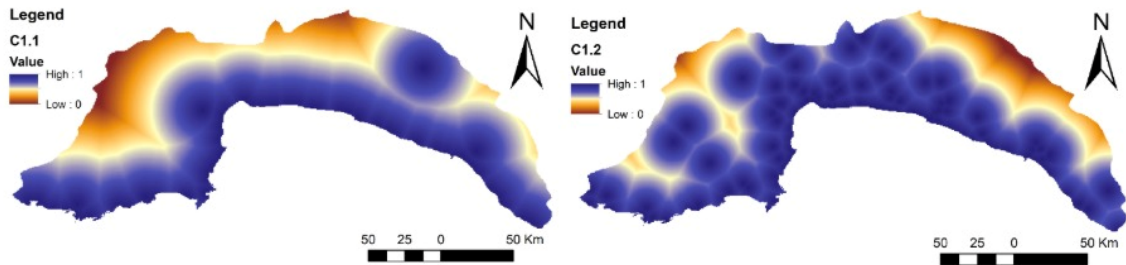
3.1. Turizm-Ulaşım Uygunluk Haritası (SUI) Bulguları

Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir için geliştirilen SUI bileşenlerinin ve nihai uygunluk yüzeylerinin mekânsal desenleri ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Analiz, SUI'nin kavramsal çerçevesini oluşturan dört ana kriter altında yapılandırılmıştır: C1 Kıyısal Turizm Çekiciliği ve Rekreasyon Yoğunluğu, C2 Konaklama Sektörü Ölçeği ve Turizm Talep Baskısı, C3 Ulaşım Ağı Erişilebilirliği ve Hareketlilik Potansiyeli ve C4 Alansal Maruziyet ve Topoğrafik Modülasyon. Her bir alt kriter için üretilen raster yüzeyleri iller bazında ortak ızgara üzerinde hesaplanmış ve 0-1 aralığında normalize edilerek karşılaştırılabilir hale getirilmiştir. Bu nedenle sunulan tematik haritalar mutlak

büyükliklerden ziyade görelî mekânsal yoğunlaşmayı ve kriterlerin il içi dağılımını göstermektedir.

Bulguların sunumunda okunabilirliği artırmak amacıyla her ana kriterin alt bileşenleri (örn. C1.1-C1.2) aynı figür altında bir araya getirilmektedir. Böylece ilgili temanın (kıyısallık-POI yoğunluğu, konaklama-talep baskısı, ağ erişilebilirliği-düğüm yapısı, nüfus-topoğrafya) il ölçeğinde nasıl bir örüntü sergilediği bütüncül olarak değerlendirilmektedir. Her figür için, (i) yüksek uygunluk alanlarının kıyı kuşağı, ana ulaşım aksları, havaalanı/terminal çevreleri ve kentsel çekim merkezleriyle çakışma düzeyi; (ii) uygunluk alanlarının homojen mi yoksa belirgin kümelenmeler şeklinde mi oluştuğu; (iii) iller arası karşılaştırmada hangi ilin daha geniş/yüksek uygunluk bantlarına sahip olduğu ve özellikle Antalya-Muğla kıyı aksında süreklilik olup olmadığı yorumlanacaktır. Bu alt kriter haritalarının ardından, AHP ve Bulanık SIWEC ağırlıklarıyla üretilen nihai SUI yüzeyleri üzerinden illerin turizm-ulaşım baskısı açısından öne çıkan alt bölgeleri özetlenerek, bir sonraki aşamada kirlilik göstergeleriyle kurulacak ilişkilendirme için mekânsal bağlam sağlanacaktır.

Şekil 9'de sunulan C1.1 kıyı yakınlığı katmanı, Antalya'da turizm çekiminin beklenen biçimde kıyı kuşağına yakın alanlarda yoğunlaştığını ve iç kesimlere doğru uygunluk düzeyinin azaldığını göstermektedir. Aynı şekilde C1.2 POI yoğunluğu yüzeyi ise turistik/rekreasyonel çekimlerin belirli odaklarda kümелendiğini ve bu kümelenmelerin çoğunlukla kıyı bandı ile kentsel çekim bölgeleri etrafında belirginleştiğini işaret etmektedir. Bu iki alt kriter birlikte değerlendirildiğinde, Antalya'da turizm çekiciliğinin kıyısallık ile noktasal odak kümelenmesi dinamiklerini eş zamanlı olarak yansıttığı görülmektedir.

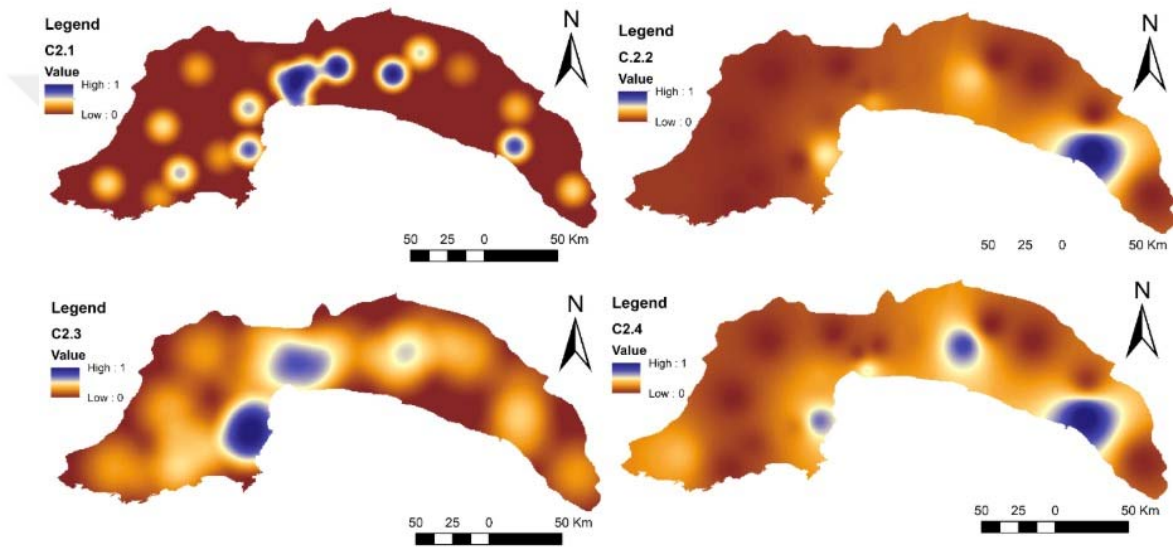


Şekil 9. Antalya ili için C1 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri

Şekil 10'deki C2.1 konaklama arz yoğunluğu ve C2.4 otel sayısı katmanları, konaklama sektörünün il genelinde homojen dağılmadığını aksine turizm aksları üzerinde

mekânsal olarak yoğunlaşan çekirdek alanlar oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu desen, turizm faaliyetlerinin mekânsal taşıyıcısı olan konaklama bileşeninin SUI’de neden ayrı ve güçlü bir tema olarak ele alındığını göstermektedir.

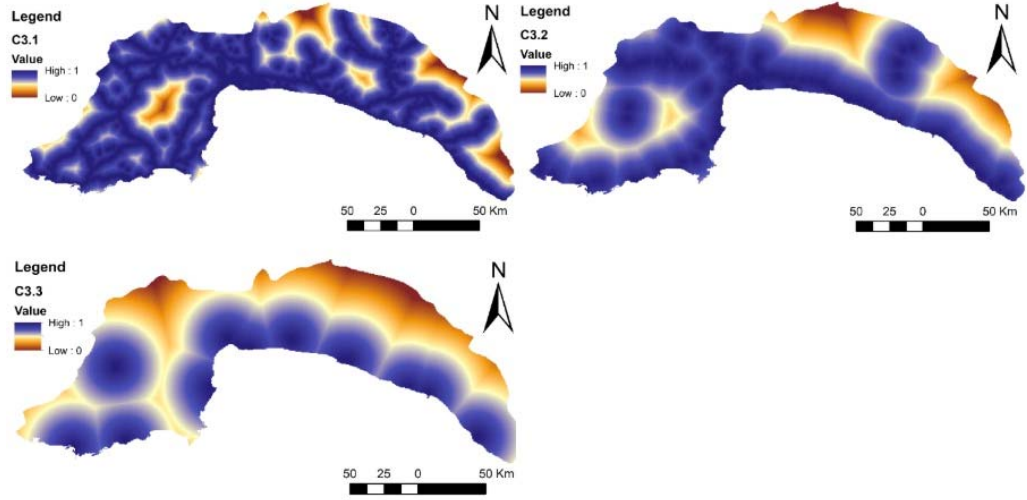
Aynı figürdeki C2.2 turist geliş hacmi daha geniş ölçekli (ilçe/odak) bir talep göstergesi olarak yüksek talep baskısının belirli alt bölgelerde belirginleştiğini C2.3 ortalama konaklama süresi ise talebin yalnızca büyüklüğünü değil zamansal yoğunluğunu/sürekliliğini de mekânsal modele dahil ettiğini göstermektedir. Dolayısıyla C2 grubu, Antalya’da turizm baskısının hem arz (tesis/otel yoğunluğu) hem de talep (geliş ve kalış dinamiği) boyutlarını birlikte yakalamaktadır.



Şekil 10. Antalya ili için C2 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri

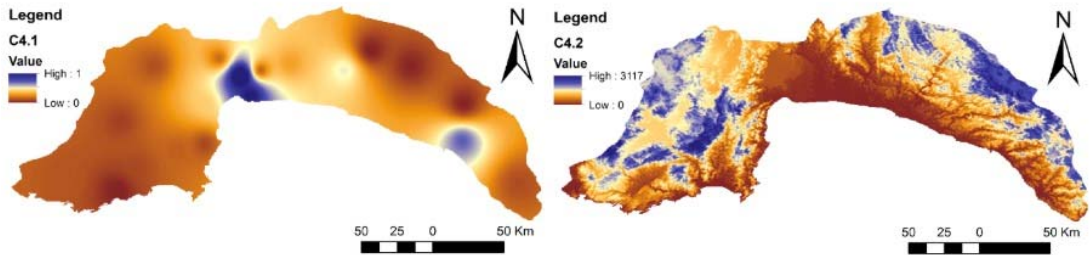
Şekil 11’te yer alan C3.1 karayolu ağ yoğunluğu katmanı hareketliliğin taşındığı ana omurgaların ve erişilebilirliği yüksek koridorların mekânsal izlerini ortaya koyarken C3.2 yol kavşak/düğüm yoğunluğu ağ topolojisinin daha “merkezî/bağlantısal” noktalarında kümelenen düğümleşmeyi yansıtmaktadır.

C3.3 aktarma düğümlerine erişilebilirlik yüzeyi ise mesafe-temelli yapısı gereği aktarma merkezleri çevresinde etki alanları oluşturmakta ve bu etki alanlarının kıyı bandı ile kentsel odaklarda daha güçlü bir erişim örüntüsü ürettiği görülmektedir. Bu bulgular, Antalya’da turizm çekim alanlarının yalnızca kıyısız çekicilikle değil aynı zamanda ağ erişilebilirliği ve transfer altyapısı ile birlikte şekillendiğine işaret etmektedir. Şekil 12’te verilen C4.1 nüfus yoğunluğu katmanı potansiyel maruziyetin ve kentsel aktivite yoğunluğunun belirli odaklarda toplandığını göstermektedir.



Şekil 11. Antalya ili için C3 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri

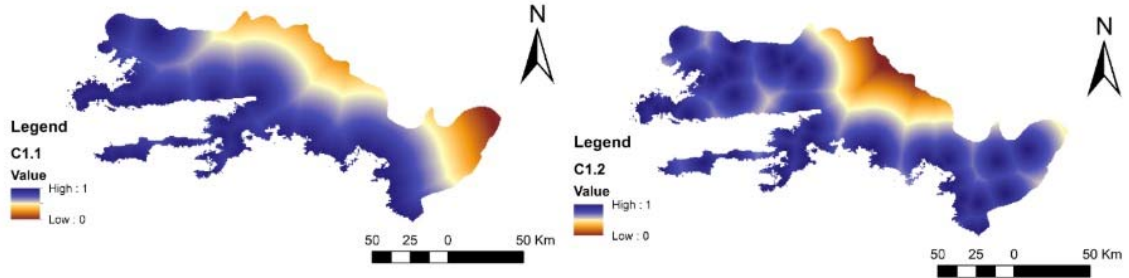
Bu, turizm sezonunda artan hareketlilik ile birlikte hava kalitesi üzerindeki baskının insan etkinliği boyutunu modele dahil etmektedir. Aynı figürdeki C4.2 topoğrafik yükseklik dağılımı ise Antalya’da kıyı ovaları ile iç kesimlerdeki yüksek topoğrafya arasındaki belirgin karşıtlığı ortaya koymaktadır. Bu topoğrafik bileşen uygunluk modelinde fiziksel çevrenin mekânsal modülasyonunu temsil ederek hem erişilebilirliğe hem de kirleticilerin birikim/dağılım dinamiklerine dolaylı bir mekansal bağlam sunmaktadır.



Şekil 12. Antalya ili için C4 alt kriterlerine ait raster yüzeyleri

Şekil 13’te sunulan C1.1 kıyı yakınlığı yüzeyi, Muğla’da uygunluk deseninin belirgin biçimde kıyı kuşağı boyunca yoğunlaştığını ve iç kesimlere doğru kademeli olarak zayıfladığını göstermektedir. Bu bulgu, ilin güçlü kıyı turizmi karakteri ve kıyı çizgisinin parçalı/çok girintili çıkıntılı yapısı nedeniyle kıyı etkisinin geniş bir alana yayıldığını işaret etmektedir. Aynı şekilde yer alan C1.2 POI yoğunluğu katmanı ise kıyı boyunca süreklilik gösteren bir banttı zıyade, turistik çekimlerin belirli odaklarda

kümelendiğini ve bu kümelennmelerin mekânsal olarak seçici bir çekim örüntüsü ürettiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla C1 grubu, Muğla’da turizm çekiciliğinin hem “kıyasal süreklilik” hem de “odak kümelennmesi” bileşenleri üzerinden temsil edildiğini göstermektedir.



Şekil 13. Muğla ili için C1 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri

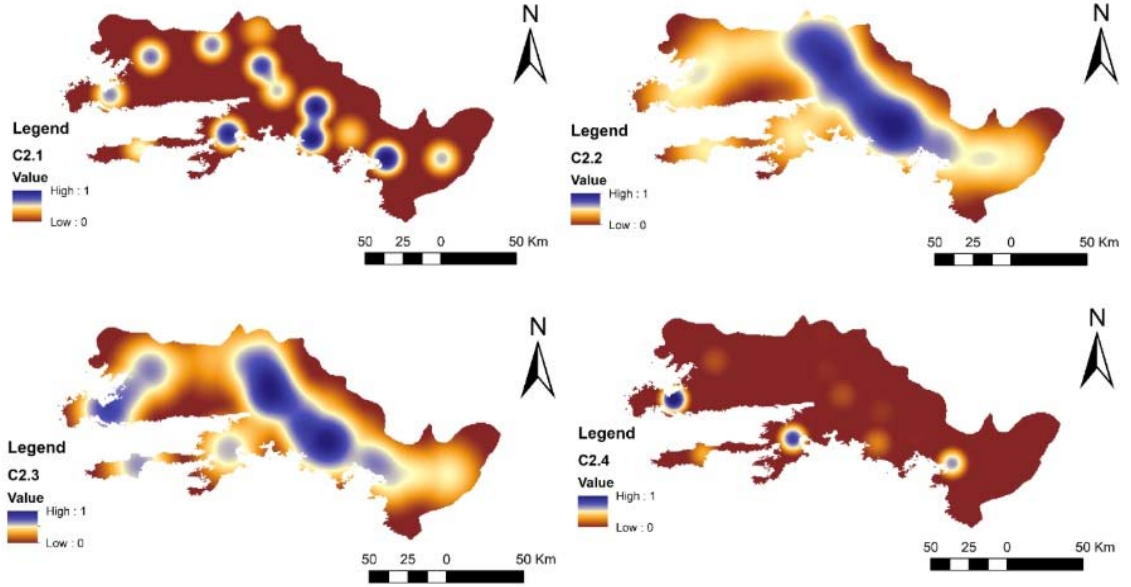
Şekil 14’da verilen C2.1 konaklama arz yoğunluğu ve C2.4 otel sayısı katmanları konaklama bileşeninin il geneline homojen dağılmadığını aksine turizm faaliyetlerinin yoğunlaştığı alt bölgelerde noktasal/çekirdek kümelennmeler oluşturduğunu göstermektedir.

Bu durum, SUI modelinde konaklama kriterlerinin ayrı bileşenler olarak ele alınmasının gerekçesini güçlendirmektedir. Aynı figürdeki C2.2 turist geliş hacmi ve C2.3 ortalama konaklama süresi yüzeyleri ise talep baskısının yalnızca mekânsal yoğunlaşma ile sınırlı olmadığını belirli alt bölgelerde daha yaygın ölçekli bir baskı alanı oluşturabildiğini ve konaklama süresi üzerinden “zamansal süreklilik” boyutunu da modele taşıdığını göstermektedir.

Böylece C2 grubu, Muğla’da turizmin hem arz kapasitesi hem de talep dinamiği açısından “yoğunlaşan çekirdekler + genişleyen etki alanları” şeklinde iki katmanlı bir örüntü sergilediğine işaret etmektedir.

Şekil 15’de yer alan C3.1 karayolu ağ yoğunluğu rasteri ilin ulaşım altyapısının belirli koridorlar ve bağlantı omurgaları boyunca güçlendiğini buna karşılık ağın seyrekleştiği alanlarda erişilebilirlik potansiyelinin daha düşük kaldığını göstermektedir.

C3.2 kavşak/düğüm yoğunluğu katmanı ise ağın bağlantısallığının belirli odaklarda yoğunlaştığını, bu odakların potansiyel trafik dağıtımını ve hareketlilik üretimi bakımından kritik mekânlar olduğunu ortaya koymaktadır.

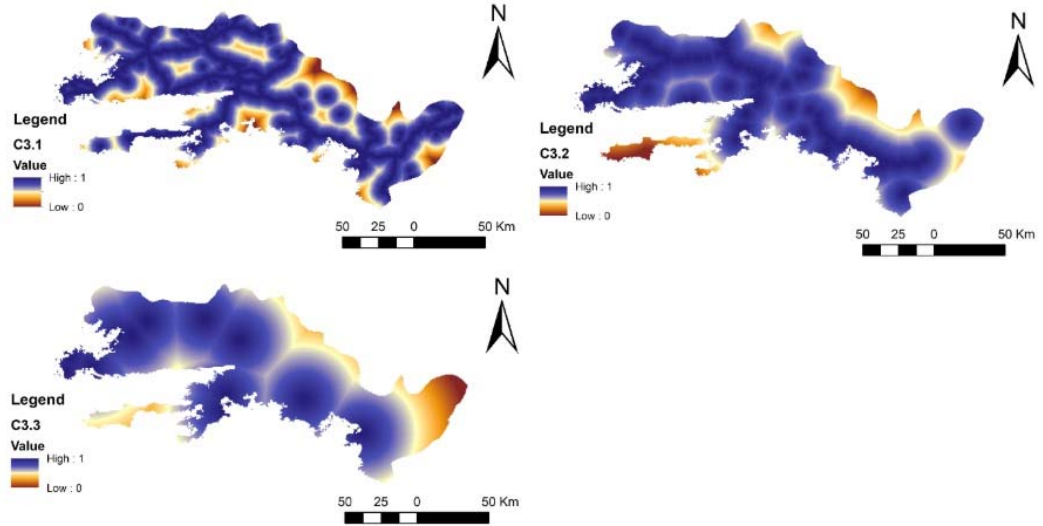


Şekil 14. Muğla ili için C2 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri

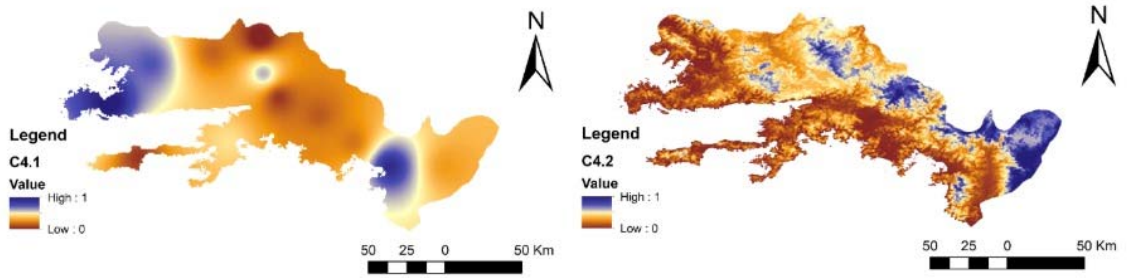
C3.3 aktarma düğümlerine erişilebilirlik yüzeyi mesafe-temelli doğası gereği aktarma noktaları çevresinde belirgin erişilebilirlik alanları üretmekte ve bu alanların turizm çekim bölgeleriyle çakışma potansiyelini göstermektedir. Genel olarak C3 sonuçları, Muğla’da turizm baskısını taşıyan hareketlilik potansiyelinin “ağ koridorları + düğüm odakları” üzerinden şekillendiğini göstermektedir.

Şekil 16’de sunulan C4.1 nüfus yoğunluğu katmanı potansiyel maruziyetin belirli yerleşim odaklarında yoğunlaştığını bu odakların turizm sezonunda artabilecek günlük hareketlilikle birlikte kentsel aktivite yükünü artırabilecek alanlar olduğunu göstermektedir. Aynı figürde verilen C4.2 topoğrafik yükseklik yüzeyi ise kıyı kuşağı ile iç kesimler arasında belirgin bir topoğrafik farklılaşma bulunduğunu ve fiziksel çevrenin mekânsal yapısının (eğim/yükseklik düzeni) uygunluk bileşenlerini dolaylı biçimde modüle edebileceğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle C4 grubu, SUI modeline hem nüfus hem de fiziksel çevre bağlamını (topografya) birlikte entegre ederek nihai uygunluk yüzeyinin daha gerçekçi bir mekânsal çerçevede değerlendirilmesine katkı sunmaktadır.

Şekil 17’de sunulan C1.1 kıyı yakınlığı katmanı Aydın’da uygunluk deseninin belirgin biçimde kıyı kesiminde yoğunlaştığını ve iç kesimlere doğru kademeli biçimde azaldığını göstermektedir. Bu desen, ilin kıyı şeridinin turizm çekimi bakımından birincil omurga niteliğinde olduğunu ortaya koymaktadır.

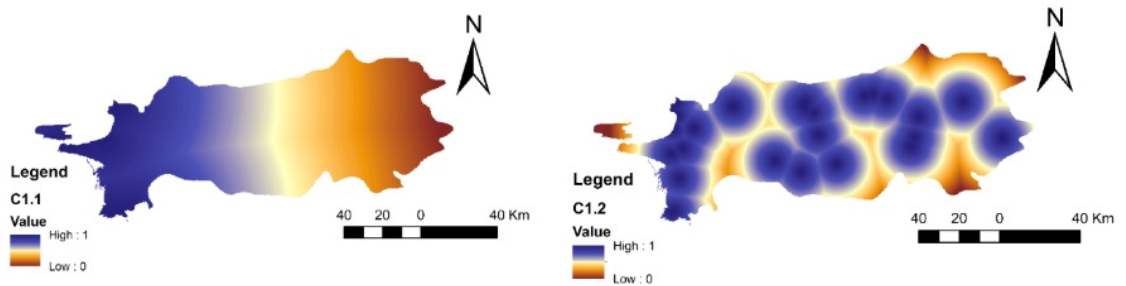


Şekil 15. Muğla ili için C3 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri



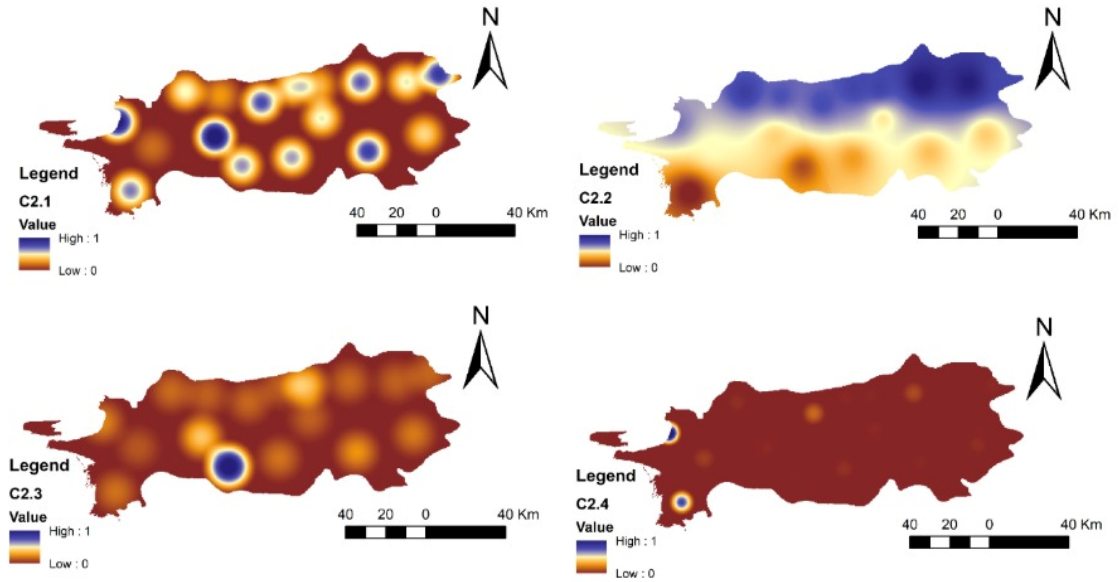
Şekil 16. Muğla ili için C4 alt kriterlerine ait raster yüzeyleri

Aynı figürde yer alan C1.2 POI yoğunluğu yüzeyi ise turistik/rekreasyon çekimlerin il geneline yayılmak yerine belirli odaklarda kümelenen bir yapı sergilediğini göstermektedir. Bu iki alt kriter birlikte değerlendirildiğinde, Aydın’da turizm çekiciliğinin “kıyı bandı boyunca süreklilik” ve “odak kümelenmesi” bileşenleriyle temsil edildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 17. Aydın ili için C1 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri

Şekil 18’da verilen C2.1 konaklama arz yoğunluğu yüzeyi konaklama altyapısının il genelinde homojen olmadığını turizm faaliyetinin güçlü olduğu alanlarda çekirdek kümelenmeler oluşturduğunu göstermektedir. Buna paralel biçimde C2.4 otel sayısı katmanı da otel birimlerinin belirli odaklarda yoğunlaşarak konaklama sektörünün mekânsal olarak seçici bir dağılım sergilediğini ortaya koymaktadır. C2.2 turist geliş hacmi yüzeyinde talep baskısının daha geniş ölçekli bir gradyan şeklinde temsil edilmesi Aydın’da turizm talebinin yalnızca kıyı şeridiyle sınırlı kalmayıp belirli alt bölgelerde alan etkisi oluşturduğunu düşündürmektedir. C2.3 ortalama konaklama süresi ise talebin zaman boyutunu yansıtarak turizm baskısının kısa süreli yoğunluk ile daha süregelen konaklama bileşenleri arasındaki farklılaşmasını mekânsal olarak görünür kılmaktadır. Genel olarak C2 çıktıları Aydın’da konaklama ve talep göstergelerinin ortak biçimde belirgin odaklara yığılma eğilimini doğrulamaktadır.

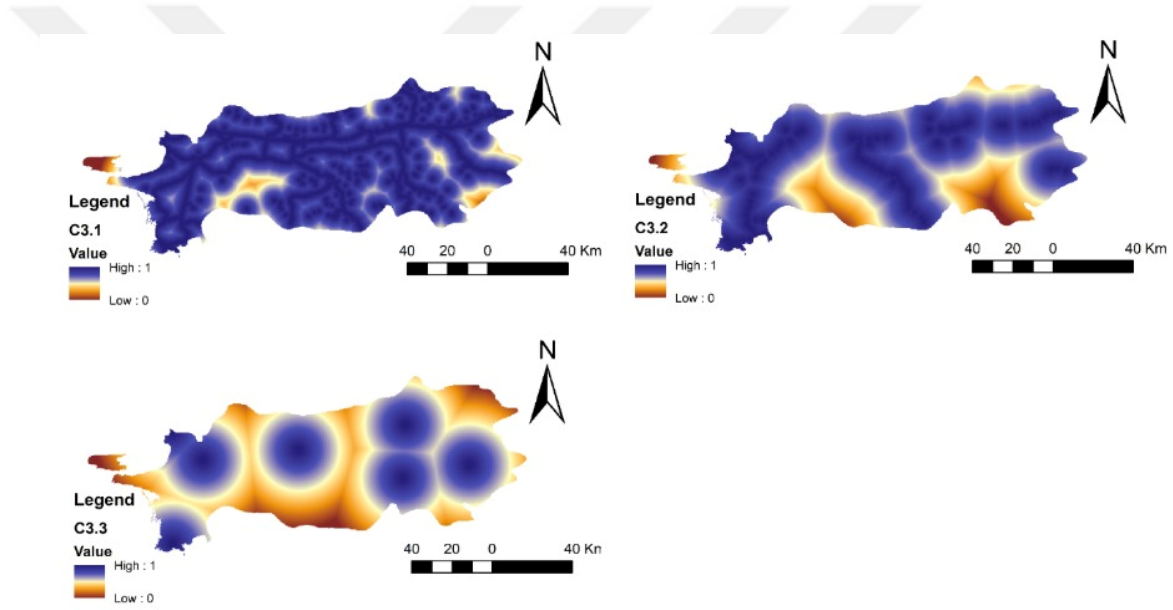


Şekil 18. Aydın ili için C2 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri

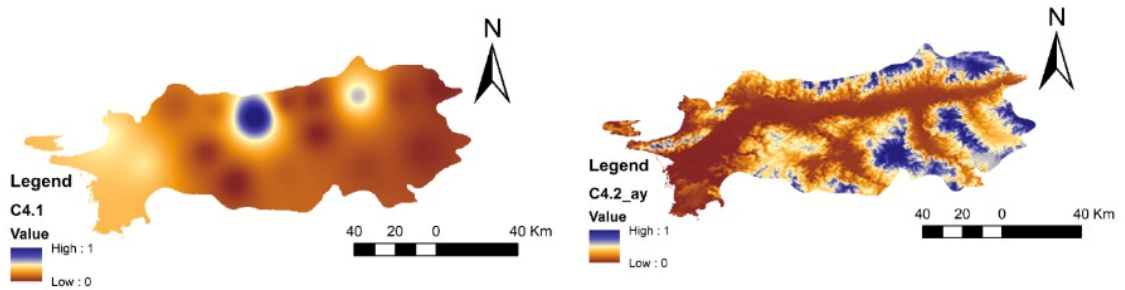
Şekil 19’de sunulan C3.1 karayolu ağ yoğunluğu katmanı erişilebilirliğin belirli ulaşım koridorları boyunca güçlendiğini ve ağ yoğunluğunun iç kesimlerde farklılaşan bir örüntü sergilediğini göstermektedir. C3.2 kavşak/düğüm yoğunluğu yüzeyi ağı bağlantısallığının bazı alt bölgelerde daha belirgin olduğunu ve hareketlilik üretiminin/dağılımının bu düğüm alanlarında daha yüksek olabileceğini işaret etmektedir. C3.3 aktarma düğümlerine erişilebilirlik katmanında ise aktarma merkezlerinin çevresinde mesafe temelli etki alanlarının oluştuğu ve bu alanların turizm çekim odaklarıyla kesişme potansiyelinin bulunduğu görülmektedir. Bu bulgular, Aydın’da

turizm çekimlerinin yalnızca kıyısal faktörlerle değil aynı zamanda ağ erişilebilirliği ve transfer noktaları üzerinden de şekillendiğine işaret etmektedir.

Şekil 20’de verilen C4.1 nüfus yoğunluğu yüzeyi maruziyetin ve insan etkinliği yoğunluğunun belirli yerleşim odaklarında toplandığını göstermektedir. Bu durum turizm sezonunda artan hareketlilikle birlikte hava kalitesi üzerinde etkisi olabilecek potansiyel maruziyet alanlarının nerelerde yoğunlaştığını ortaya koyar. Aynı şekilde sunulan C4.2 topoğrafik yükseklik dağılımı ise Aydın’da kıyı kesimleri ile iç kesimler arasında belirgin bir topoğrafik ayrım bulunduğunu göstermektedir. Fiziksel çevrenin, erişilebilirlik ve yerleşim örüntülerini dolaylı biçimde modüle edebileceğine işaret etmektedir. Dolayısıyla C4 grubu SUI’nin yalnızca turizm-ulaşım bileşenlerine değil, aynı zamanda maruziyet ve fiziksel çevre bağlamına da dayandırıldığını göstermektedir.

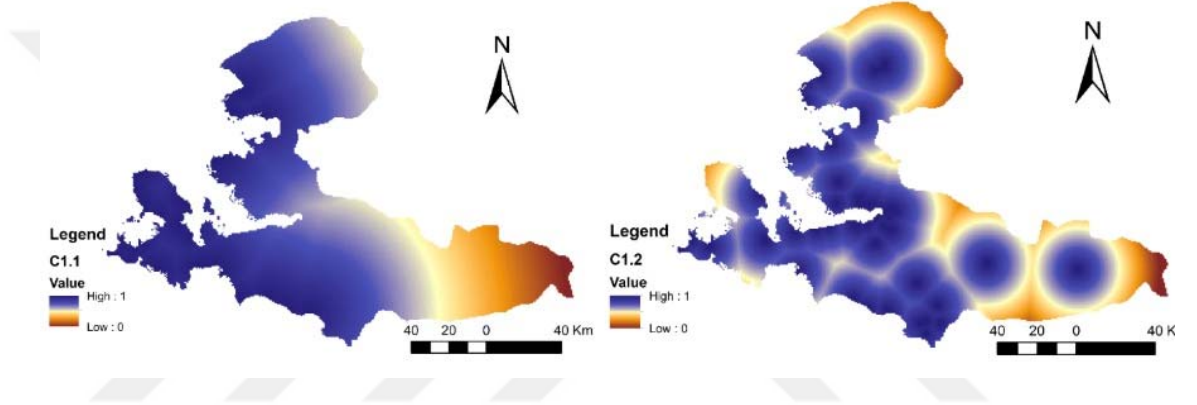


Şekil 19. Aydın ili için C3 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri



Şekil 20. Aydın ili için C4 alt kriterlerine ait raster yüzeyleri

Şekil 21’de sunulan C1.1 kıyı yakınlığı katmanı İzmir’de uygunluk deseninin belirgin biçimde kıyı kuşağı boyunca yoğunlaştığını ve iç kesimlere doğru uygunluk düzeyinin zayıfladığını göstermektedir. Bununla birlikte İzmir’in kıyı çizgisinin çok parçalı ve geniş bir coğrafi yayılım göstermesi kıyısallık etkisinin farklı alt bölgelerde ayrı ayrı “bantlar” üretmesine neden olmaktadır. Aynı şekilde yer alan C1.2 POI yoğunluğu yüzeyi turistik ve rekreasyonel çekimlerin kıyı bandı boyunca tam bir süreklilikten ziyade çok odaklı (multi-nodal) kümelenme biçiminde dağıldığını ve belirli alt bölgelerde çekim merkezlerinin güçlendiğini ortaya koymaktadır. Bu iki alt kriter birlikte ele alındığında İzmir’de turizm çekiciliğinin kıyısallık ile çok çekirdekli çekim alanlarının bileşkesi şeklinde örgütlendiği anlaşılmaktadır.

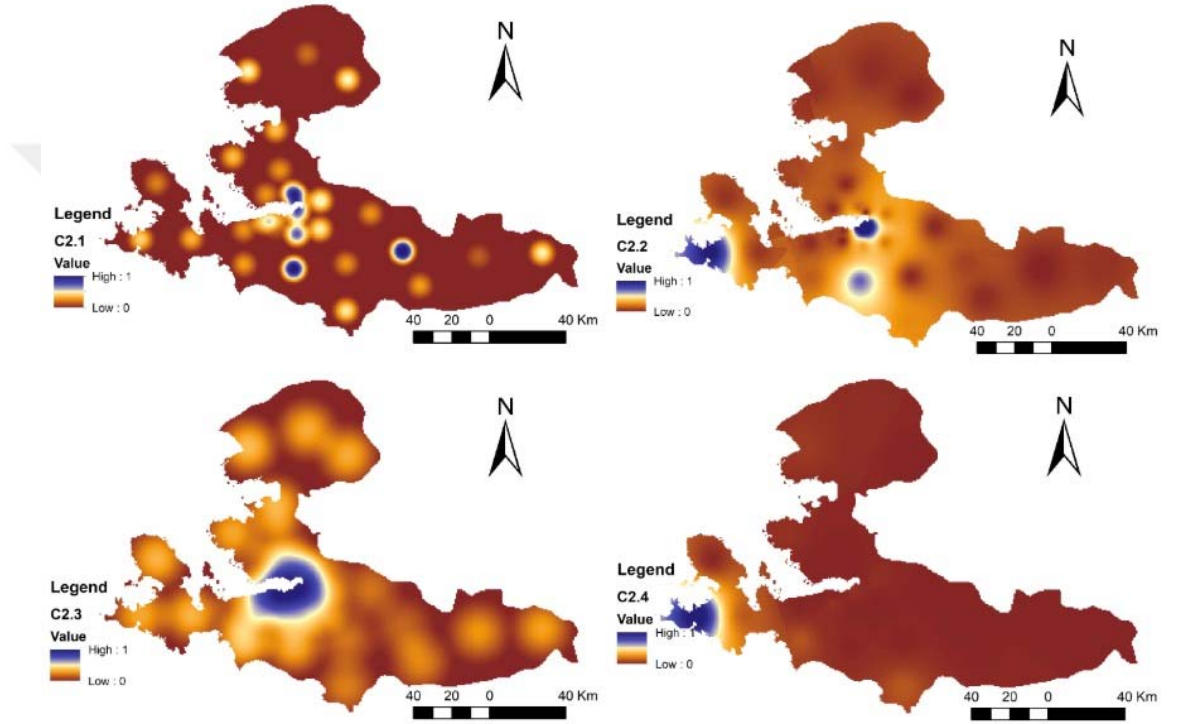


Şekil 21. İzmir ili için C1 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri

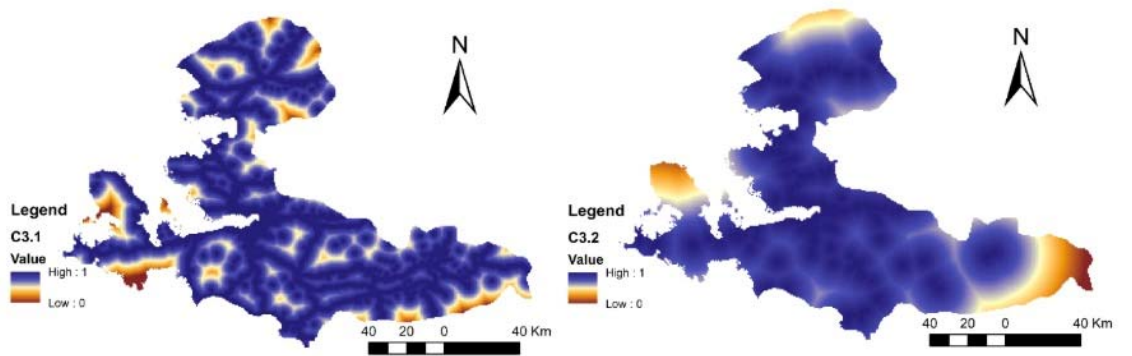
Şekil 22’de verilen C2.1 konaklama arz yoğunluğu yüzeyi konaklama altyapısının il genelinde homojen olmadığını aksine belirli turizm odaklarında çekirdek kümelenmeler oluşturduğunu göstermektedir. C2.4 otel sayısı katmanı ise otel birimlerinin dağılımının konaklama arzına benzer biçimde odaklarda yoğunlaştığını ancak bazı alanlarda daha seçici bir örüntü sergileyebildiğini işaret etmektedir. C2.2 turist geliş hacmi ve C2.3 ortalama konaklama süresi katmanları birlikte değerlendirildiğinde İzmir’de turizm talebinin yalnızca konaklama kümeleriyle sınırlı kalmayıp belirli alt bölgelerde genişleyen bir etki alanı oluşturduğu, buna ek olarak kalış süresi göstergesinin turizm baskısının nicel büyüklük kadar zamansal süreklilik boyutunu da yansıttığı görülmektedir. Bu sonuçlar, İzmir’de konaklama ve talep göstergelerinin çok merkezli bir yapıda fakat belirgin odaklarda yoğunlaştığını doğrulamaktadır.

Şekil 23’de sunulan C3.1 karayolu ağ yoğunluğu rasteri İzmir’de erişilebilirliğin ve hareketlilik taşıma kapasitesinin belirli ağ koridorları boyunca güçlendiğini göstermektedir. Bunun özellikle kıyı boyunca uzanan ve iç kesimlerle bağlantı kuran

hatlarda belirginleştğini göstermektedir. C3.2 kavşak/düğüm yoğunluğu katmanı ağ bağlantısallığının bazı alt bölgelerde daha yüksek olduğunu ve potansiyel trafik dağıtımının bu düğüm alanlarında yoğunlaşabileceğini ortaya koymaktadır. C3.3 aktarma düğümlerine erişilebilirlik yüzeyinde ise aktarma merkezleri çevresinde oluşan mesafe-temelli etki alanları turizm çekim odaklarının ulaşım ile desteklenme derecesini mekânsal olarak görünür kılmaktadır. Genel olarak C3 bulguları İzmir’de turizm-ulaşım etkileşiminin “ağ koridorları + düğüm merkezleri + transfer erişimi” bileşeniyle çok boyutlu biçimde temsil edildiğini göstermektedir.

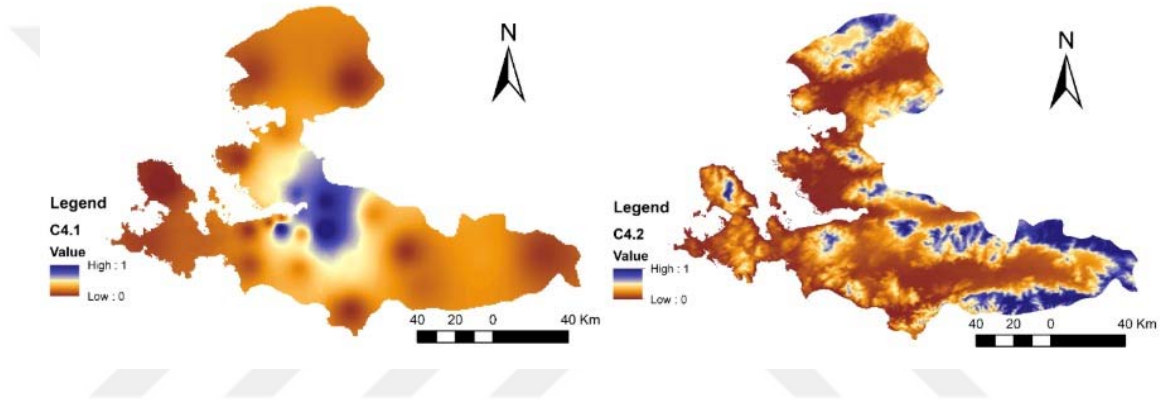


Şekil 22. İzmir ili için C2 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri



Şekil 23. İzmir ili için C3 alt kriterlerine ait 0-1 normalize raster yüzeyleri

Şekil 24’de yer alan C4.1 nüfus yoğunluğu katmanı potansiyel maruziyetin ve kentsel aktivite yoğunluğunun belirli merkezlerde güçlü biçimde toplandığını buna karşılık diğer alanlarda daha düşük düzeylerde seyrettiğini göstermektedir. Bu desen, turizm sezonunda artabilecek hareketlilikle birlikte insan etkinliği kaynaklı baskının hangi bölgelerde yoğunlaşabileceğine ilişkin bir arka plan sunmaktadır. Aynı şekilde verilen C4.2 topoğrafik yükseklik dağılımı İzmir’de kıyı şeridi ve iç kesimler arasında belirgin topoğrafik farklılaşmanın bulunduğunu kanıtlamaktadır. Fiziksel çevrenin yerleşim ve erişilebilirlik örüntülerini dolaylı biçimde modüle edebileceğini ortaya koymaktadır. Böylece C4 grubu, SUI modelinin yalnızca turizm ve ulaşım göstergelerine değil aynı zamanda maruziyet ve topoğrafik bağlama da dayandırıldığını göstermektedir.



Şekil 24. İzmir ili için C4 alt kriterlerine ait raster yüzeyleri

3.2. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu bölümde, Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi’nin ağırlıklandırma aşamasında kullanılan AHP ve bulanık SIWEC yaklaşımlarının ürettiği sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Ağırlıkların belirlenmesi süreci karar verme ekibi olarak görev yapan dört uzmanın görüşlerine dayandırılmıştır: ulaştırma/altyapı ve CBS temelli mekânsal analizlerde deneyimli üç İnşaat Mühendisi akademisyen ile turizm mekânı ve yerleşim dinamikleri açısından kritik perspektif sağlayan bir Şehir Plancısı.

Bu disiplinlerarası yapı turizm çekiciliği, konaklama baskısı, ulaşım erişilebilirliği ve maruziyet/topoğrafik modülasyon gibi çok boyutlu kriterlerin değerlendirilmesinde hem mühendislik temelli altyapı bakışını hem de planlama temelli mekânsal kullanım mantığını aynı çerçevede birleştirmeyi amaçlamaktadır. Karşılaştırma kapsamında öncelikle iki yöntemin ürettiği kriter ağırlıklarının büyüklük sıraları ve dağılımları incelenecektir. Ardından bu ağırlıkların CBS tabanlı ağırlıklı doğrusal kombinasyon

sürecine yansması üzerinden uygunluk haritaları arasındaki farklar analiz edilecektir. Böylece, model çıktılarının ağırlıklandırma yaklaşımına duyarlılığı ortaya konulacak ve iki yöntem arasında oluşan olası farkların hangi kriterlerden kaynaklandığı bulgular düzeyinde tartışılacaktır. AHP yöntemi kapsamında dört uzmandan oluşan karar verici grubun ikili karşılaştırmaları grup matrisi altında birleştirilmiş ve elde edilen öncelik vektörü normalize edilerek her bir alt kriter için nihai ağırlıklar hesaplanmıştır.

Tablo 5. AHP yöntemi ile hesaplanan alt kriter ağırlıkları

Alt Kriter	Ağırlık	Alt Kriter	Ağırlık
C1.1	0,0793	C3.1	0,0801
C1.2	0,1557	C3.2	0,0668
C2.1	0,0935	C3.3	0,062
C2.2	0,1737	C4.1	0,0442
C2.3	0,1496	C4.2	0,0123
C2.4	0,0828		

Her bir uzmanın ikili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı (Consistency Ratio, CR) kontrol edilmiş ve tüm uzmanlarda CR değerinin 0,10'dan küçük olduğu doğrulanarak değerlendirmelerin kabul edilebilir düzeyde tutarlı olduğu görülmüştür. Hesaplanan ağırlıklar, SUI'nin CBS tabanlı ağırlıklı doğrusal kombinasyon aşamasında kullanılmak üzere Tablo 5'te sunulmaktadır. Ağırlık dağılımı incelendiğinde görece önem düzeyinin özellikle turizm talep baskısını ve çekicilik bileşenlerini temsil eden alt kriterlerde yoğunlaştığı, buna karşılık topoğrafik modülasyon gibi destekleyici bileşenlerin daha düşük ağırlıklarla modele dahil edildiği görülmektedir.

Bu çalışmada SUI'nin kriter ağırlıkları, uzman yargılarındaki belirsizliği ve dilsel değerlendirme doğasını daha iyi temsil edebilmek amacıyla Bulanık SIWEC yaklaşımı ile ayrıca hesaplanmıştır. Süreç, dört karar vericiden (DM1-DM4) elde edilen uzman görüşlerine dayanmaktadır. İlk adımda uzmanlardan, her bir alt kriterin SUI bağlamındaki görece önemini önceden tanımlanan dilsel ölçek (örn. MB-MG-G-EG-P-AG vb.) üzerinden puanlamaları istenmiş ve uzman görüşleri dilsel karar matrisi biçiminde Tablo 6'de düzenlenmiştir.

Tablo 6. Bulanık SIWEC için uzman görüşlerine dayalı dilsel karar matrisi

Ana Kriter	Alt Kriter	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4
C1	C1.1	AG	G	EG	EG
	C1.2	P	P	AG	AG
C2	C2.1	EG	EG	EG	AG
	C2.2	P	P	P	P
	C2.3	EG	P	P	EG
	C2.4	MG	G	G	EG
C3	C3.1	G	G	AG	EG
	C3.2	EG	G	E	EG
	C3.3	AG	G	G	EG
C4	C4.1	EG	EG	G	G
	C4.2	MB	EG	G	G

İkinci adımda dilsel terimler literatürde tanımlanan eşleştirme kuralına göre üçgensel bulanık sayılara (l, m, u) dönüştürülerek başlangıç bulanık karar matrisi elde edilmiş ve Tablo 7’de sunulmaktadır. Bu dönüşüm, uzmanların “kesin” sayılar yerine dilsel ifadelerle belirttiği önem düzeylerini sayısal formata taşırken değerlendirme belirsizliğini korumayı amaçlamaktadır.

Tablo 7. Dilsel terimlerin üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmesiyle elde edilen başlangıç bulanık karar matrisi

Alt Kriter	Uzman-1			Uzman-2			Uzman-3			Uzman-4		
C1.1	8	9	10	6	7	8	7	8	9	7	8	9
C1.2	9	10	10	9	10	10	8	9	10	8	9	10
C2.1	7	8	9	7	8	9	7	8	9	8	9	10
C2.2	9	10	10	9	10	10	9	10	10	9	10	10
C2.3	7	8	9	9	10	10	9	10	10	7	8	9
C2.4	5	6	7	6	7	8	6	7	8	7	8	9
C3.1	6	7	8	6	7	8	8	9	10	7	8	9
C3.2	7	8	9	6	7	8	4	5	6	7	8	9
C3.3	8	9	10	6	7	8	6	7	8	7	8	9
C4.1	7	8	9	7	8	9	6	7	8	6	7	8
C4.2	3	4	5	7	8	9	6	7	8	6	7	8

Üçüncü adımda, farklı alt kriterler ve karar vericiler arasında karşılaştırılabilirliği sağlamak için başlangıç bulanık karar matrisi Tablo 8’deki gibi normalize edilmiştir. Normalizasyon, tüm alt kriterleri ortak bir ölçeğe getirerek, sonraki adımda uygulanacak

birleştirme/ağırlıklandırma işlemlerinin tek bir referans aralığında yürütülmesini sağlamaktadır.

Tablo 8. Bulanık SIWEC kapsamında elde edilen normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Alt Kriter	Uzman-1			Uzman-2			Uzman-3			Uzman-4		
C1.1	0,8	0,9	1	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9
C1.2	0,9	1	1	0,9	1	1	0,8	0,9	1	0,8	0,9	1
C2.1	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9	1
C2.2	0,9	1	1	0,9	1	1	0,9	1	1	0,9	1	1
C2.3	0,7	0,8	0,9	0,9	1	1	0,9	1	1	0,7	0,8	0,9
C2.4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8	0,9
C3.1	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1	0,7	0,8	0,9
C3.2	0,7	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
C3.3	0,8	0,9	1	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8	0,9
C4.1	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8
C4.2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8

Normalize edilmiş bulanık karar matrisinden elde edilen bulanık skorlar, Bulanık SIWEC'in gerektirdiği şekilde ağırlıklandırılmış normalize matris üzerinden birleştirilmiş ve her bir alt kriter için tekil önem skoruna ulaşmak amacıyla durulaştırma (defuzzification) işlemi uygulanmıştır. Bu aşamada üretilen ağırlıklandırılmış normalize değerler ve durulaştırılmış skorlar, yöntemsel şeffaflığı artırmak üzere Tablo 9'de sunulmaktadır.

Tablo 9. Bulanık SIWEC kapsamında elde edilen ağırlıklandırılmış normalize matris ve durulaştırılmış (defuzzified) skorlar

Alt Kriter	Uzman-1			Uzman-2			Uzman-3			Uzman-4		
C1.1	0,14439	0,16243	0,18048	0,08077	0,09424	0,10770	0,11084	0,12668	0,14251	0,07849	0,08971	0,10092
C1.2	0,16243	0,18048	0,18048	0,12116	0,13462	0,13462	0,12668	0,14251	0,15835	0,08971	0,10092	0,11214
C2.1	0,12634	0,14439	0,16243	0,09424	0,10770	0,12116	0,11084	0,12668	0,14251	0,08971	0,10092	0,11214
C2.2	0,162438	0,18048	0,18048	0,12116	0,13462	0,13462	0,14251	0,15835	0,15835	0,10092	0,11214	0,11214
C2.3	0,12634	0,14439	0,16243	0,12116	0,13462	0,13462	0,14251	0,15835	0,15835	0,07849	0,08971	0,10092
C2.4	0,09024	0,10829	0,12634	0,08077	0,09424	0,10770	0,09501	0,11084	0,12668	0,07849	0,08971	0,10092
C3.1	0,10829	0,12634	0,14439	0,08077	0,09424	0,10770	0,12668	0,14251	0,15835	0,07849	0,08971	0,10092
C3.2	0,126341	0,14439	0,16243	0,08077	0,09424	0,10770	0,06334	0,07917	0,09501	0,07849	0,08971	0,10092
C3.3	0,14439	0,162438	0,18048	0,08077	0,09424	0,10770	0,09501	0,11084	0,12668	0,07849	0,08971	0,10092
C4.1	0,12634	0,14439	0,16243	0,09424	0,10770	0,12116	0,09501	0,11084	0,12668	0,06728	0,07849	0,08971
C4.2	0,05414	0,07219	0,09024	0,09424	0,10770	0,12116	0,09501	0,11084	0,12668	0,06728	0,07849	0,08971

Durulaştırma ile elde edilen tekil skorlar, son adımda toplamaları 1 olacak biçimde yeniden ölçeklendirilmiş; böylece CBS tabanlı ağırlıklı doğrusal kombinasyon uygulamasında doğrudan kullanılabilecek nihai alt kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Nihai ağırlıklar Tablo 10’da verilmekte olup bu değerler uygunluk haritasının üretiminde temel girdi olarak kullanılmıştır.

Tablo 10. Bulanık SIWEC ile hesaplanan nihai alt kriter ağırlıkları

Alt Kriter	Ağırlık	Alt Kriter	Ağırlık
C1.1	0,09208881	C3.1	0,088125503
C1.2	0,10788556	C3.2	0,079266226
C2.1	0,093385318	C3.3	0,088991401
C2.2	0,112382794	C4.1	0,0859009
C2.3	0,101793693	C4.2	0,071779468
C2.4	0,078400327		

Bulanık SIWEC sonuçları kriter öneminin en yüksek düzeyde turizm talep baskısını temsil eden alt kriterlerde toplandığını göstermektedir. Nihai ağırlıklar içinde C2.2 (Turist geliş hacmi) en yüksek paya sahiptir ($w=0,112383$). Bunu C1.2 (Turistik çekim ve rekreasyon POI yoğunluğu) ($w=0,107886$) ve C2.3 (Ortalama konaklama süresi) ($w=0,101794$) izlemektedir. Bu dağılım, uygunluk yapısında “çekim yoğunluğu + talep büyüklüğü + talebin sürekliliği” bileşenlerinin belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Ulaşım bileşenleri orta düzeyde ağırlıklarla temsil edilmiştir: C3.3 ($w=0,088991$) ve C3.1 ($w=0,088126$) benzer önem düzeylerine sahipken, C3.2 ($w=0,079266$) daha düşük bir pay almıştır. Bu durum, ulaşım altyapısının uygunluk açısından kritik olduğunu; ancak turizm talep/çekim göstergelerine kıyasla daha “destekleyici/taşıyıcı” bir bileşen olarak konumlandığını düşündürmektedir.

Maruziyet ve topoğrafik modülasyon grubu içinde C4.1 (Nüfus yoğunluğu) ($w=0,085901$) orta düzeyde katkı verirken, C4.2 (Topoğrafik yükseklik) en düşük ağırlığa sahiptir ($w=0,071779$). Bu sonuç topoğrafyanın uygunluk yapısına katkısının diğer kriterlere göre daha sınırlı kaldığını buna karşın nüfusun, turizm-ulaşım etkileşim alanlarında maruziyeti temsil eden bir bileşen olarak anlamlı düzeyde ağırlık aldığını göstermektedir.

Genel olarak Bulanık SIWEC ağırlıkları kriter dağılımının AHP'ye kıyasla daha dengeli bir yapıya sahip olduğunu yani birkaç kriterin aşırı baskınlaşması yerine önceliklerin daha “yayılmış” biçimde temsil edildiğini ima etmektedir. Bu özellik, SUI çıktılarının ağırlıklandırma yaklaşımına duyarlılığının değerlendirilmesi açısından güçlü bir karşılaştırma zemini sunmaktadır.

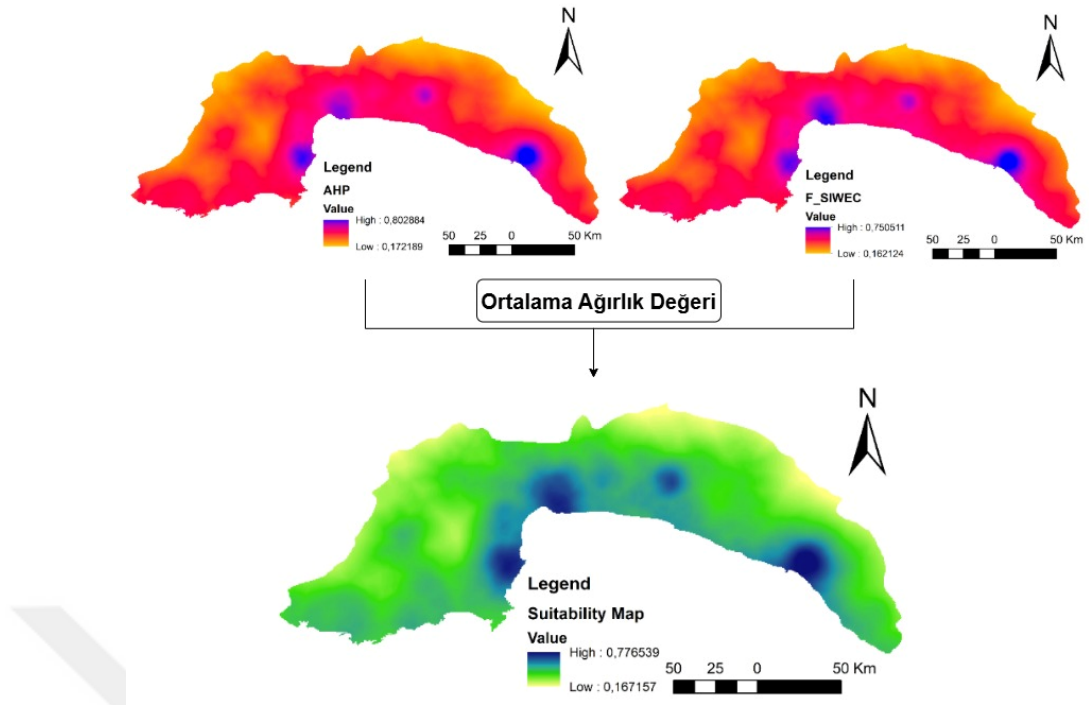
Bu aşamada, AHP ve Bulanık SIWEC ile elde edilen iki ayrı uygunluk yüzeyi ağırlıklandırma yöntemine bağlı belirsizliği azaltmak ve daha sağlam bir nihai çıktı üretmek amacıyla eşit katkı varsayımı altında birleştirilmiştir. ArcMap Raster Calculator kullanılarak her iki harita 0,5 katsayısı ile ağırlıklandırılmış ve nihai uygunluk haritası Eşitlik 20 ile hesaplanmıştır:

$$SUI_{ort} = 0,5.SUI_{AHP} + 0,5.SUI_{FSIWEC} \quad (20)$$

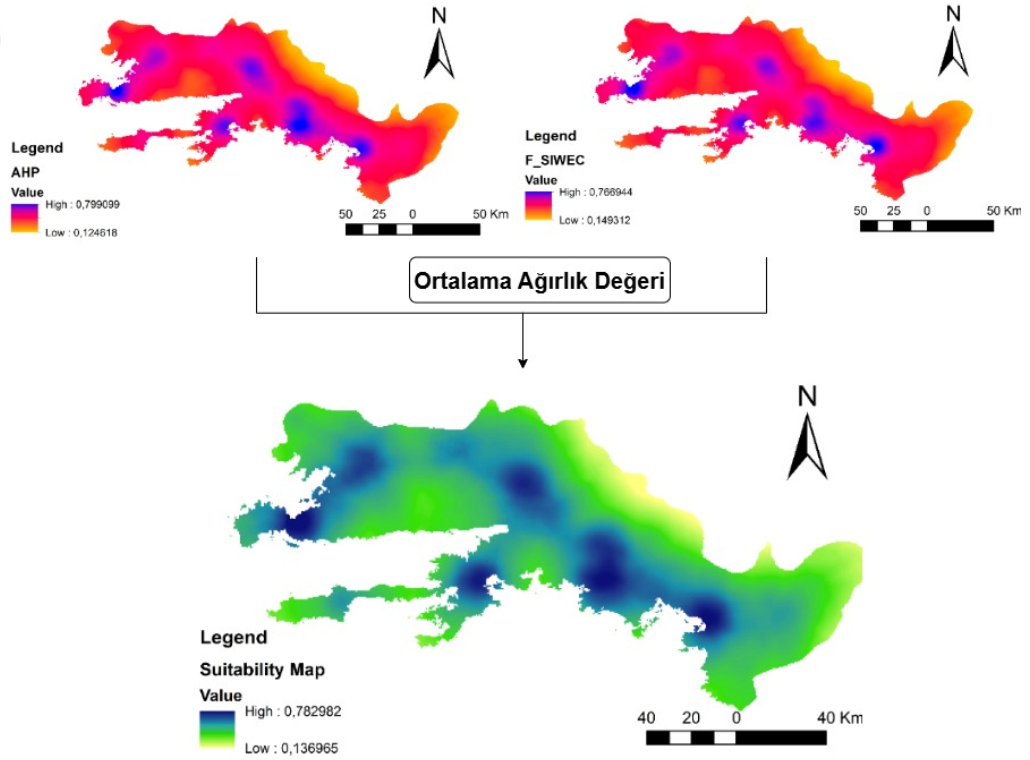
Bu yaklaşım iki yöntemin mekansal desenlerinin ortak kısmını korurken yöntem kaynaklı farklılıkların nihai çıktı üzerindeki etkisini sınırlayan bir duyarlılık/sağlamlık kontrolü olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 25’de AHP ve Bulanık SIWEC tabanlı uygunluk yüzeylerinin genel mekansal desen açısından yüksek düzeyde tutarlı olduğu görülmektedir. Her iki yöntemde de yüksek uygunluk değerleri kıyı kuşağı ve turizm odakları ile ilişkili alanlarda kümelenmekte iç kesimlere doğru görece bir azalma eğilimi sergilemektedir. AHP çıktısı, mekansal kontrastı biraz daha belirgin hale getirerek maksimum değerleri nispeten yükseltirken; Bulanık SIWEC haritası daha dengeli bir dağılım üretmektedir. Eşit ağırlıklı birleştirme ile elde edilen nihai harita, iki yaklaşımın ortak sinyalini koruyarak aşırı uçların etkisini yumuşatmakta ve daha sağlam bir uygunluk yüzeyi sunmaktadır.

Şekil 26’da her iki yöntemin de Muğla’da uygunluk desenini ağırlıklı olarak kıyı boyunca ve belirli turizm çekirdeklerinde yoğunlaştırdığı izlenmektedir. Muğla’nın parçalı kıyı morfolojisi nedeniyle yüksek uygunluk alanları daha çok çok odaklı bir yapı sergilemekte ve kıyı hattı boyunca süreklilik ile yer yer kümelenme birlikte gözlenmektedir. AHP haritası bazı odaklarda daha keskin tepe değerleri üretirken Bulanık SIWEC yüzeyi daha yumuşak geçişli bir gradyan oluşturmaktadır. Nihai uygunluk haritası, bu iki örüntüyü dengeleyerek yöntem etkisini azaltan bir uzlaşım çıktısı sağlamaktadır.

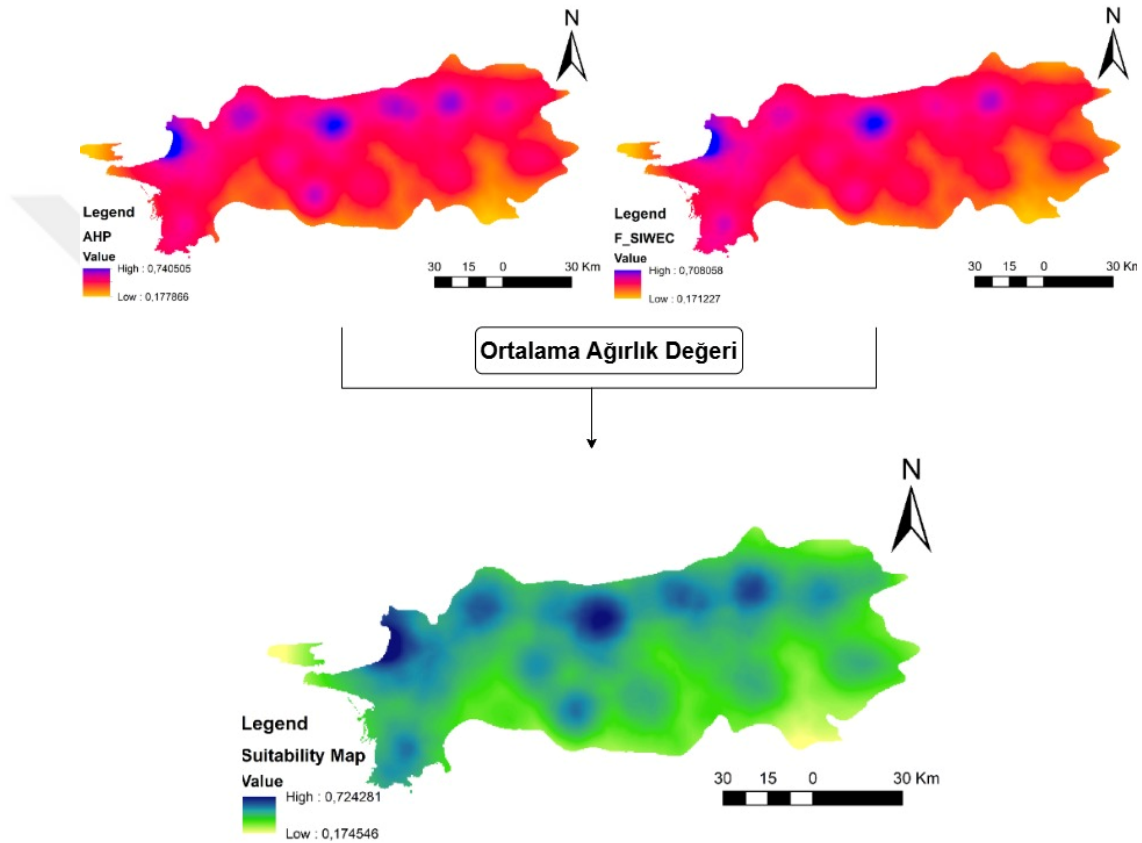


Şekil 25. Antalya ili için AHP ve Bulanık SIWEC ile üretilen uygunluk haritaları ve eşit ağırlıkla birleştirilmiş nihai uygunluk yüzeyi



Şekil 26. Muğla ili için AHP ve Bulanık SIWEC ile üretilen uygunluk haritaları ve eşit ağırlıkla birleştirilmiş nihai uygunluk yüzeyi

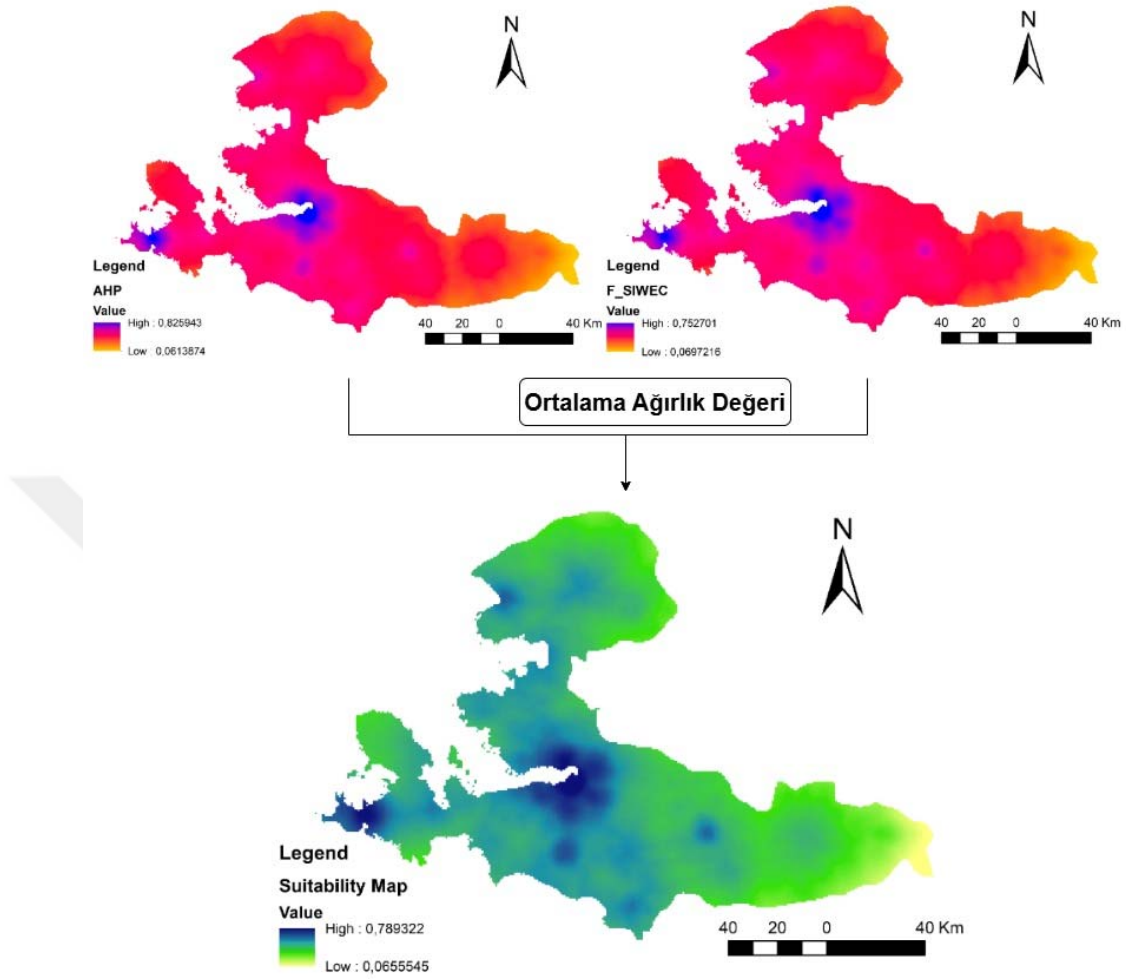
Şekil 27’de Aydın için elde edilen uygunluk yüzeyleri Antalya ve Muğla’ya kıyasla daha sınırlı bir yüksek uygunluk alanı ve daha kontrollü bir mekansal değişim göstermektedir. Her iki yöntemde de uygunluk değerleri kıyı bandı ve çekim merkezlerine yakın alanlarda artmakta iç kesimlerde daha düşük değerlere inmektedir. AHP ve Bulanık SIWEC arasındaki desen uyumu belirgindir. Farklar daha çok yüzeyin kontrast düzeyinde ortaya çıkmaktadır. Eşit ağırlıklı birleştirme iki haritanın ortak bileşenlerini öne çıkararak nihai yüzeyde daha istikrarlı bir uygunluk dağılımı üretmiştir.



Şekil 27. Aydın ili için AHP ve Bulanık SIWEC ile üretilen uygunluk haritaları ve eşit ağırlıkla birleştirilmiş nihai uygunluk yüzeyi

Şekil 28’de İzmir için uygunluk deseninin çok çekirdekli bir yapı sergilediği görülmektedir. Kıyı kuşağına ek olarak kentsel odakların ve ulaşım ağının etkisiyle uygunluk değerleri birden fazla bölgede yoğunlaşmaktadır. Bu durum İzmir’in hem turizm çekimi hem de hareketlilik potansiyeli yüksek olan karma mekansal yapısı ile uyumludur. AHP haritasında maksimum değerler daha yüksek ve dağılım daha keskin görünürken Bulanık SIWEC haritası görece olarak daha dengeli bir ölçek üretmektedir.

Nihai uygunluk haritası bu iki yaklaşımın ortak mekansal sinyalinı koruyarak çok odaklı uygunluk yapısını daha sağlam bir şekilde temsil etmektedir.



Şekil 28. İzmir ili için AHP ve Bulanık SIWEC ile üretilen uygunluk haritaları ve eşit ağırlıkla birleştirilmiş nihai uygunluk yüzeyi

Dört il için AHP ve Bulanık SIWEC tabanlı uygunluk yüzeylerinin eşit ağırlıkla birleştirilmesiyle elde edilen nihai SUI haritaları birlikte değerlendirildiğinde turizm-ulaşım uygunluğunun iller arasında hem yayılım hem de kümelenme biçimi açısından belirgin şekilde farklılaştığı görülmektedir. Antalya ve Muğla'da uygunluk örüntüsü temelde kıyı kuşağı boyunca süreklilik gösteren bir bantla karakterize olurken Muğla'da parçalı kıyı morfolojisinin etkisiyle bu bant daha çok odaklı ve yer yer ayrılmış bir yapı sergilemektedir. Aydın'da ise yüksek uygunluk alanları kıyı bandı ve sınırlı sayıdaki çekim merkezleri çevresinde daha dar ve seçici bir dağılım göstermektedir. İç kesimlere doğru uygunluk değerleri daha hızlı biçimde azalmaktadır. İzmir'de kıyı etkisine ek olarak kentsel çekim ve ulaşım omurgalarının katkısıyla uygunluk deseninin çok

çekirdekli bir yapıda şekillendiği ve bu nedenle yüksek uygunluk alanlarının tek bir bant yerine farklı alt bölgelerde yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. Bu karşılaştırma nihai uygunluk haritalarının yalnızca turizm çekiciliğini değil konaklama-talep baskısı, ağ erişilebilirliği ve maruziyet bileşenlerinin birlikte ürettiği bileşik mekânsal sinyali yansıttığını ve sonraki aşamada kirlilik göstergeleriyle kurulacak ilişkilendirme için iller arasında anlamlı bir karşılaştırma zemini sağladığını ortaya koymaktadır.

3.3. Sezonlar Kirlenici Yüzeyleri ve Referans Tabanlı Normalizasyon

Bu tez kapsamında Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir illerinde ölçülen PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃, CO, NO ve NO_x kirlenicileri için istasyon bazında yaz (Haz-Eyl) ve kış (Kas-Şub) dönemlerini temsil eden medyan değerler hesaplanmıştır. Her bir kirlenici için bu dönemsel istasyon değerleri kullanılarak IDW interpolasyonu ile mekânsal yüzeyler üretilmiştir. Bu işlem sonucunda her il için her kirlenicide en az iki temel yüzey (yaz ve kış) ayrıca sezonlar değişimi temsil etmek üzere Δ (yaz-kış) yüzeyi elde edilmiştir. Tekil kirlenici haritalarının sayısının yüksek olması (4 il $\times$ 7 kirlenici $\times$ dönemler) nedeniyle bu bölümde tekil yüzeyler görsel olarak sunulmamıştır. Ancak tüm kirleniciler için IDW yüzey üretiminin tamamlandığı ve sonraki adımda birleşik kirlilik metriğine (RMS) geçilmeden önce referans tabanlı normalizasyon uygulandığı açıkça belirtilmiştir.

Kirleniciler arası ölçü birimi ve büyüklük farklılıklarının birleşik analizlere engel olmaması için her bir IDW yüzeyi kirleniciye özgü bir referans değere bölünerek boyutsuz alt-indekslere dönüştürülmüştür. PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ ve CO için referans değerler çalışmada benimsenen kısa dönem sağlık temelli eşikler üzerinden sabit alınmıştır.

NO ve NO_x için diğer kirlenicilerde olduğu gibi doğrudan ve çalışmanın zaman ölçeğiyle (günlük/8 saatlik) birebir uyumlu tekil, yerleşik bir sağlık temelli referans eşik üzerinden normalizasyon yapmak pratik değildir. Bu nedenle NO ve NO_x'te ölçekleme amacıyla, uç değerlerin (episodik pikler, lokal emisyon sıçramaları, ölçüm süreksizlikleri) referans değeri baskılamasını önleyen, dağılımın üst ucunu temsil eden %95'lik persentil (P95; bazı notasyonlarda N95) yaklaşımı kullanılmıştır. P95, maksimum değere göre daha sağlam bir ölçüt olup, "tipik yüksek düzeyleri" temsil ederek normalizasyonu aşırı uçlara duyarlı olmaktan çıkarır; böylece dönemler arası ve mekânsal karşılaştırmalar daha kararlı hale gelir.

P95 hesaplaması il ve sezon bazında şu adımlarla yürütülmüştür: (i) her ildeki her bir istasyon için NO ve NO_x'in yaz ve kış dönemine ait medyan değerleri hesaplanmıştır,

(ii) aynı il içindeki istasyon medyanları bir araya getirilerek ayrı bir veri tabanında saklanmıştır, (iii) Excel ortamında gerekli fonksiyonu kullanılarak NO ve NO_x için yaz ve kış dönemlerine ait P95 referans değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu P95 değerleri, ilgili il ve sezona ait NO/NO_x IDW rasterlarının referans değerleri olarak kullanılmıştır.

Aşağıda, hesaplanan il-bazlı NO_x ve NO P95 değerleri Tablo 11’de özetlenmiştir. Bu değerler, NO_x ve NO alt-indekslerinin ($I_{NOx,s}$, $I_{NO,s}$) oluşturulmasında referans olarak kullanılmıştır.

Tablo 11. NO_x ve NO için il bazında hesaplanan P95 (N95) referans değerleri (µg/m³)

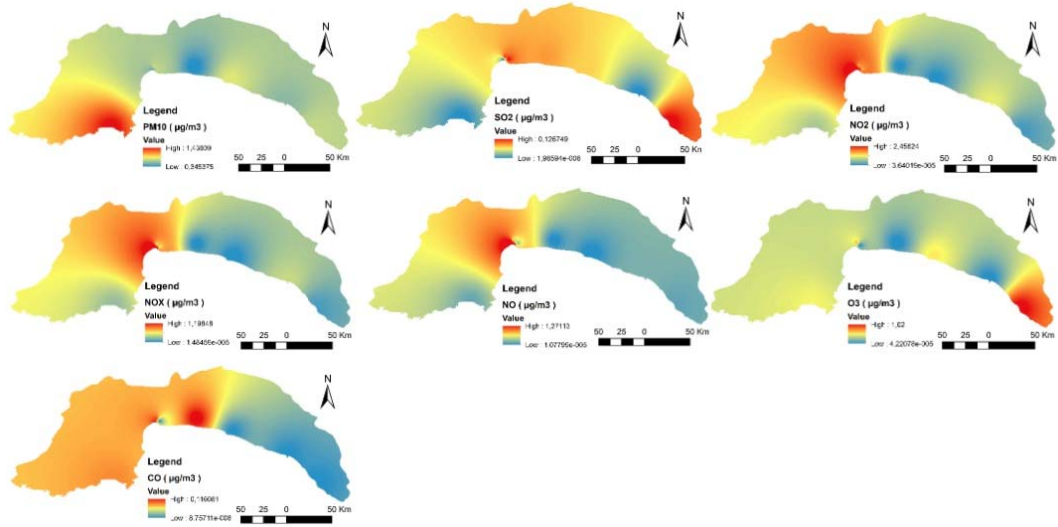
İl	NO _x P95 (Yaz)	NO P95 (Yaz)	NO _x P95 (Kış)	NO P95 (Kış)	Δ P95 NO _x	Δ P95 NO
Antalya	86,79	33,435	118,38	47,29875	-0,9375	0,475
Muğla	31,20675	6,7255	60,6755	20,606	-29,4688	-13,8805
Aydın	91,273	28,3285	117,626	35,5615	-7,2375	-1,1645
İzmir	51,5415	38,648	90,35725	51,068	6,91175	4,689

Tablo 11’de raporlanan ΔP95 değerleri, farkların P95’i alınarak değil; her il için yaz ve kış dönemlerinde istasyon bazında hesaplanan medyan konsantrasyonların ayrı ayrı 95. yüzdilik (P95) değerleri elde edildikten sonra bu iki P95’in farkı alınarak ($\Delta P95 = P95_{yaz} - P95_{kış}$) hesaplanmıştır. Normalizasyon adımı ise önce yaz ve kış alt-indeksleri üretilmiş, mevsimsel değişim $\Delta I_p = I_{p,yaz} - I_{p,kış}$ olarak tanımlandığından Δ için ayrıca bir referans değere ihtiyaç duyulmamıştır.

Bu aşamada her bir kirletici için IDW ile üretilen yaz ve kış konsantrasyon yüzeyleri kirleticiler arasında birim ve büyüklük farklarını ortadan kaldırmak amacıyla referans tabanlı alt-indekslere dönüştürülmüştür. PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ ve CO için sabit referans eşikler kullanılırken NO ve NO_x için istasyon verilerindeki uç değerlerin referans seçimini yapay biçimde domine etmesini önlemek amacıyla P95 (N95) persentil referansı tercih edilmiştir. Böylece her kirletici ve her sezon için boyutsuz alt-indeks rasterları ($I_{p,yaz}$, $I_{p,kış}$) elde edilmiştir. Bu yüzeyler kirletici dağılımlarının sezonlar arasında karşılaştırılmasını ve farklı kirleticilerin tek bir birleşik metrikte toplanmasını mümkün kılan ortak bir analitik ölçek sağlamıştır. Alt-indekslerin yorumlanabilirliği açısından $I_p > 1$ değerleri ilgili kirleticinin seçilen referans düzeyini yerel olarak aştığını, $I_p < 1$ değerleri ise referansın altında kaldığını ifade etmektedir. Bu şekilde standartlaştırılan yedi alt-indeks bir sonraki adımda çoklu kirletici yükünü tek bir yüzeyde

özetlemek üzere RMS yaklaşımıyla birleştirilecektir. Şekillerde gösterilen değerler orijinal konsantrasyonların referans değerlere bölünmesiyle elde edilen boyutsuz alt-indekslerdir.

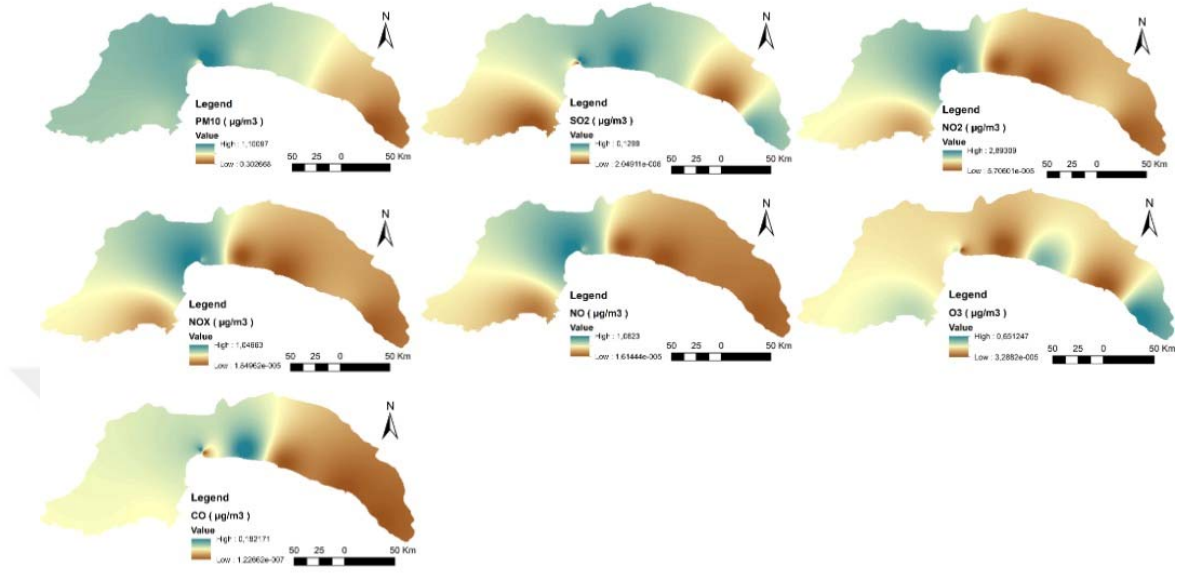
Şekil 29’da Antalya için yaz dönemine ait alt-indeks yüzeyleri incelendiğinde kirleticilerin mekânsal desenlerinin kirleticisi türüne göre ayrıştığı görülmektedir. Trafik ve ulaşım kaynaklı bileşenleri daha güçlü temsil eden NO, NO_x ve NO₂ alt-indekslerinde belirli odaklarda yükselmeler dikkat çekmektedir. Bu durum, yaz sezonunda turizm hareketliliğinin ve ana ulaşım aksları çevresindeki yoğunluğun bazı alt bölgelerde daha belirgin bir baskı oluşturabildiğine işaret etmektedir. PM₁₀ ve CO alt-indeksleri de benzer biçimde yerel maksimumlar üreterek heterojen bir dağılım sergilemektedir. SO₂ ise daha sınırlı ve yerel karakterde odaklar üzerinden ayrılmaktadır. Buna karşılık O₃ alt-indeksi diğer kirleticilerden farklı bir mekânsal örüntü sergileyerek daha geniş alanlara yayılan bir gradyan gösterebilmektedir. Bu durum fotokimyasal oluşum ve meteorolojik koşullara duyarlı yapıyla uyumludur.



Şekil 29. Antalya ili için yaz dönemi (Haz-Eyl) referans tabanlı normalize edilmiş alt-indeks kirleticisi yüzeyleri

Kış döneminde ise alt-indeks yüzeylerinin genelinde daha yaygın ve süreklilik gösteren bir desenin öne çıktığı Şekil 30’da görülmektedir. Özellikle NO, NO_x, NO₂ ve CO alt-indekslerinde alan etkisinin güçlenmesi kış koşullarında (ısınma kaynakları, atmosferik kararlılık/inversiyon, sınırlı karışım yüksekliği) emisyonların birikmeye daha elverişli olabilmesiyle tutarlı bir görünüm sunmaktadır. PM₁₀ alt-indeksi de kış döneminde bazı alt bölgelerde daha belirgin seviyelere ulaşırken, O₃ alt-indeksinin yaz

dönemine kıyasla farklı bir dağılım yapısı sergilemesi sezonsal fotokimyasal dinamiklerle açıklanabilir niteliktedir. Bu iki şekil birlikte değerlendirildiğinde Antalya’da kirletici yükünün yalnızca büyüklük olarak değil mekânsal yayılım ve kümelenme biçimi açısından da sezonlara duyarlı şekilde değiştiği anlaşılmaktadır.

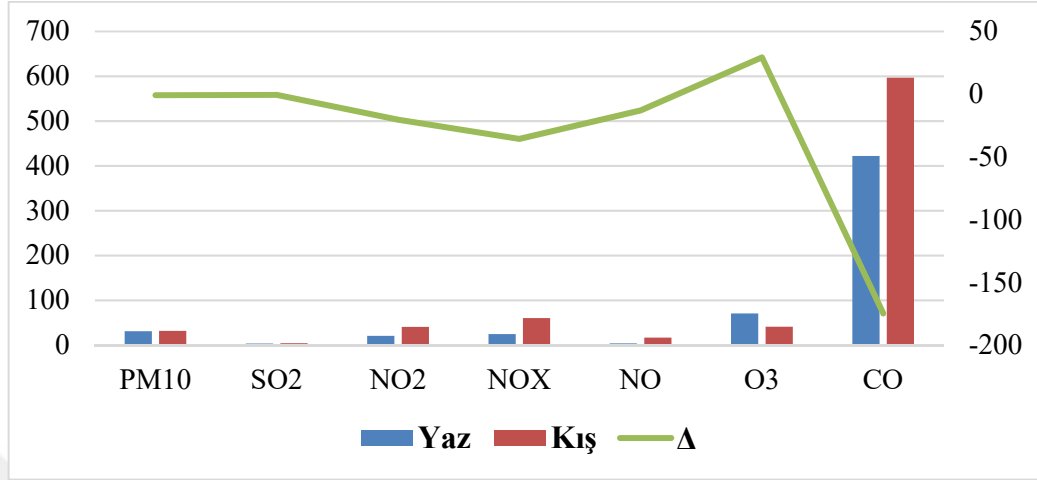


Şekil 30. Antalya ili için kış dönemi (Kas-Şub) referans tabanlı normalize edilmiş alt-indeks kirletici yüzeyleri

İstasyon bazlı günlük ölçümler, kısa süreli uç değerlerin ve eksik gözlemlerin etkisini sınırlamak amacıyla öncelikle günlük medyan değerleri kullanılarak temsil edilmiştir. Ardından çalışmada tanımlanan sezon pencereleri (Yaz: Haziran-Eylül; Kış: Kasım-Şubat) esas alınarak her kirletici için sezonluk medyan değerler türetilmiştir. Böylece 4 aylık dönemler ile dengeli bir karşılaştırma çerçevesi sağlanmıştır. Son aşamada, her kirletici için $\Delta = \text{Yaz} - \text{Kış}$ farkı hesaplanarak sezonal değişimin yönü ve büyüklüğü kirletici bazında özetlenmiş; elde edilen yaz/kış medyanları ve Δ değerleri Şekil 31’de sunulan sezonsal karşılaştırma grafikleri ile görselleştirilmiştir. Bu grafik tekil kirleticilerin sezonlar arası davranışını ortaya koymanın yanı sıra bir sonraki adımda uygulanacak çoklu kirletici birleşik metriğin (RMS) gerekçesini de desteklemektedir. Çünkü farklı kirleticilerde sezonluk eğilimlerin yönü birbirinden farklı olabilmektedir.

Muğla için yaz dönemine ait alt-indeks yüzeyleri incelendiğinde, kirleticilerin mekânsal örüntülerinin belirgin biçimde heterojen olduğu ve özellikle kıyı-turizm akslarıyla ilişkili bölgelerde yerel yükselmelerin olduğu Şekil 32’de görülmektedir. Ulaşım ve yerleşim kaynaklı emisyon bileşenlerini daha güçlü temsil eden NO, NOx ve

NO₂ alt-indeksleri yaz sezonunda bazı alt bölgelerde daha yüksek değerlere ulaşarak turizm dönemindeki artan hareketlilik/yoğunluk baskısının mekâna yansıyan izlerini ortaya koymaktadır.



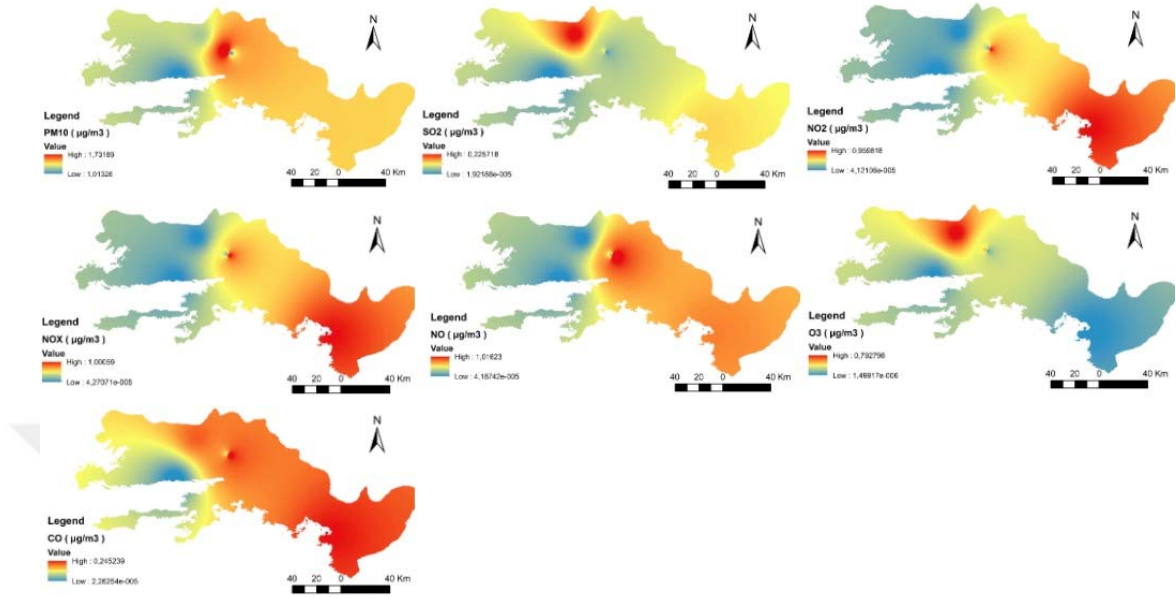
Şekil 31. Antalya ili için kirletici bazında sezonluk medyan konsantrasyonların (Yaz: Haz-Eyl; Kış: Kas-Şub) ve $\Delta = \text{Yaz} - \text{Kış}$ farklarının karşılaştırılması

Benzer şekilde CO alt-indeksinde de belirli odaklarda yükselmeler dikkat çekmektedir. Bu durum motorlu taşıt kullanımı ve yerel aktivite yoğunluğu ile uyumlu bir desen sunmaktadır. PM10 ve SO₂ alt-indeksleri ise daha sınırlı sayıda odakta yükselme eğilimi göstererek bölgesel/yerel kaynakların ve meteorolojik koşulların rol oynayabileceğine işaret etmektedir. O₃ alt-indeksi diğer kirleticilerden farklı olarak daha geniş alanlara yayılan bir gradyan sergilemektedir. Bu görünüm O₃'ün fotokimyasal oluşum dinamikleri ve meteorolojik taşınım/ışınım koşullarına duyarlı doğasıyla tutarlıdır.

Kış döneminde alt-indeks yüzeyleri genel olarak yaz dönemine kıyasla daha alan etkisi güçlü ve daha süreklilik gösteren bir dağılıma yöneldiği Şekil 33'de gösterilmektedir. Özellikle NO, NO_x, NO₂ ve CO alt-indekslerinde daha yaygın bir yükselme örüntüsü gözlenmesi kış koşullarında atmosferik kararlılık, karışım yüksekliğinin azalması ve yerel kaynaklardan salınan emisyonların birikmeye daha elverişli hale gelmesiyle açıklanabilir.

PM10 alt-indeksi de kış döneminde bazı bölgelerde daha belirgin değerler üretirken O₃ alt-indeksinin dağılım yapısı sezonlar arasında farklılaşmakta ve kış döneminde fotokimyasal üretimin zayıflamasıyla uyumlu bir mekânsal örüntü sergilemektedir. Sonuç olarak Muğla'da sezonsal karşılaştırma kirletici yükünün yalnızca

düzey olarak değil aynı zamanda kümelenme alanları ve yayılım biçimi bakımından da değiştiğini göstermektedir. Bu durum çoklu kirletici yükünün tek bir ölçüte indirgenmesini (RMS) hem gerekli hem de analitik açıdan anlamlı kılmaktadır.



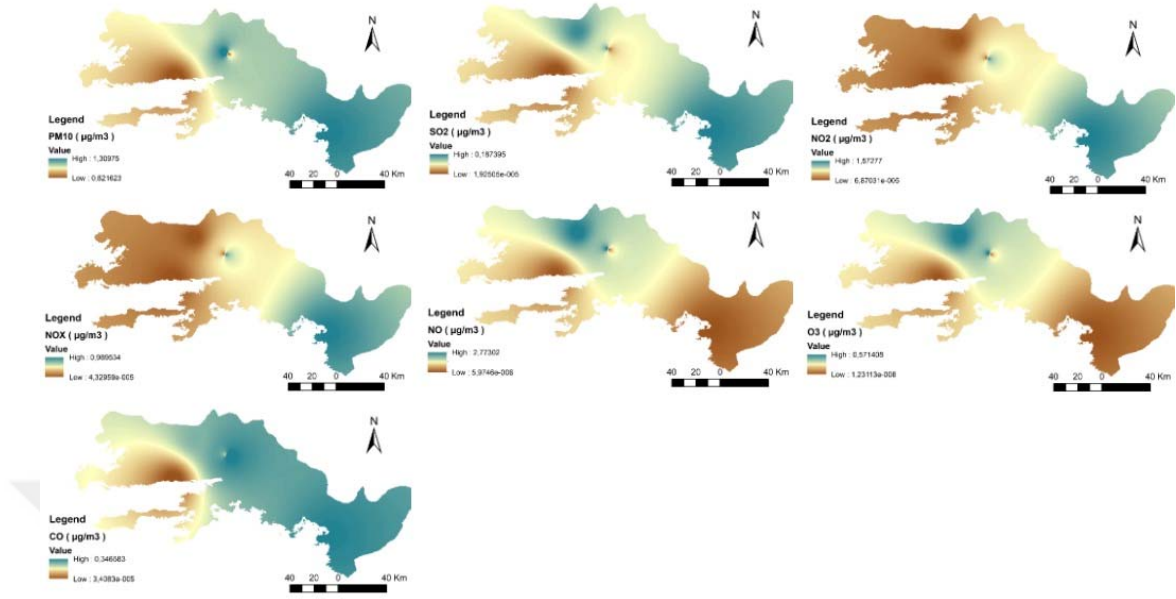
Şekil 32. Muğla ili için yaz dönemi (Haz-Eyl) referans tabanlı normalize edilmiş alt-
indeks kirletici yüzeyleri

Muğla ili için istasyon bazlı günlük ölçümler kısa süreli uç değerlerin ve veri süreksizliklerinin sezonsal temsili bozmasını engellemek amacıyla önce günlük medyan ile özetlenmiştir. Ardından çalışmada tanımlanan sezon pencereleri esas alınarak her kirletici için sezonluk medyan değerler türetilmiş ve dönemler arası karşılaştırma eşit uzunlukta (4 aylık) periyotlar üzerinden yürütülmüştür.

Son aşamada $\Delta = \text{Yaz} - \text{Kış}$ yaklaşımıyla kirletici bazında değişimin yönü ve görece büyüklüğü tek bir göstergeyle ifade edilerek Muğla’da sezonlar arasında farklı kaynak süreçlerinin (ör. yaz döneminde turizm kaynaklı hareketlilik ve fotokimyasal oluşum, kış döneminde ısınma/yanma süreçleri ve meteorolojik birikim koşulları) kirleticiler üzerinde oluşturabileceği ayrışan etkiler sistematik biçimde görünür kılınmıştır. Elde edilen yaz/kış medyanları ve Δ değerleri Şekil 34’de sezonsal karşılaştırma grafikleri ile sunulmuştur.

Bu grafikler tekil kirleticilerin sezonsal davranışını özetlemenin yanı sıra farklı kirleticilerde eğilimlerin aynı yönde ilerlemeyebileceğini ortaya koyarak bir sonraki

aşamada uygulanacak çoklu kirletici birleşik metrik (RMS) kullanımının metodolojik gerekçesini de desteklemiştir.



Şekil 33. Muğla ili için kış dönemi (Kas-Şub) referans tabanlı normalize edilmiş alt-indeks kirletici yüzeyleri

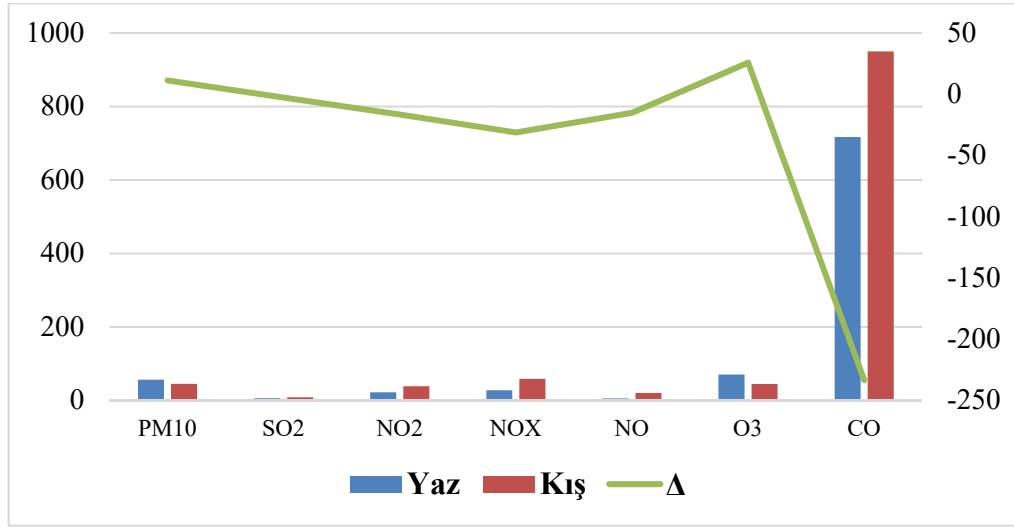
Aydın ili için referansla normalize edilmiş alt-indeks yüzeyleri incelendiğinde yaz döneminde kirleticilerin mekânsal dağılımının belirli odaklarda yoğunlaşan ve alan genelinde gradyanlar üreten bir yapı sergilediği Şekil 35’de görülmektedir.

Özellikle ulaşım ile ilişkili birincil kirleticileri temsil eden NO, NO_x ve NO₂ alt-indeksleri yaz sezonunda bazı alt bölgelerde daha belirgin yükselmeler oluşturarak hareketlilik ve yerel aktivite yoğunluğunun belirli merkezler çevresinde arttığına işaret etmektedir.

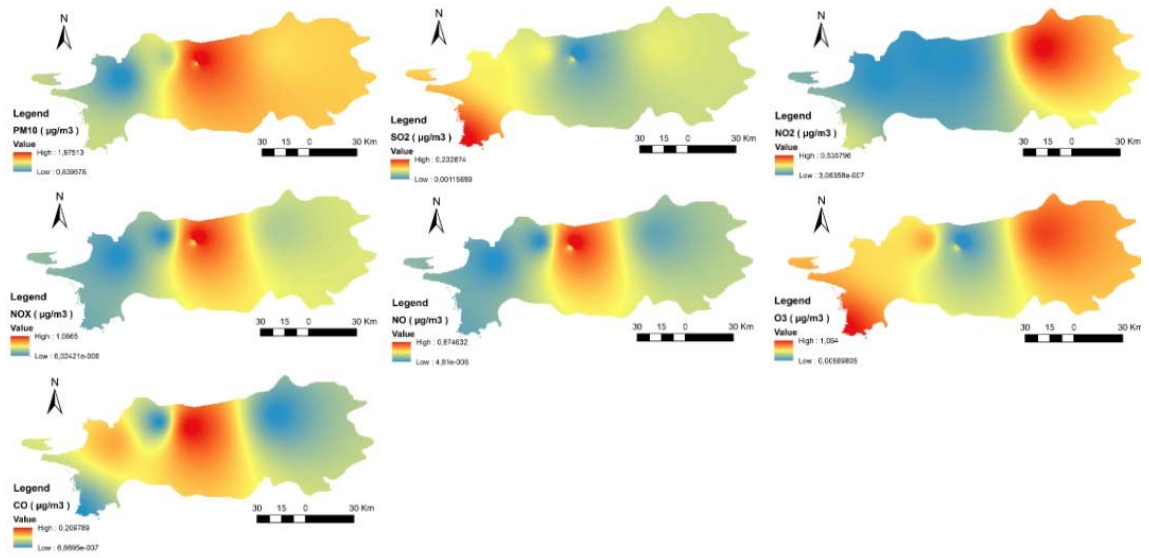
PM10 ve CO alt-indekslerinde de benzer şekilde odak temelli artışlar gözlenmektedir. SO₂ alt-indeksi ise daha sınırlı alanlarda yükselme eğilimi göstererek kaynakların mekânsal seçiciliğine işaret etmektedir.

Buna karşılık O₃ alt-indeksi birincil kirleticilerden farklı bir örüntü sergileyerek daha geniş alanlara yayılan ve yer yer ters yönlü gradyanlar gösterebilen bir dağılım ortaya koymaktadır.

Bu durum O₃’ün fotokimyasal üretim süreçlerine duyarlı karakteriyle uyumlu değerlendirilmektedir. Kış döneminde ise alt-indeks yüzeylerinde genel olarak daha yaygın ve süreklilik gösteren bir dağılım eğilimi belirginleşmektedir.



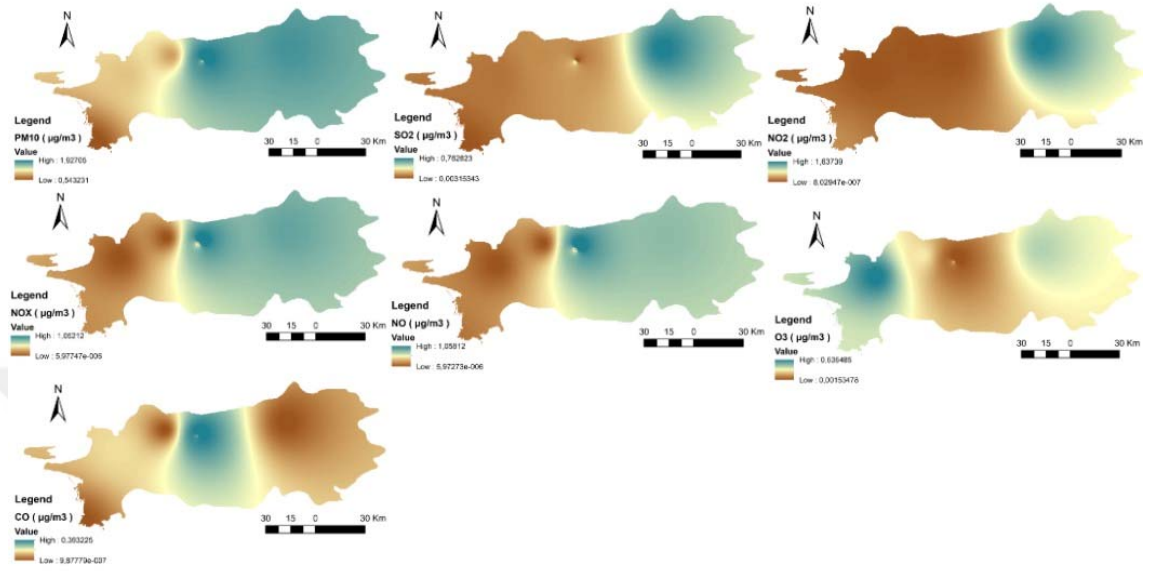
Şekil 34. Muğla ili için kirletici bazında sezonluk medyan konsantrasyonların (Yaz: Haz-Eyl; Kış: Kas-Şub) ve $\Delta = \text{Yaz} - \text{Kış}$ farklarının karşılaştırılması



Şekil 35. Aydın ili için yaz dönemi (Haz-Eyl) referans tabanlı normalize edilmiş alt-indeks kirletici yüzeyleri

Özellikle NO, NO_x, NO₂ ve CO alt-indekslerinde alan etkisinin güçlenmesi kış koşullarında atmosferik kararlılık ve karışım yüksekliğinin azalması gibi etkenlerle kirleticilerin daha kolay birikmesiyle ilişkilendirilebilecek bir görünüm sunduğu Şekil 36'da görülmektedir. PM10 alt-indeksi de kış döneminde bazı bölgelerde daha belirgin düzeylere ulaşırken O₃ alt-indeksinin yaz dönemine kıyasla farklılaşan dağılımı sezonsal fotokimyasal dinamiklerin değişimiyle tutarlı bir desen sergilemektedir. Bu bulgular,

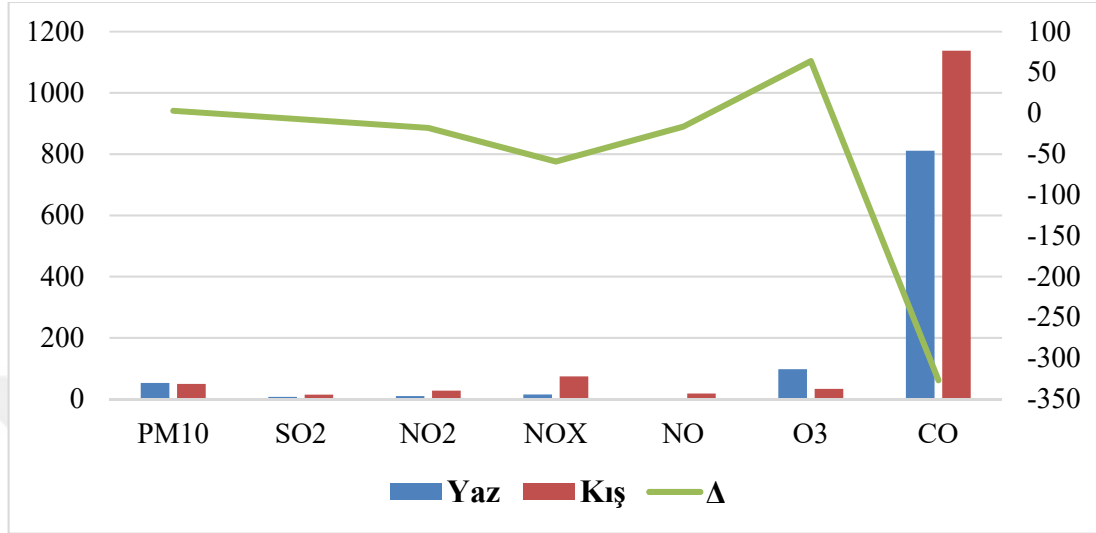
Aydın'da kirlilik yükünün sezonlara göre yalnızca düzey bazında değil aynı zamanda mekânsal yayılım ve kümelenme biçimi açısından da anlamlı ölçüde farklılaştığını göstermektedir. Dolayısıyla çoklu kirlenici yükünün tek bir bileşik göstergeye (RMS) indirgenmesini analitik açıdan gerekli kılmaktadır.



Şekil 36. Aydın ili için kış dönemi (Kas-Şub) referans tabanlı normalize edilmiş alt- indeks kirlenici yüzeyleri

Aydın ili için istasyon bazlı günlük ölçümler kısa süreli dalgalanmaların ve eksik gözlemlerin sezonsal temsili bozmasını önlemek amacıyla önce günlük medyan ile temsil edilmiştir. Daha sonra çalışmada tanımlanan sezon pencereleri esas alınarak her kirlenici için sezonluk medyan değerler türetilmiştir. Böylece dönemler arası karşılaştırma eşit uzunlukta (4 aylık) periyotlar üzerinden yürütülmüştür. Son aşamada $\Delta = \text{Yaz} - \text{Kış}$ farkı hesaplanarak sezonsal değişimin yönü ve görece büyüklüğü kirlenici bazında özetlenmiştir. Aydın örneğinde grafiksel özet Şekil 37’de sunulmuştur. Ozonun yaz döneminde belirgin biçimde yükselme eğilimi sergilediğini buna karşılık NO/NO_x ile birlikte CO gibi birincil kirlenicilerde yaz döneminde görece azalma olduğunu göstermektedir. Bu desen, yaz sezonunda artan turizm ve hareketlilik baskısıyla birlikte fotokimyasal süreçlerin (özellikle O₃ oluşumu) güçlenebileceğine aynı zamanda meteorolojik koşullar karışım yüksekliği ve taşınım dinamikleri nedeniyle bazı birincil kirlenicilerin birikim davranışının kış dönemine kıyasla zayıflayabileceğine işaret etmektedir. Elde edilen yaz/kış medyanları ve Δ değerleri tekil kirlenicilerin sezonsal davranışını bütüncül biçimde görünür kılmakta ve bir sonraki adımda farklı kirlenicileri

ortak ölçekte bir araya getiren çoklu kirletici birleşik metrik (RMS) yaklaşımının gerekçesini güçlendirmektedir. Çünkü kirleticiler aynı dönemde aynı yönde değişmeyebilmekte ve tekil göstergelerle genel kirlilik yükünü yorumlamak sınırlı kalabilmektedir.

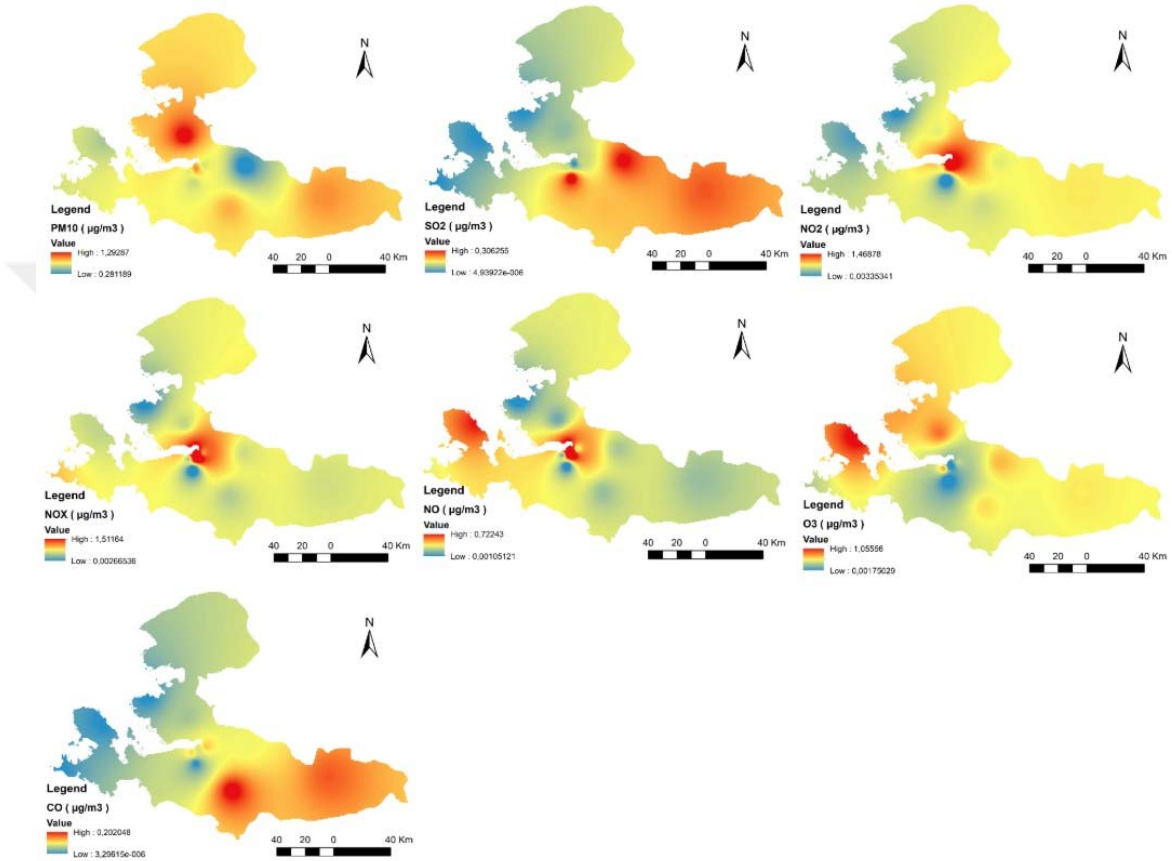


Şekil 37. Aydın ili için kirletici bazında sezonluk medyan konsantrasyonların (Yaz: Haz-Eyl; Kış: Kas-Şub) ve Δ =Yaz-Kış farklarının karşılaştırılması

İzmir ili için referansla normalize edilmiş alt-indeks yüzeyleri yaz ve kış dönemleri arasında hem düzey hem de mekânsal yayılım bakımından belirgin bir farklılaşmaya işaret etmektedir. Yaz döneminde özellikle ulaşım ile ilişkili birincil kirleticiler olan NO, NO_x ve NO₂ alt-indekslerinin belirli odaklarda yükseldiği ve bu yükselmelerin kentsel çekirdek/ulaşım omurgası ile ilişkilendirilebilecek bir mekânsal örüntü ürettiği Şekil 38’de görülmektedir. CO ve kısmen PM10 alt-indeksleri de benzer biçimde yerel maksimumlar oluşturarak yaz sezonundaki hareketlilik ve faaliyet yoğunluğunun bazı alt bölgelerde daha belirgin bir baskı yaratabildiğini düşündürmektedir. SO₂ alt-indeksi görece daha sınırlı odaklar üzerinden ayrışırken O₃ alt-indeksi birincil kirleticilerden farklı olarak daha geniş alanlara yayılan ve yer yer ters yönlü gradyan gösterebilen bir desen sergilemektedir. Bu durum O₃’ün fotokimyasal oluşum süreçleri ve meteorolojiye duyarlı karakteriyle uyumlu değerlendirilmektedir.

Kış döneminde ise alt-indeks yüzeylerinde genel olarak daha alan-süreklilikli bir yapı öne çıkmaktadır. Özellikle NO, NO_x, NO₂ ve CO alt-indekslerinde yaz dönemine kıyasla daha yaygın bir yükselme eğilimi olduğu Şekil 39’da görülmektedir. Bu görünüm kış koşullarında atmosferik kararlılık ve karışım yüksekliğinin azalmasıyla kirleticilerin

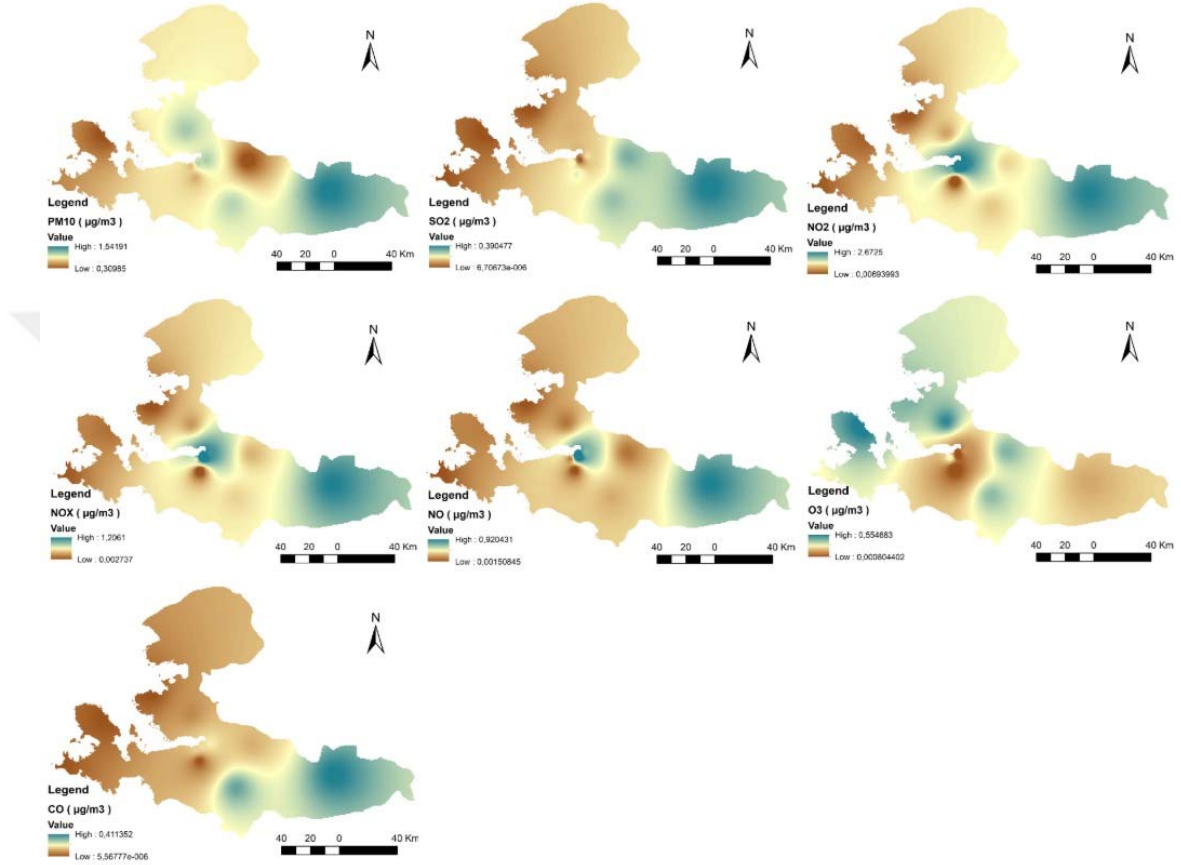
birikmeye daha elverişli hale gelmesi ve ısınma kaynaklı katkıların devreye girebilmesi gibi süreçlerle tutarlı bir çerçevede yorumlanabilir. Sonuç olarak İzmir’de kirleticiler yükü, sezonlara göre yalnızca “artış/azalış” düzeyinde değil aynı zamanda yüksek değerlerin hangi bölgelerde kümелendiği ve alan genelinde nasıl yayıldığı bakımından da değişmektedir. Bu da yedi kirleticinin tek bir bileşik gösterge altında toplanmasını (RMS) sonraki analiz adımı için metodolojik olarak gerekli kılmaktadır.



Şekil 38. İzmir ili için yaz dönemi (Haz-Eyl) referans tabanlı normalize edilmiş alt-
indeks kirleticiler yüzeyleri

İzmir örneğinde Şekil 40, kış döneminde PM10, SO₂, NO₂, NO ve NO_x gibi birincil kirleticilerin daha yüksek seviyelerde seyrettiğini buna karşılık O₃’ün yaz döneminde belirgin biçimde yükseldiğini göstermektedir. Bu karşıt yönlü sezonsal davranış kışın daha durağan atmosferik koşullar ve ısınma/taşıt kaynaklı emisyonların birikimiyle ilişkili bir artış eğilimini yazın ise artan güneşlenme ve fotokimyasal süreçlerin güçlenmesiyle ozon oluşumunun baskınlaşmasını işaret etmektedir. Ayrıca grafikte CO’nun kış döneminde belirgin artışı ve buna karşılık yaz döneminde azalması İzmir’de kış koşullarında birincil emisyonların birikim etkisinin daha görünür olabildiğini

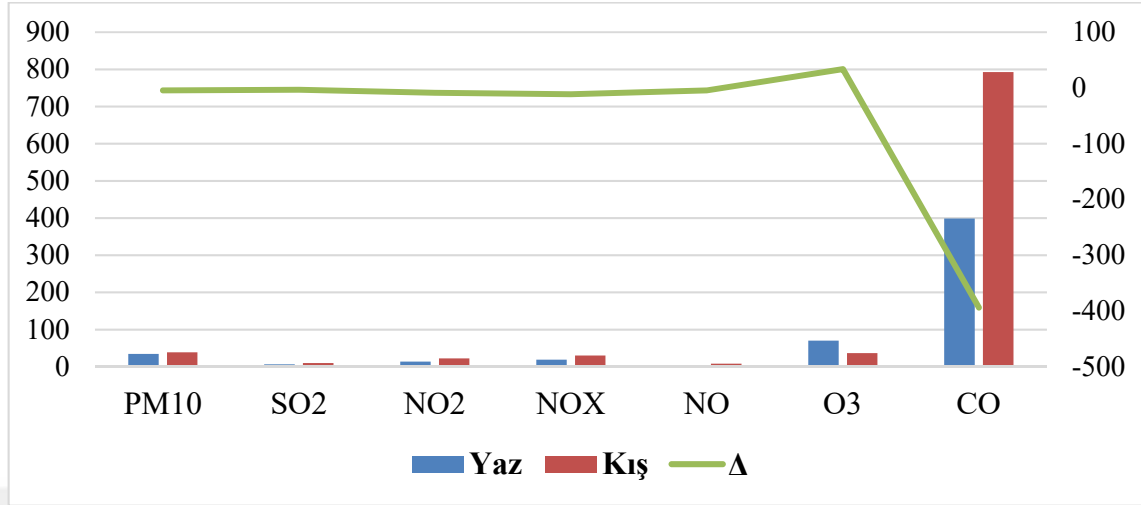
desteklemektedir. Bu bulgular, tekil kirleticilerin sezonal eğilimlerinin aynı yönde ilerlemediğini net biçimde ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bir sonraki aşamada uygulanacak çoklu kirletici birleşik metrik (RMS) yaklaşımının farklı kirleticileri tek bir karşılaştırılabilir göstergede bütünleştirme açısından metodolojik gerekçesini güçlendirmektedir.



Şekil 39. İzmir ili için kış dönemi (Kas-Şub) referans tabanlı normalize edilmiş alt- indeks kirletici yüzeyleri

Antalya için Şekil 41’de verilen RMS haritaları yedi kirleticinin (PM10, SO₂, NO₂, O₃, CO, NO ve NO_x) referans tabanlı alt-indekslerinden türetilen birleşik kirlilik yükünün sezonlara göre hem düzey hem de mekânsal desen bakımından anlamlı ölçüde farklılaştığını göstermektedir. Yaz döneminde RMS yüzeyinin belirli odaklarda yükseldiği ve kirlilik yükünün daha çok yerel kümelenmeler üzerinden temsil edildiği görülürken kış döneminde RMS değerlerinin daha yaygın ve süreklilik gösteren bir dağılıma yöneldiği dikkati çekmektedir. Bu durum kış koşullarında atmosferik kararlılık/inversiyon, karışım yüksekliğinin azalması ve emisyonların birikmeye daha

elverişli hale gelmesi gibi süreçlerin birleşik kirlilik yükünü alan geneline daha fazla yayabilmesi ile tutarlı bir çerçevede değerlendirilebilir.

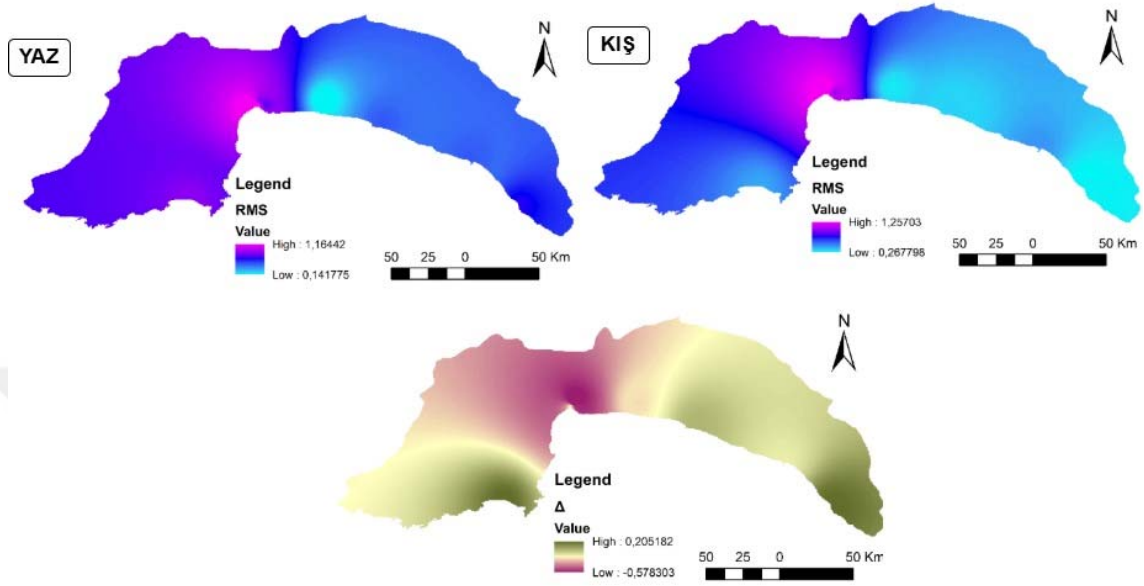


Şekil 40. İzmir ili için kirlenici bazında sezonluk medyan konsantrasyonların (Yaz: Haz-Eyl; Kış: Kas-Şub) ve $\Delta = \text{Yaz} - \text{Kış}$ farklarının karşılaştırılması

Şekil 41’de sunulan ΔRMS haritası sezonsal değişimin yönünü ve büyüklüğünü birlikte ortaya koyarak Antalya’da birleşik kirlilik yükünün hangi alt bölgelerde yaz döneminde arttığı ve hangi alanlarda kış baskısının öne çıktığı konusunda doğrudan bir mekânsal okuma sağlamaktadır. Pozitif ΔRMS değerleri yaz döneminde birleşik kirlilik yükünün görece artışını negatif değerler ise kış döneminde RMS’in daha baskın olduğunu ifade etmektedir. Bu sonuçlar turizm sezonu ile ilişkilendirilen hareketlilik ve faaliyet yoğunluğunun olası etkilerinin tekil kirlenici düzeyinde dağınık biçimde görülebileceğini göstermektedir. Buna karşın RMS yaklaşımının bu çoklu etkileri tek bir bileşik gösterge altında toplayarak hem sezonlar arası karşılaştırmayı hem de sonraki aşamada SUI ile yapılacak ilişkilendirme analizini daha okunur ve tutarlı hale getirdiğini göstermektedir.

Muğla ili için Şekil 42’de verilen RMS haritaları yedi kirlenicinin referansla normalize edilmiş alt-indekslerinden türetilen birleşik kirlilik yükünün sezonlara bağlı olarak hem düzey hem de mekânsal yayılım bakımından belirgin biçimde farklılaştığını göstermektedir. Yaz döneminde RMS yüzeyi özellikle belirli odaklar çevresinde yükselen değerler üreterek kirlilik yükünün daha çok yerel kümelenmeler üzerinden temsil edildiğine işaret etmektedir. Bu görünüm, yaz sezonunda turizm hareketliliğinin ve kıyı destinasyonlarıyla ilişkili faaliyet yoğunluğunun belirli alanlarda yoğunlaşmasıyla tutarlı bir mekânsal örüntü sunmaktadır. Kış döneminde ise RMS değerlerinin genel olarak daha

yüksek seviyelere ulaşması ve daha alan-süreklilikli bir dağılım göstermesi dikkat çekmektedir. Bu durum, kış koşullarında atmosferik karışımın zayıflaması durağan hava/inversiyon olasılığının artması ve yerel emisyonların daha kolay birikmesi gibi süreçlerin birleşik kirlilik yükünü güçlendirebilmesiyle açıklanabilir niteliktedir.

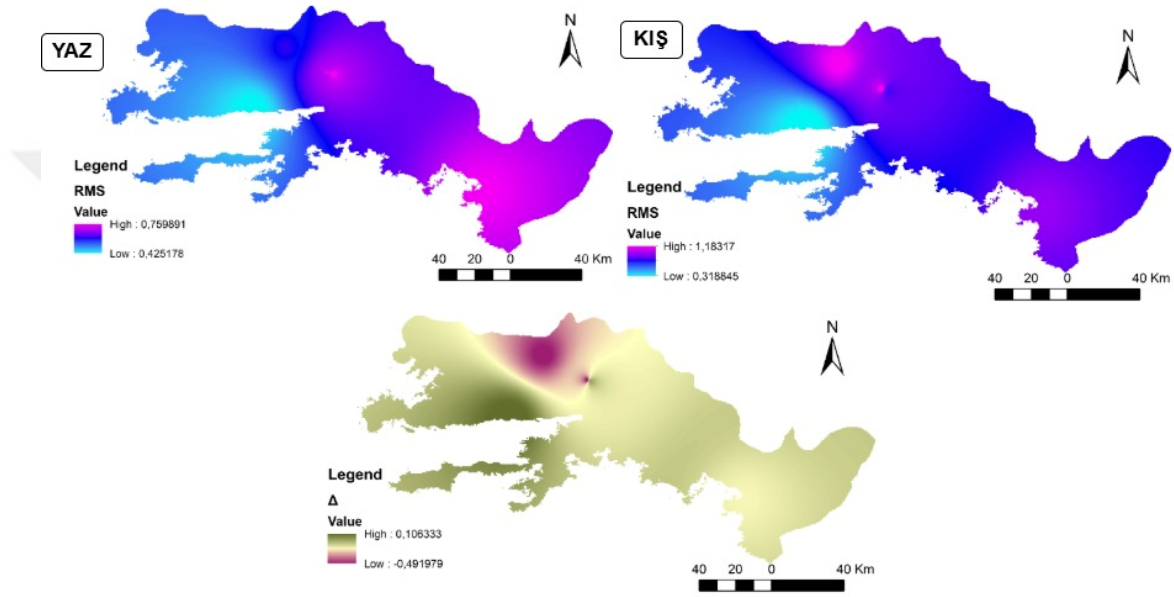


Şekil 41. Antalya ili için çoklu kirlenici birleşik kirlilik (RMS) haritaları: yaz dönemi RMS, kış dönemi RMS ve sezonsal fark haritası

Şekil 42’de sunulan Δ RMS haritası sezonsal değişimin yönünü ve büyüklüğünü doğrudan izlemeyi mümkün kılmaktadır. Negatif Δ RMS değerlerinin baskın olduğu alanlar Muğla’da birleşik kirlilik yükünün kış döneminde daha yüksek seyrettiğini göstermektedir. Pozitif değerlerin görüldüğü sınırlı odaklar ise yaz döneminde görece artışın ortaya çıktığını göstermektedir. Bu bulgu, turizm sezonu etkisinin mekânsal olarak homojen bir artış şeklinde değil daha çok belirli çekim/aktivite odaklarında ortaya çıkabileceğini ifade etmektedir. Buna karşılık kış koşullarının birleşik kirlilik yükünü daha geniş alanlarda yükseltme potansiyeline sahip olduğunu düşündürmektedir. Sonuç olarak RMS yaklaşımı tekil kirlenici haritalarında parçalı biçimde izlenen sezonsal sinyali tek bir bileşik gösterge altında birleştirilerek Muğla’da turizm-ulaşım baskısı ile hava kirliliği yükü arasındaki olası mekânsal ilişkinin SUI ile karşılaştırılmasına uygun, okunabilir bir analiz zemini sağlamaktadır.

Aydın ili için Şekil 43’de verilen RMS haritaları, yedi kirlenicinin referansla normalize edilmiş alt-indekslerinden türetilen birleşik kirlilik yükünün sezonlara göre

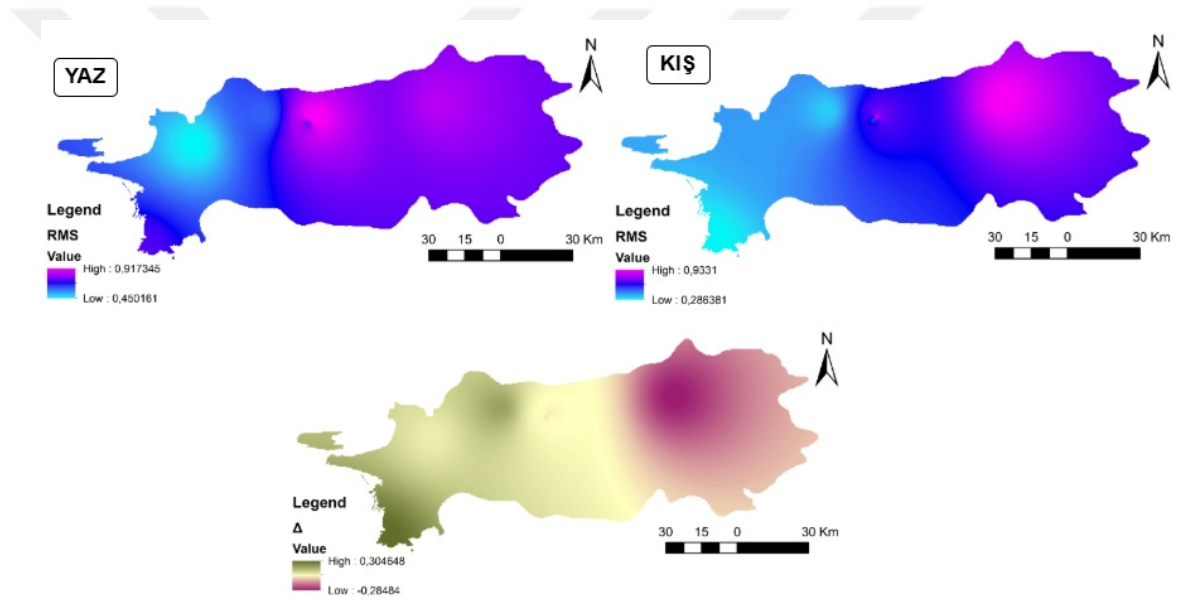
hem şiddet hem de mekânsal dağılım açısından farklılaştığını ortaya koymaktadır. Yaz döneminde RMS değerlerinin belirli odaklarda yükseldiği ve kirlilik yükünün daha çok lokal kümelenmeler üzerinden temsil edildiği görülürken kış döneminde RMS yüzeyinin daha alan-süreklilikli bir dağılıma yöneldiği ve bazı bölgelerde daha yüksek değerlere ulaştığı dikkat çekmektedir. Bu görünüm, kış koşullarında atmosferik karışımın zayıflaması ve kirleticilerin birikmeye daha elverişli hale gelmesi gibi meteorolojik süreçlerin birleşik kirlilik yükünü güçlendirebilmesiyle tutarlı bir çerçevede yorumlanabilir.



Şekil 42. Muğla ili için çoklu kirletici birleşik kirlilik (RMS) haritaları: yaz dönemi RMS, kış dönemi RMS ve sezonsal fark haritası

Şekil 43’de yer alan Δ RMS haritası Aydın’da sezonsal değişimin yönünü ve büyüklüğünü mekânsal olarak ayrıştırmaktadır. Pozitif Δ RMS değerlerinin görüldüğü alanlar yaz döneminde birleşik kirlilik yükünün görece olarak arttığını negatif değerlerin baskınlaştığı bölgeler ise kış döneminde RMS’in daha belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, turizm sezonu etkisinin Aydın genelinde homojen bir artıştan ziyade belirli çekim/aktivite odaklarında ortaya çıkabileceğini kanıtlar. Buna karşılık kış koşullarının birleşik kirlilik yükünü daha geniş bir alana yayma potansiyeline sahip olduğunu düşündürmektedir. Dolayısıyla RMS yaklaşımı tekil kirleticilerde dağınık biçimde izlenebilen sezonsal sinyali tek bir bileşik gösterge altında birleştirilerek turizm-ulaşım uygunluğu (SUI) ile kirlilik yükü arasındaki mekânsal ilişkinin sonraki adımlarda daha açık ve karşılaştırılabilir şekilde test edilmesine olanak sağlamaktadır.

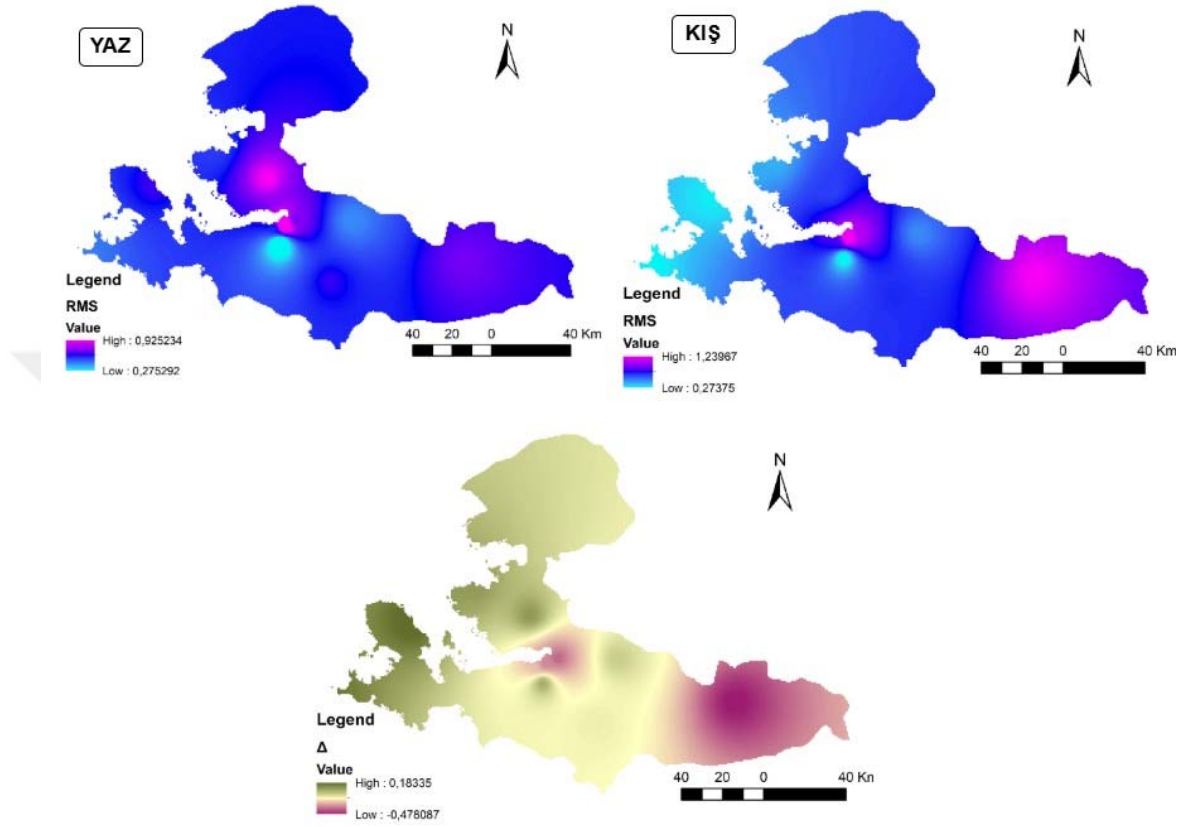
İzmir ili için Şekil 44’de düzenlenen RMS haritaları yedi kirleticinin referansla normalize edilmiş alt-indekslerinden türetilen birleşik kirlilik yükünün sezonlara bağlı olarak hem düzey hem de mekânsal desen bakımından belirgin biçimde farklılaştığını göstermektedir. Yaz döneminde RMS yüzeyi genel olarak daha düşük-orta düzeylerde seyrederken belirli odaklarda ortaya çıkan yükselmeler birleşik kirlilik yükünün kümelenme eğilimli bir yapı sergilediğine işaret etmektedir. Buna karşılık kış döneminde RMS değerlerinin daha yüksek seviyelere ulaştığı ve alan genelinde daha süreklilik gösteren bir dağılım yapısının baskın hale geldiği dikkat çekmektedir. Bu durum kış koşullarında atmosferik kararlılık/inversiyon olasılığının artması, karışım yüksekliğinin azalması ve yerel emisyonların daha kolay birikmesi gibi süreçlerin birleşik kirlilik yükünü güçlendirebilmesiyle tutarlı bir çerçevede değerlendirilebilir.



Şekil 43. Aydın ili için çoklu kirletici birleşik kirlilik (RMS) haritaları: yaz dönemi RMS, kış dönemi RMS ve sezonsal fark haritası

Şekil 44’de sunulan Δ RMS haritası İzmir’de sezonsal değişimin yönünü ve büyüklüğünü mekânsal olarak ayrıştırmaktadır. Negatif Δ RMS değerlerinin görüldüğü geniş alanlar birleşik kirlilik yükünün kış döneminde daha baskın seyrettiğini açıklar. Pozitif değerlerin sınırlı odaklarda ortaya çıkması ise yaz döneminde görece artışın belirli alt bölgelerle sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu bulgu, turizm sezonu etkisinin İzmir ölçeğinde homojen bir artıştan ziyade mekânsal olarak seçici (belirli çekim/aktivite ve hareketlilik odaklarında) bir karakter sergileyebileceğine buna karşılık kış koşullarının birleşik kirlilik yükünü daha geniş alanlarda yükseltme potansiyeline sahip olduğuna

işaret etmektedir. Sonuç olarak RMS yaklaşımı tekil kirletici haritalarında parçalı biçimde izlenebilen sezonsal sinyali tek bir bileşik gösterge altında birleştirerek turizm-ulaşım uygunluğu (SUI) ile kirlilik yükü arasındaki ilişkinin sonraki adımda daha tutarlı ve karşılaştırılabilir biçimde sınanmasına uygun bir analiz zemini sağlamaktadır.

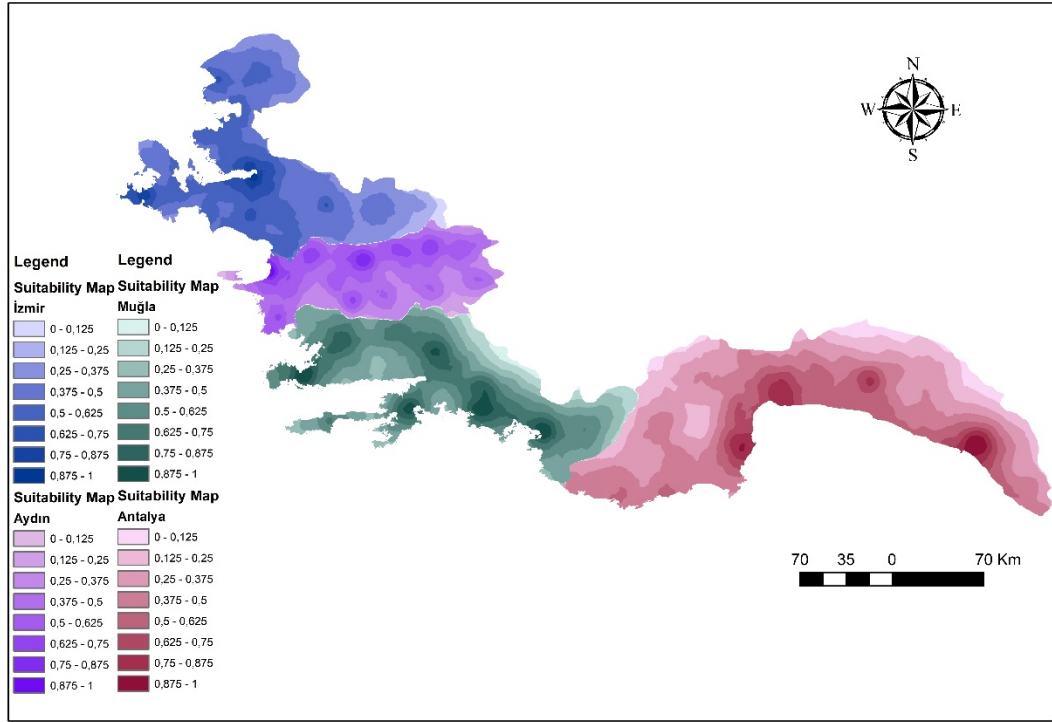


Şekil 44. İzmir ili için çoklu kirletici birleşik kirlilik (RMS) haritaları: yaz dönemi RMS, kış dönemi RMS ve sezonsal fark haritası

3.4. SUI Sınıfları ile RMS Haritalarının Zonal İstatistiklerle İlişkilendirilmesi

Bu çalışmada turizm-ulaşım uygunluğu (SUI) ile çoklu kirletici kaynaklı birleşik hava kirliliği yükü arasındaki mekânsal ilişkinin nicel olarak ortaya konulabilmesi amacıyla zonal istatistik analizi uygulanmıştır. RMS rasterları, farklı birim ve büyüklük aralıklarına sahip yedi kirleticinin referans değerler üzerinden normalize edilmesiyle elde edilen alt-indekslerin tek bir bileşik ölçüte indirgenmesini sağladığından “çoklu kirletici yükünü” tek bir harita üzerinde karşılaştırılabilir biçimde temsil etmektedir. Bu nedenle analizde tekil kirletici yüzeyler yerine, yaz ve kış dönemleri için üretilen RMS_{yaz} ve $RMS_{kış}$ ile sezonsal farkı yansıtan ΔRMS rasterları kullanılmıştır. ArcMap ortamında

gerçekleştirilen zonal istatistikler kapsamında nihai SUI haritaları 8 sınıfa ayrılarak zon rasteri olarak tanımlanmış ve Şekil 45’de verilmiştir. Her bir uygunluk sınıfı içerisinde kalan RMS hücrelerinin ortalama (mean) değerleri hesaplanmıştır (NoData değerleri dışlanmıştır). Böylece, uygunluk düzeyi arttıkça birleşik kirlilik yükünün artıp artmadığı (trend), sezonsal değişimin hangi uygunluk sınıflarında yoğunlaştığı ve aynı uygunluk düzeyinde iller arası farklılaşmaların bulunup bulunmadığı sınıf-bazlı, karşılaştırılabilir göstergelerle değerlendirilebilir hale getirilmiştir.



Şekil 45. Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir için 8 sınıflı Turizm-Ulaşım Uygunluk (SUI) haritalarının mekânsal dağılımı ve iller arası karşılaştırmalı gösterimi

Birincil trafik/yanma kaynaklı kirleticiler (NO_x, NO, NO₂ ve CO) Antalya’da genel olarak kış döneminde daha yüksek bir düzeye işaret etmektedir. Özellikle “Trafik” istasyonu, hem yaz hem kış sezonunda en yüksek azot oksit seviyelerini vermekte (NO_x: yaz 104,895, kış 124,275 µg/m³; NO₂: yaz 61,835, kış 72,49 µg/m³; NO: yaz 42,955, kış 50,435 µg/m³) ve Δ değerlerinin negatif olması (örn. NO_x için -19,38) kışın artışını açık biçimde göstermektedir. Benzer şekilde Kepez ve Muratpaşa gibi kentsel istasyonlarda da kışın belirgin yükseliş vardır (ör. Kepez NO_x: yaz 30,21 → kış 100,695 µg/m³, Δ-70,485; Muratpaşa NO_x: yaz 32,475 → kış 75,66 µg/m³, Δ-43,185). CO için de kış baskınlığı dikkat çekmektedir (Serik CO: yaz 464,355 → kış 714,86 µg/m³, Δ-250,505;

Kepez CO: yaz 408,57 → kış 731,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Δ -322,77). Bu desen, kışın artan yakıt tüketimi/ısınma emisyonları ile atmosferik kararlılık/inversiyon koşullarının birincil kirleticileri biriktirmesiyle tutarlıdır.

Fotokimyasal ikincil kirletici olan O_3 için ise ters bir mevsimsellik öne çıkmaktadır. Birçok istasyonda yaz döneminde O_3 artışı görülmektedir (Gazipaşa O_3 : yaz 102 → kış 65,125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Δ +36,875; Kepez O_3 : yaz 69,105 → kış 36,945 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Δ +32,16; Kumluca Δ +6,725). Bu durum, yazın güneşlenme süresi ve sıcaklık artışıyla fotokimyasal üretimin güçlenmesi ve bazı bölgelerde NO ile “titrasyon” etkisinin zayıflamasıyla açıklanabilir. Buna karşılık “Trafik” istasyonunda O_3 farkının yaklaşık sıfıra yakın olması ($\Delta \approx -0,06$) yerel NO zenginliğinin O_3 ’ü tüketmesiyle ilişkili olabilir.

Partikül madde (PM10 ve sınırlı ölçümle PM2.5) açısından Antalya’da mevsimsel desen istasyonlara göre farklılaşmaktadır. Kumluca’da PM10’un yazın belirgin şekilde yükselmesi (yaz 64,715 → kış 33,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Δ +31,425) kırsal/yarı-kırsal kaynaklı toz yeniden süspansiyonu, tarımsal faaliyetler ve yaz kuraklığı gibi süreçlerle uyumlu bir sinyal verirken, Kepez ve Muratpaşa’da kışın daha yüksek PM10 (Kepez: yaz 34,52 → kış 49,635, Δ -15,115; Muratpaşa: yaz 32,94 → kış 47,335, Δ -14,395) kentsel yanma ve meteorolojik birikim etkilerine işaret etmektedir. SO_2 ’de ise değişimlerin daha sınırlı ve istasyonlar arasında heterojen olması (bazı istasyonlarda yaz artışı, bazılarında kış artışı) bu kirleticinin daha çok yerel kaynak/ölçüm koşullarıyla şekillendiğini düşündürmektedir.

Bu istasyon-bazlı sezonsal özetler, Antalya’da kışın birincil yanma ve trafik kökenli kirleticilerin, yazın ise fotokimyasal süreçlerle ilişkili O_3 ’ün öne çıktığını ifade etmektedir. PM10’un ise yerel arazi/kaynak koşullarına bağlı olarak farklı mevsimsellik gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Muğla’da birincil kaynaklı kirleticiler (özellikle NO_2 , NO_x , NO ve CO) açısından baskın desen birçok istasyonda kış döneminde artış yönündedir. Bu durum, Fethiye ve Trafik istasyonlarında açık biçimde izlenmektedir. Fethiye’de NO_2 (yaz 19,29; kış 37,73; Δ -18,44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), NO_x (yaz 23,45; kış 58,5; Δ -35,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve NO (yaz 3,03; kış 19,96; Δ -16,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) değerleri kışın belirgin şekilde yükselmiştir. Benzer şekilde Trafik istasyonunda NO_2 (Δ -15,515), NO_x (Δ -29,175) ve NO (Δ -13,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) negatif farklar vermiştir. CO için de her iki istasyonda kış artışı dikkat çekmektedir (Fethiye Δ -327,69; Trafik Δ -405,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Bu çıktılar, kış aylarında ısınma kaynaklı emisyonların artması

ve meteorolojik kararlılık koşullarının birincil kirleticileri biriktirmesiyle uyumludur. Ayrıca “Trafik” istasyonunda gözlenen yüksek NO_x ve CO düzeyleri ulaşım kaynaklı yerel emisyon etkisini desteklemektedir.

Partikül madde (PM₁₀) açısından ise Muğla’da istasyonların çoğunda yaz döneminde daha yüksek değerler elde edilmiştir (Fethiye $\Delta+7,97$; Trafik $\Delta+8,49$; Muslihittin $\Delta+19,345$; Milas Ören $\Delta+12,62$; Yatağan $\Delta+8,84$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Bu sonuç, yazın kuraklık koşulları ve yüzey tozu yeniden süspansiyonu gibi süreçlerin PM₁₀’u artırabilmesiyle tutarlıdır. Bununla birlikte PM₁₀ değişiminin büyüklüğü istasyonlar arasında farklılaşmaktadır. Muslihittin ve Milas Ören gibi noktalarda yaz artışı daha belirgin görünmektedir. Bu heterojenlik, yerel arazi kullanımı, rüzgar rejimi ve kaynak bileşimi farklılıklarının Muğla genelinde PM₁₀ dağılımını mekânsal olarak çeşitlendirdiğini düşündürmektedir.

SO₂ için genel eğilim çoğu istasyonda kış döneminde artış yönündedir (Fethiye $\Delta-2,24$; Muslihittin $\Delta-2,62$; Milas $\Delta-8,615$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Bu durum, SO₂’nin özellikle yakıt yanması ve bazı endüstriyel faaliyetlerle ilişkili olabilmesi nedeniyle kışın daha belirgin hale gelmesiyle açıklanabilir. Bununla birlikte Yatağan’da SO₂’nin yazın daha yüksek bulunması ($\Delta+1,94$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$) istasyon çevresindeki yerel kaynak dinamiklerinin ve ölçüm dönemindeki koşulların belirleyici olabileceğine işaret eder. Bu tür istasyon özgül sapmaların mekânsal interpolasyon aşamasında dikkate alınması önemlidir.

O₃ için ise Muğla’da ölçüm bulunan istasyonlarda mevsimsellik ters yönlüdür. Bazı istasyonlarda yazın artış gözlenmektedir. Yatağan’da O₃ (yaz 79,29; kış 47,885; $\Delta+31,405$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$) belirgin biçimde yaz lehine artarken Milas’ta daha güçlü bir yaz artışı görülmektedir (yaz 76,02; kış 11,19; $\Delta+64,83$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Bu desen, yaz aylarında güneşlenme ve sıcaklık artışıyla fotokimyasal üretimin güçlenmesine karşılık gelmektedir. Muslihittin’de O₃ farkının belirgin olmaması istasyon bazında kaynak ve meteoroloji etkileşiminin farklılaşabileceğini göstermektedir.

Özetle, Muğla ili istasyon özetleri; NO₂, NO_x, NO ve CO için kış baskınlığını, PM₁₀ için birçok istasyonda yaz artışını, O₃ için ise ölçüm bulunan istasyonlarda yaz sezonunda belirgin yükselişi ortaya koymaktadır.

Aydın’da trafik/yanma kaynaklı birincil kirleticiler (özellikle NO_x, NO ve CO) açısından belirgin desen ölçüm bulunan istasyonlarda kış döneminde artış yönündedir. Bu eğilim en güçlü biçimde Trafik istasyonunda gözlenmektedir. NO_x yazın 99,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

iken kışın 124,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ye yükselmiş (Δ -24,72), NO yazın 31,27'den kışın 37,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ye çıkmış (Δ -6,56) ve CO yazın 839,2 iken kışın 1576,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ye yükselmiştir (Δ -736,91). Benzer şekilde Nazilli istasyonunda NO_x (yaz 15,43 → kış 56,48, Δ -41,05) ve NO (yaz 1,84 → kış 15,145, Δ -13,305) kışın belirgin şekilde artmaktadır. CO'da da istasyonlar arası değişkenlik görülmekle birlikte, genel eğilim kışın yükseliş yönündedir (ör. Söke: yaz 561,68 → kış 529,15, Δ +32,53 ile sınırlı bir yaz artışı; Efeler: yaz 832,6 → kış 976,01, Δ -143,41 ile kış artışı). Bu bulgular, kışın artan yakıt tüketimi (ısınma) ve atmosferik kararlılık koşullarının birincil kirleticileri biriktirmesiyle uyumludur; ayrıca "Trafik" istasyonunda gözlenen yüksek NO_x/CO seviyeleri ulaşım kaynaklı yerel baskıyı desteklemektedir.

PM₁₀ açısından Aydın'da mevsimsellik istasyonlara göre farklılaşmaktadır. Didim istasyonunda PM₁₀ yazın 49,41 iken kışın 24,445 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ye düşmekte (Δ +24,965), bu da yaz döneminde toz yeniden süspansiyonu/kuraklık etkileri gibi süreçlerin PM₁₀'u artırabildiğine işaret etmektedir. Buna karşın Söke'de yaz-kış farkı sınırlı ve ters yöndedir (yaz 37,78 → kış 41,3, Δ -3,52). Nazilli'de ise PM₁₀ yazın daha yüksek görülmektedir (yaz 55,98 → kış 66,75, Δ -10,77; burada kış artışı vardır). Dolayısıyla PM₁₀, Aydın genelinde tek tip bir mevsimsellik göstermemekte; yerel kaynak bileşimi ve meteorolojik koşullara bağlı olarak istasyon bazında değişmektedir.

SO₂ sonuçları ölçüm bulunan istasyonların çoğunda kış döneminde artış eğilimine işaret etmektedir (Didim Δ +1,85 ile yaz artışı; Söke Δ -3,24, Germencik Δ -5,25, Aydın Δ -7,12, Efeler Δ -14,99, Nazilli Δ -24,235 ile kış artışı). Özellikle Efeler ve Nazilli'deki negatif Δ değerlerinin büyüklüğü kış aylarında yanma kaynaklı SO₂ katkısının ve/veya atmosferik birikimin daha belirgin olabileceğini düşündürmektedir.

O₃ için ise Aydın'da ölçüm bulunan istasyonlarda yaz döneminde belirgin artış saptanmaktadır. Didim'de O₃ yazın 106,4 iken kışın 36,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ye düşmekte (Δ +69,53); Söke'de Δ +28,07, Germencik'te Δ +57,39, Efeler'de Δ +81,86, Nazilli'de Δ +60,665 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Bu güçlü pozitif farklar yazın artan güneşlenme ve sıcaklık koşulları altında fotokimyasal üretimin güçlenmesiyle tutarlı olup Aydın'da ozonun mevsimsel davranışının birincil kirleticilerin tersine yaz baskın olduğunu göstermektedir.

Genel olarak Aydın ili istasyon özetleri kış döneminde NO_x/NO/CO ve SO₂ gibi birincil kirleticilerin arttığını buna karşılık O₃'ün yazın belirgin biçimde yükseldiğini

ortaya koymaktadır. PM10 ise istasyonlar arasında heterojen bir mevsimsellik sergileyerek yerel arazi kullanımı ve kaynak koşullarının önemini vurgulamaktadır.

Genel desen, İzmir’de birincil ve yanma kaynaklı kirleticilerin (PM10, SO₂, NO₂, NO_x, NO ve CO) çoğu istasyonda kışın yükselmesi yönündedir. Özellikle iç kesim ve kentsel etkisi güçlü istasyonlarda bu fark belirgindir. Ödemiş’te NO_x ($\Delta \approx -54,82$), NO ($\Delta \approx -25,68$) ve CO ($\Delta \approx -990,15$) kışın belirgin şekilde artmaktadır; benzer biçimde Eğitim İstasyonu (NO_x $\Delta \approx -40,34$, NO₂ $\Delta \approx -21,75$, CO $\Delta \approx -305,54$), Konak (NO₂ $\Delta \approx -30,15$, NO_x $\Delta \approx -31,08$, CO $\Delta \approx -378,54$) ve Torbalı (CO $\Delta \approx -574,23$) istasyonlarında kış dönemi baskısı öne çıkmaktadır. Bu bulgu, kış aylarında artan ısınma kaynaklı emisyonlar ile daha kararlı atmosferik koşulların (seyrelmenin zayıflaması) birincil kirleticileri biriktirmesiyle tutarlıdır. PM10 için de çoğu istasyonda Δ ’nin negatif olması (örn. Torbalı $\Delta \approx -8,80$; Ödemiş $\Delta \approx -24,64$; Eğitim İstasyonu $\Delta \approx -20,94$) kışın partikül birikiminin güçlendiğini göstermektedir.

Buna karşılık O₃, İzmir’de veri bulunan istasyonların büyük bölümünde yaz döneminde artış göstermektedir ($\Delta > 0$). Örneğin Torbalı ($\Delta \approx +21,61$), Ödemiş ($\Delta \approx +41,15$), Kemalpaşa ($\Delta \approx +27,20$), Karabağlar ($\Delta \approx +41,21$), Karaburun ($\Delta \approx +50,09$), Aliağa ($\Delta \approx +42,60$) ve Menemen ($\Delta \approx +32,41$) değerleri yazın ozon yükünün belirginleştiğini göstermektedir. Bu durum, yaz aylarında güneşlenme ve sıcaklığın artmasına bağlı fotokimyasal üretim mekanizmasının güçlenmesiyle uyumludur. Yani İzmir’de ozon mevsimselliği birincil kirleticilerin tersine yaz baskın bir karakter sergilemektedir.

İstasyonlar arası karşılaştırma ayrıca kıyı ve turizm odaklı alanlarda daha farklı bir tabloya işaret etmektedir. Çeşme ve Karaburun istasyonlarında NO ve NO_x için Δ ’nin pozitif olması (Çeşme: NO_x $\Delta \approx +15,12$ ve NO $\Delta \approx +4,58$; Karaburun: NO_x $\Delta \approx +0,20$ ve NO $\Delta \approx +4,86$) yaz döneminde artan hareketlilik ve yerel emisyon baskısının (turizm sezonu etkisi dahil) bazı kirleticilerde sinyal üretebildiğini düşündürmektedir. Bununla birlikte aynı istasyonlarda O₃’ün de yazın artması, kıyı bölgelerinde yaz sezonunda hem fotokimyasal süreçlerin hem de sezonluk aktivitenin birlikte rol oynayabileceğini göstermektedir.

Özetle, İzmir bulguları kış döneminde PM10, SO₂, NO₂, NO_x, NO ve CO’nun yükseldiğini yaz döneminde ise O₃’ün belirgin şekilde arttığını ortaya koymaktadır. Bu mevsimsel ayrışma, tez kapsamında (i) sezonlara göre ayrı yüzeylerin üretilmesini, (ii) Δ

haritaları ile değişimin mekânsal olarak izlenmesini ve (iii) normalize alt indekslerin RMS altında tek bir birleşik kirlilik metriğine taşınmasını yöntemsel olarak destekleyen güçlü bir ampirik zemin sunmaktadır.

3.5. İller Arası Karşılaştırmalı Analiz: Turizm-Ulaşım Baskısı, Sezonal Kirlilik ve Genellenebilirlik

Bu alt bölüm, tezin bütüncül akışını (SUI→sezonal kirlilik yüzeyleri→RMS birleşik etki→ Δ ile turizm sinyali→zonal istatistik ile sınıf-temelli kanıt→iller arası karşılaştırma) tek bir çerçevede birleştirerek bulguları tartışmaktadır. Bu amaçla, dört il için üretilen Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi (SUI) haritaları “baskı/maruziyet potansiyeli”ni temsil eden mekânsal bir referans yüzey olarak ele alınmıştır. Yaz ve kış dönemleri için normalize edilmiş kirliletiçi alt-indeksleri üzerinden hesaplanan RMS haritaları ise çoklu kirliletiçi yükünü tek bir metrik altında birleştiren “bileşik kirlilik” göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Δ RMS (Yaz–Kış) yüzeyi, yaz sezonunda gözlenen artışların (pozitif Δ) turizm ve sezonluk hareketlilikle ilişkili olabilecek mekânsal sinyallerini, negatif Δ değerleri ise kış döneminde baskınlaşan meteorolojik/topografik koşullar ve kentsel-ulaşım kaynaklı emisyonların göreceli ağırlığını yansıtan bir karşılaştırma katmanı olarak kullanılmıştır.

(i) SUI temelli turizm-ulaşım baskısının iller arasında karşılaştırılması
SUI sonuçları, dört ilde de yüksek uygunluk alanlarının kıyı şeridi, ana karayolu aksları ve yüksek çekim/konaklama kümeleri ile eşleştiğini göstermektedir. Bununla birlikte mekânsal örüntü açısından belirgin bir ayrışma vardır. Antalya’da yüksek uygunluk kıyı boyunca daha süreklilik gösteren bir bant ve büyük kentsel çekirdek çevresinde yoğunlaşan kümeler ile öne çıkarken Muğla’da yüksek uygunluk alanları parçalı ve çok çekirdekli bir yapı sergileyerek kıyı destinasyonlarının (dağınık turizm odakları) etrafında kümelenmektedir. İzmir’de uygunluk daha belirgin biçimde metropoliten ulaşım ağı ve nüfus yoğunluğu ile birlikte şekillenmektedir. Aydın’da ise kıyı turizmi odakları ile iç kesimlerdeki yerleşim/ulaşım omurgası arasında ikili bir yapı izlenmektedir. Bu farklılaşma, SUI’nin yalnızca turistik çekim unsurlarını değil aynı zamanda ulaşım erişilebilirliğini ve alansal maruziyeti (C3-C4) birlikte taşıması nedeniyle her ilde “turizm baskısı”nın ulaşım ile birleşik bir mekânsal iz düşümünü üretmesinden kaynaklanmaktadır.

(ii) RMS ile çoklu kirletici yükünün iller arasında karşılaştırılması (yaz/kış)

RMS haritaları, iller arasında “bileşik kirlilik” düzeyinin yalnızca tek bir kirleticiye bağlı olmadığını, normalize edilmiş yedi kirleticinin birlikte değerlendirilmesiyle daha sağlam bir mekânsal karşılaştırma sağlandığını ortaya koymaktadır.

Genel olarak, kış RMS desenlerinin kentsel/ulaşım kaynaklı bileşenlerin (özellikle NO_x/NO ve CO) ve kış koşullarında birikimi artırabilen atmosferik stabilitenin etkisiyle daha belirginleştiği görülmektedir. Yaz RMS desenlerinin ise fotokimyasal süreçlerle ilişkilendirilebilen O₃ bileşeni ve sezonluk hareketlilik/yeniden süspansiyon mekanizmalarıyla ilişkilendirilebilen PM₁₀ üzerinden yer yer güçlendiği görülmektedir.

Bu çerçevede İzmir ve Antalya gibi büyük kentsel çekirdeği güçlü illerde kış döneminde RMS’in belirli odaklarda yükselmesi beklenen bir sonuçtur. Muğla ve Aydın gibi turizm odaklarının daha çok kıyı boyunca yaygınlaştığı illerde ise yaz/kış farkı daha çok destinasyon ölçeğinde ve parçalı biçimde ortaya çıkmaktadır.

(iii) ΔRMS (Yaz–Kış) ile “turizm sezonu etkisi”nin iller arasında tartışılması

ΔRMS, tezin “turizm sezonunda kirlilikte anlamlı bir artış sinyali var mı?” sorusunu mekânsal olarak test eden ana katmandır. Pozitif Δ değerleri, yaz döneminde bileşik kirlilik yükünün kışa göre arttığı alanları, negatif Δ değerleri ise kış baskınlığının arttığı alanları göstermektedir. Bu bağlamda, iller arasında iki tipik desen öne çıkmaktadır:

Kentsel-ulaşım baskın desen: ΔRMS’in geniş alanlarda negatif kaldığı yani kışın bileşik yükün daha yüksek seyrettiği durumlar (özellikle büyük kentsel çekirdek ve yoğun karayolu ağının etkili olduğu alanlar). İzmir’de kentsel çekirdek ve ana omurga çevresinde kış RMS’in yükselmesi ve Δ’nın negatifleşmesi bu deseni temsil etmektedir. Antalya’da da bazı odaklarda kış baskınlığı belirginleşmektedir.

Sezonluk destinasyon deseni: ΔRMS’in kıyı destinasyonları çevresinde pozitifleştiği yani yazın bileşik yükün arttığı durumlar. Bu desen, turizm sezonunda artan hareketlilik (trafik, servis taşımaları, liman/terminal yakınlıkları vb.) ve yaz koşullarının (özellikle O₃ oluşumu) etkisiyle daha görünür hale gelir. Aydın ve Muğla’da destinasyon odakları çevresinde yaz sinyali daha seçilebilir bir yapı sunmaktadır.

(iv) Ulaşım tipinin ayrıştırıcı rolü

İller arası farkları açıklamada kritik ayırım, “turizm baskısının hangi ulaşım bileşeni üzerinden taşındığı”dır. SUI’nin C3 bileşenleri (karayolu ağ yoğunluğu, düğüm yoğunluğu, aktarma düğümlerine erişilebilirlik) yüksek olduğunda NO_x/NO ve CO gibi

ulaşımla doğrudan ilişkili kirleticilerin kış döneminde daha yüksek değerlere çıkması ve RMS'i yukarı çekmesi beklenir. Bu durum İzmir'de metropoliten ulaşım omurgası çevresinde daha belirgindir. Antalya ve Muğla'da ise turizm sezonunda hava ulaşımı ve kıyı destinasyonlarının servis taşımaları daha kritik hale gelebilir. Bu nedenle yaz döneminde bazı kıyı odaklarında Δ 'nın pozitifleşmesi “saf turizm sinyali” olmaktan çok turizmle tetiklenen hareketlilik bileşeninin mekânsal yansıması olarak okunmalıdır. Bu tez kapsamında amaç havalimanı etkisini nedensel olarak izole etmekten ziyade, SUI bileşenlerinin işaret ettiği erişilebilirlik ve çekim odaklarının, RMS/ Δ RMS üzerinde bıraktığı izleri mekânsal kanıt düzeyinde ortaya koymaktır.

(v) Zonal istatistik ile sınıf-temelli kanıt ve genellenebilirlik

İller arası karşılaştırmayı “görsel yorum” düzeyinden çıkaran ana adım, SUI'nin 8 sınıflı zonları üzerinde RMS_yaz, RMS_kış ve Δ RMS yüzeylerinin ArcMap Zonal Statistics aracıyla özetlenmesidir. Bu yaklaşım, her ilde “uygunluk/baskı sınıfı arttıkça bileşik kirlilik yükü nasıl değişiyor?” sorusuna doğrudan sınıf-temelli yanıt üretir ve iller arası kıyaslamayı aynı ölçek ve aynı sınıflandırma mantığı içinde mümkün kılar. Zonal sonuçların birlikte okunmasıyla şu çıkarım güçlenir: SUI'nin üst sınıfları (yüksek turizm-ulaşım uygunluğu) ile RMS'in yükseldiği zonların eşleşmesi, turizm-ulaşım baskısının kirlilik yüküyle ilişkili olabileceğini destekleyen bir mekânsal örüntü sunar. Δ RMS'in üst sınıflarda pozitifleştiği zonlar ise turizm sezonuna duyarlı alanların daha seçici biçimde ayırt edilmesini sağlar. Böylece tez, yalnızca tek bir il özelinde bir vaka çalışması olmaktan çıkarak kıyı turizmi-ulaşım bileşimi güçlü illerde uygulanabilir genellenebilir bir analitik çerçeve önermiş olur.

Bu bütünleşik analiz sonucunda en yüksek turizm-ulaşım baskısının mekânsal süreklilik ve yoğunluk açısından Antalya'da, çok çekirdekli destinasyon baskısının Muğla'da, kentsel-ulaşım baskısının İzmir'de, sezonluk destinasyon sinyalinin daha seçilebilir olduğu karma yapının ise Aydın'da daha belirgin olduğu söylenebilir. Ancak bu yorum, tekil kirleticilerden bağımsız olarak RMS/ Δ RMS ve zonal özetler üzerinden üretilen bileşik kanıta dayanmaktadır. Nedensel ayrıştırma (ör. havalimanı-karayolu katkı payı) için ek kaynak envanteri ve ileri modelleme gerektirdiği açıkça not edilmektedir.

3.6. SUI-Kirlilik İlişkisinin Korelasyon Bulguları: İl Bazlı Değerlendirme

Antalya özelinde SUI ile kirlilik göstergeleri arasındaki ilişki raster tabanlı mekânsal çıktılardan rastgele örneklenen nokta değerleri üzerinden il bazında

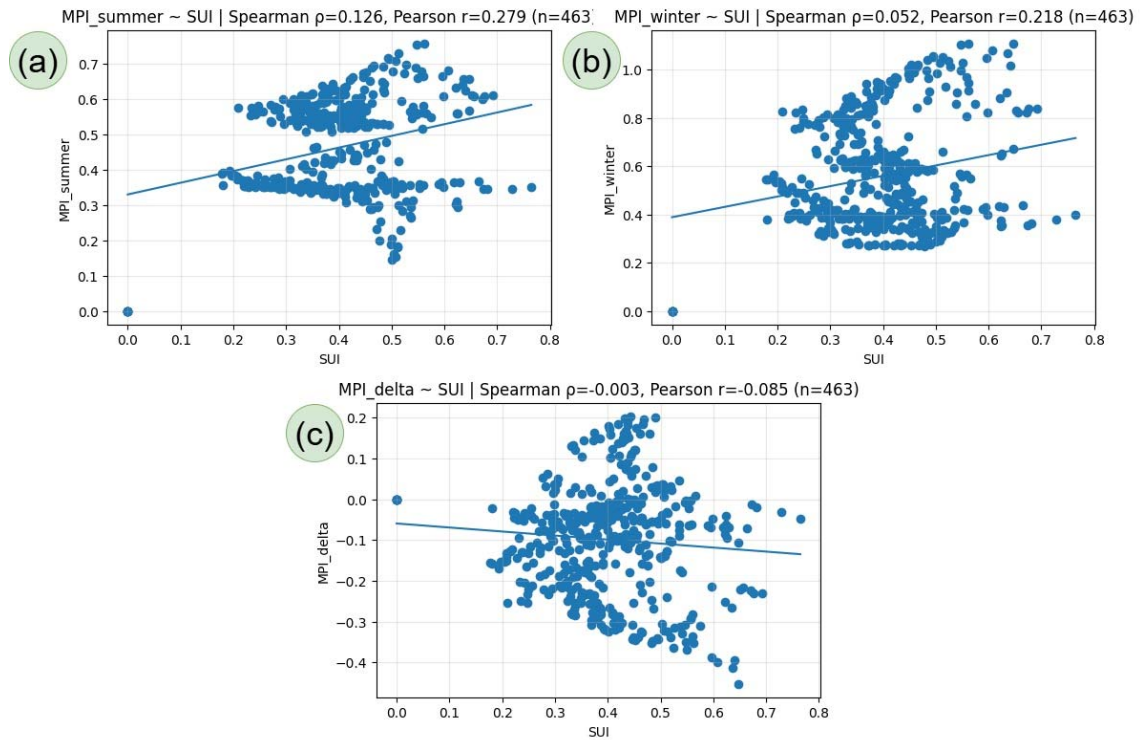
değerlendirilmiş ve Şekil 46’da analiz çıktıları bulunmaktadır. Sonuçlar, yaz dönemi kirlilik yükü ile uygunluk düzeyi arasında pozitif yönlü ancak zayıf bir monoton ilişkiye işaret etmektedir (MPI_summer-SUI için Spearman $\rho=0,126$; Pearson $r=0,279$; $n=463$). Bu bulgu, SUI’nin yüksek olduğu turizm-ulaşım odaklı alanların yaz döneminde kirlilik bileşenlerinin birleşik etkisine daha açık olabildiğini düşündürmekle birlikte ilişkinin büyüklüğünün sınırlı olması kirlilik yükünün yalnızca turizm-ulaşım baskısı ile açıklanamayacak kadar çok-etmenli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Nitekim RMS haritalarında görülen kentsel/ulaşım odaklı yerel birikimler ile bazı kıyı ve erişilebilirlik koridorlarında gözlenen artışlar korelasyonda “zayıf ama pozitif” sinyal olarak yansımaktadır. Ancak mekânsal heterojenlik, topoğrafya ve istasyon etkileri gibi faktörler global ilişkiyi zayıflatmaktadır.

Kış döneminde SUI ile MPI_winter arasındaki ilişki ihmal edilebilir düzeyde kalmıştır (Spearman $\rho=0,052$; Pearson $r=0,218$; $n=463$). Bu durum, kış mevsiminde kirlilik dinamiklerinin daha çok meteorolojik koşullar, bölgesel taşınım, ısınma kaynaklı emisyonlar ve atmosferik kararlılık gibi faktörlerle şekillenmesidir. Dolayısıyla turizm-ulaşım uygunluğu yüksek alanlara özgü bir desenin belirginleşmemesiyle uyumludur. Benzer biçimde, mevsimsel farkı temsil eden Δ MPI ile SUI arasındaki ilişki yaklaşık sıfır olup (Spearman $\rho \approx -0,003$; Pearson $r \approx -0,085$; $n=463$), turizm sezonu etkisinin (yaz-kış değişimi) Antalya genelinde SUI sınıfları boyunca tek yönlü ve tutarlı bir artış/desen üretmediğini göstermektedir. Bu sonuç, zonal istatistik bulgularında görülebilen sınıf-bazlı farklılıkların yerel ölçekte anlamlı olabilmesine karşın il genelinde tek bir korelasyon katsayısına indirgenince ilişkinin “genel” düzeyde zayıflamasını da açıklamaktadır.

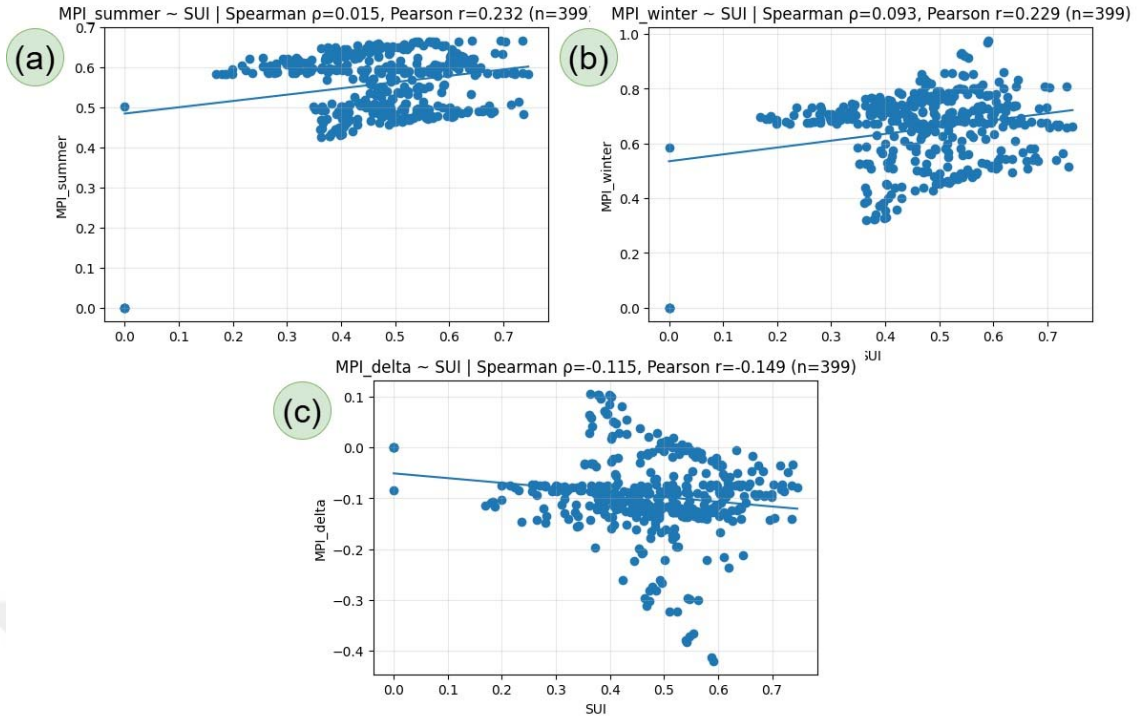
Özetle, Antalya için korelasyon bulguları, mekânsal RMS desenleri ve zonal istatistiklerle birlikte okunduğunda şu yorumu desteklemektedir: turizm-ulaşım uygunluğu yüksek alanlarda yaz döneminde birleşik kirlilik yükü artma eğilimi gösterebilse de bu eğilim zayıftır; mevsimsel artış (Δ) ise SUI ile sistematik bir ilişki sergilememektedir.

Şekil 47’da Muğla ili için SUI ile MPI_summer ve MPI_winter arasındaki ilişkinin Spearman katsayıları sırasıyla $\rho=0,015$ ve $\rho=0,094$ düzeyinde olup monoton bir birlikteliğin pratik olarak zayıf/ihmal edilebilir olduğunu göstermektedir. Buna karşılık Pearson katsayılarının her iki mevsimde de pozitif ve görece daha yüksek ($r \approx 0,23$) bulunması ilişkinin belirli bir doğrusal eğilim izlese bile bu eğilimin sıralama-temelli

(monoton) bir yapıya dönüşmediğine ve dağılımın heterojenliğine işaret etmektedir. Bu desen Muğla’da mekânsal kirlilik yükünün tek başına “turizm-ulaşım uygunluğu” ile açıklanamadığını açıklar. Farklı emisyon kaynaklarının (kentsel çekirdekler, ana ulaşım koridorları, yerel ısınma/altyapı faaliyetleri vb.) ve mekânsal kümelenmenin yaz/kış MPI alanlarını birlikte biçimlendirdiğini düşündürür. Diğer taraftan, Δ MPI ile SUI arasındaki ilişki Spearman’a göre negatif yönde ve zayıf düzeydedir ($\rho=-0,115$; $p\approx 0,021$). Bu bulgu, uygunluk düzeyi yüksek alanlarda yaz-kış farkının sistematik biçimde “artış” yönünde büyümediğini gösterir. Tersine, birçok noktada kış dönemindeki birleşik kirlilik yükünün görece baskın kalabildiğini ima eder. Sonuç, Muğla için RMS/ Δ haritalarında görülen mevsimsel kontrastın ve zonal istatistik çıktılarında bazı istasyonlarda kışın artan kirletici bileşenlerinin (özellikle NO_x/NO ve CO gibi trafik ve yanma kaynaklı bileşenler) birlikte değerlendirilmesiyle tutarlı bir çerçeve sunar. Bu nedenle Muğla özelinde, “yüksek turizm-ulaşım uygunluğu → yazın daha yüksek birleşik kirlilik” şeklinde tek yönlü bir çıkarım yapmak yerine mevsimsel bileşimin (yazın fotokimyasal süreçler ve mobilite; kışın yerel yanma/meteoroloji) ve mekânsal kümelenmenin birlikte ele alınması gerekmektedir.



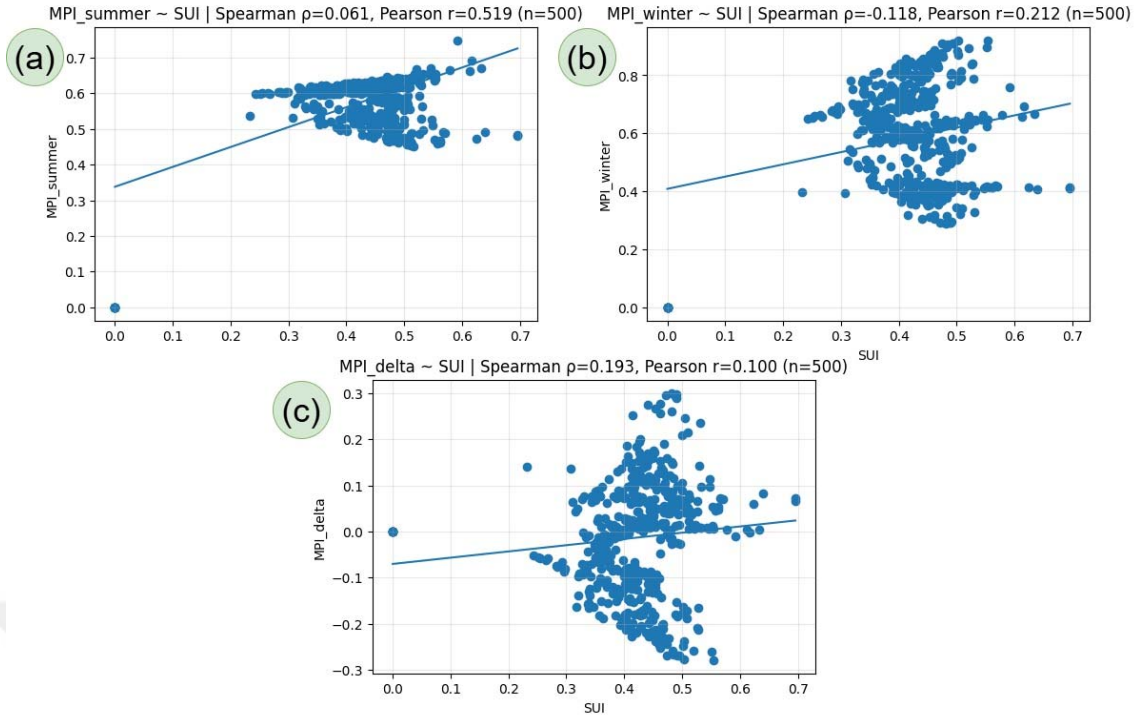
Şekil 46. Antalya ili için SUI (Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi) ile çoklu kirletici birleşik kirlilik göstergesi (MPI) arasındaki ilişki ($n=463$)



Şekil 47. Muğla ili için SUI (Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi) ile çoklu kirletici birleşik kirlilik göstergesi (MPI) arasındaki ilişki (n=399)

Aydın ili için SUI ile çoklu kirletici indeksleri (MPI) arasındaki korelasyon yapısı Şekil 48’de gösterilmektedir. Şekil 48(a)’da SUI ile MPI_summer arasındaki Spearman sıra korelasyonu çok zayıf ve istatistiksel olarak anlamsız düzeydedir ($\rho=0,0609$; $p=0,1738$; $n=500$). Bu bulgu, turizm-ulaşım uygunluğu yüksek alanlarda yaz döneminde birleşik kirlilik yükünün tüm çalışma alanı boyunca tek yönlü/monoton bir artış eğilimi sergilemediğine işaret etmektedir. Buna karşın Pearson katsayısının daha yüksek çıkması ($r=0,5191$) doğrusal eğilimin belirli alt kümeler/yoğunlaşmalar tarafından etkilenebileceğini düşündürmektedir; tezde birincil ölçüt olarak Spearman’ın tercih edilmesi bu nedenle önemlidir.

Şekil 48(b)’de MPI_winter-SUI ilişkisinin Spearman katsayısı zayıf negatif yöndedir ($\rho=-0,1177$; $p=0,0084$; $n=500$). Bu sonuç, Aydın’da turizm-ulaşım uygunluğu yüksek zonların kış döneminde birleşik kirlilik düzeyi bakımından nispeten daha düşük değerlere eğilim gösterebildiğini göstermektedir. Zonal istatistik ve RMS temelli mekânsal değerlendirmelerle birlikte ele alındığında kışın kirlilik yükünün daha çok yerel kaynaklar ve kısa mesafeli yoğunluklar etrafında şekillendiği görülmektedir. Turizm-ulaşım çekirdeğiyle olan eşleşmenin ise sınırlı kalması bu zayıf negatif ilişkinin olası açıklamasıdır.



Şekil 48. Aydın ili için SUI (Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi) ile çoklu kirletici birleşik kirlilik göstergesi (MPI) arasındaki ilişki (n=500)

Şekil 48(c)'de Δ MPI (Yaz-Kış)-SUI ilişkisi ise zayıf fakat anlamlı pozitif bir desen sunmaktadır ($\rho=0,1931$; $p<0,001$; $n=500$). Bu bulgu, Aydın'da turizm-ulaşım uygunluğu arttıkça yaz ve kış arasındaki birleşik kirlilik farkının yaz lehine büyüme eğilimi gösterdiğini kanıtlamaktadır. Başka bir ifadeyle turizm sezonunda erişilebilirliği/çekiciliği yüksek alanlarda kirlilik baskısının kışa kıyasla daha fazla artma potansiyeli taşıdığını düşündürmektedir. Dolayısıyla Şekil 47, SUI'nin yaz dönemindeki mutlak kirlilik düzeyini tek başına güçlü biçimde açıklamadığını ancak mevsimsellik (Δ) üzerinden turizm-ulaşım baskısı ile kirlilik dinamiği arasındaki bağlantıyı daha görünür kıldığını göstermektedir.

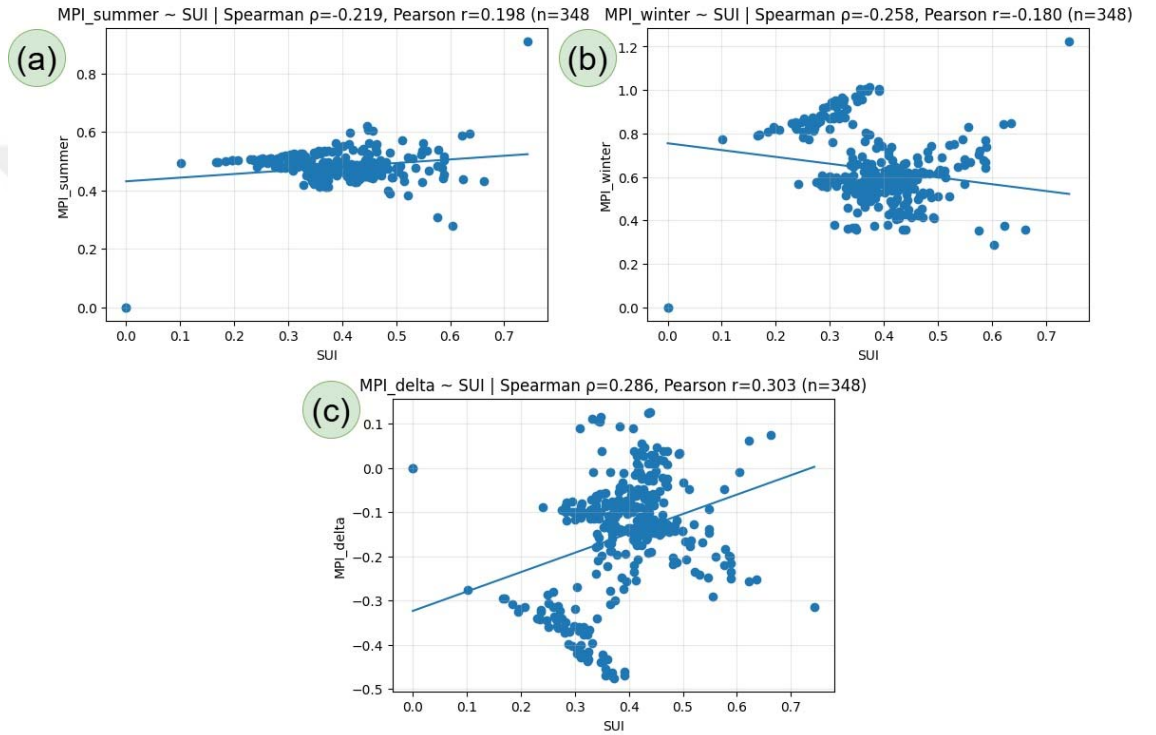
İzmir ili için SUI ile çoklu kirletici indeksi (MPI) arasındaki ilişkiler, yaz (MPI_summer), kış (MPI_winter) ve mevsimler arası fark (Δ MPI=Yaz-Kış) düzeylerinde birlikte değerlendirilmiş ve analiz çıktıları Şekil 49'da verilmiştir. Sonuçlar, SUI ile MPI_summer (Spearman $\rho=-0,219$; $n=348$) ve MPI_winter (Spearman $\rho = -0,258$; $n=348$) arasında negatif yönlü ve zayıf bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Bu bulgu, turizm-ulaşım uygunluğunun görece yüksek olduğu alanlarda tekil kirleticilerden türetilen birleşik kirlilik yükünün (MPI) her iki sezonda da sınırlı ölçekte daha düşük seviyelerde seyrettiğine işaret eder. Bununla birlikte ilişkinin zayıf düzeyde kalması

mekânsal örüntünün tek başına SUI tarafından açıklanmadığını önceki RMS haritaları ve zonal istatistik bulgularında görülen yerel sıcak noktaların (kentsel çekim, trafik odakları, meteorolojik/topoğrafik etkiler) İzmir’de belirleyici rol oynayabildiğini desteklemektedir. Ayrıca yaz döneminde Pearson katsayısının pozitif yönde raporlanmasına karşın Spearman’ın negatif olması, ilişkinin doğrusal olmayan/çok kümeli bir yapıya sahip olabileceğini ve birkaç yoğunlaşmış kümenin doğrusal eğimi etkileyebildiğini düşündürmektedir. Öte yandan Δ MPI ile SUI arasındaki pozitif ve zayıf ilişki (Spearman $\rho=0,286$; $n=348$), SUI arttıkça Yaz – Kış farkının büyüme eğilimi gösterdiğini başka bir ifadeyle kış dönemindeki kirlilik yükündeki değişimin (azalışın) yaz dönemine kıyasla SUI ile daha güçlü biçimde birlikte hareket edebildiğini ortaya koymaktadır. Bu bütüncül okuma, RMS temelli sezonsal ayrışma ve zonal istatistiklerin sağladığı “mekânsal kanıt” ile tutarlı biçimde İzmir’de turizm-ulaşım baskısı ile kirlilik yükü ilişkisinin zayıf fakat anlamlı yönsel örüntüler ürettiğini göstermektedir. Ancak kirlilik dinamiklerinin çok-etmenli yapısı nedeniyle bulguların “büyüklükten ziyade yön” odağında yorumlanması gerektiğini göstermektedir.

Bu bölümde geliştirilen analiz zinciri turizm ve ulaşım faaliyetlerinin mekânsal baskısını temsil eden Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi’nin dört il (Antalya, Muğla, Aydın, İzmir) için üretimi ile başlamıştır. Ardından yaz/kış dönemlerinde istasyon ölçümlerinden elde edilen tekil kirletici yüzeyleri referans tabanlı normalizasyonla ortak ölçeğe taşınmış ve bu alt-indeksler birleşik bir çoklu kirletici metriğe (RMS) dönüştürülmüştür. Son aşamada, RMS haritaları ile SUI sınıfları arasındaki ilişki zonal istatistiklerle nicelleştirilmiştir. SUI ile çoklu kirletici indeksler (MPI_summer, MPI_winter ve Δ MPI) arasındaki bağıntı ise Spearman sıra korelasyonu (birincil) ve Pearson korelasyonu (duyarlılık) ile il bazında sınanmıştır. Böylece çalışma, “turizm-ulaşım baskısı nerede yoğunlaşmaktadır?” sorusunu yalnızca harita düzeyinde değil “bu baskı alanlarında birleşik kirlilik yükü ve mevsimsel değişim nasıl davranmaktadır?” sorusunu da nicel olarak yanıtlayacak şekilde kurgulanmıştır.

Elde edilen bulgular bir arada değerlendirildiğinde çalışma alanlarının tamamında kirlilik olgusunun tek bir kaynak sınıfı ile açıklanamayacak çok-etkenli bir yapıya sahip olduğu açık biçimde görülmektedir. SUI, turizm çekim merkezleri, konaklama ve rekreasyon yoğunluğu, ulaşım ağ/erişilebilirlik göstergeleri ve nüfus gibi bileşenleri birlikte temsil ederek, turizm-ulaşım etkileşiminin mekânsal “baskı potansiyelini” ortaya koymaktadır. Buna karşılık, RMS temelli birleşik kirlilik haritaları yaz ve kış

dönemlerinde farklı örüntüler sergilemiştir. Özellikle mevsimsel meteorolojik koşullar, ısınma kaynaklı emisyonlar ve kirlletici kimyasındaki dönemsel farklılaşma gibi unsurların bazı illerde mutlak kirlilik yükünü turizm sezonu dinamiklerinden daha güçlü belirleyebildiği anlaşılmıştır. Bu sonuç, turizm sezonunun yaz aylarında yoğunlaşmasının her durumda “mutlak kirlilik yükünün yazın daha yüksek olacağı” anlamına gelmediğini dolayısıyla turizm-ulaşım baskısı ile hava kirliliği arasındaki ilişkinin çoğu durumda doğrudan ve tek yönlü bir eşleşme olarak değil bağlam bağımlı bir etkileşim olarak okunması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 49. İzmir ili için SUI (Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi) ile çoklu kirlletici birleşik kirlilik göstergesi (MPI) arasındaki ilişki (n=348)

Bu bağlamda RMS yaklaşımının çalışmadaki rolü kritik hale gelmektedir. Tekil kirlleticiler sezonlar arasında farklı yönlerde değişim gösterebilmektedir. Bazı kirlleticiler kışın artarken bazıları yazın öne çıkabilmekte veya mekânsal maksimumları farklı bölgelerde kümelenebilmektedir. Bu heterojenlik, “tekil kirlletici üzerinden genelleme” riskini yükseltmektedir. RMS, referans tabanlı normalize alt-indeksleri ortak bir birleşik ölçüte dönüştürerek farklı kirlleticilerin eşzamanlı etkisini tek bir metrikte birleştirmiş ve iller arası kıyaslama ile zonal analiz için karşılaştırılabilir bir zemin sağlamıştır. Buna ek olarak Δ (sezonsal fark) yüzeyleri yalnızca hangi dönemin daha kirli olduğunu değil bu

farkın mekânsal olarak nerede keskinleştiğini göstermiştir. Böylece turizm sezonunun mekânsal baskı alanları ile mevsimsel kirlilik dinamiklerinin çakıştığı/ayrıştığı bölgeler daha net biçimde izlenebilmiştir.

SUI sınıfları ile RMS haritalarının zonal istatistiklerle ilişkilendirilmesi harita düzeyindeki gözlemlerin “sınıf bazlı nicel kanıt” düzeyine taşınmasını sağlamıştır. Bu adım, SUI’nin düşükten yükseğe giden sınıflarında RMS ortalamalarının nasıl değiştiğini ortaya koyarak turizm-ulaşım baskısının birleşik kirlilik yüküyle hangi ölçüde birlikte hareket ettiğini test etmeye imkân vermiştir. Zonal sonuçların sağladığı temel katkı, SUI’nin yalnızca mekânsal bir baskı haritası olarak kalmayıp RMS ile nicel olarak eşleştirilebilen bir açıklayıcı çerçeveye dönüştürülmesidir. Diğer bir ifadeyle zonal analiz “görsel benzerlik” argümanını sınırlandırarak, sınıflar arası kirlilik düzeyi farklarının okunabilir ve raporlanabilir hale gelmesini sağlamıştır.

Korelasyon bulguları ise bu ilişkinin gücü ve yönüne dair daha temkinli ama daha net bir çerçeve sunmaktadır. İl bazlı Spearman sonuçları SUI ile MPI_summer, MPI_winter ve Δ MPI ilişkilerinin genel olarak zayıf düzeyde kaldığını göstermiştir. Bazı illerde mevsimsel fark (Δ MPI) üzerinden daha tutarlı sinyaller alınabildiğini göstermektedir. Bu durum, turizm-ulaşım baskısının hava kirliliği üzerinde etkisiz olduğu anlamına gelmemektedir. Tersine, etkinin çoğu zaman dolaylı, mekânsal bağlama bağlı ve diğer baskın kaynaklarla birlikte ortaya çıkan bir karakter taşıdığını düşündürmektedir. Büyük ölçekli metropol dinamikleri, liman/lojistik faaliyetleri, sanayi kaynakları, topoğrafya ve kıyı-iç kesim meteorolojisi gibi unsurların özellikle İzmir gibi kompleks sistemlerde turizm-ulaşım sinyalini gölgelemesi mümkündür. Benzer biçimde, kış döneminde ısınma ve meteorolojik birikim koşullarının baskınlaştığı yerlerde turizm sezonunun yazda zirve yapmasına rağmen birleşik kirlilik yükünün kışta yükselmesi beklenebilir. Bu nedenle korelasyon çıktıları, tezin ana savını “SUI yüksekse kirlilik mutlaka yüksektir” gibi indirgemeci bir düzleme taşımak yerine SUI’nin kirlilik üzerindeki etkisinin mutlak düzeyden çok mevsimsel dinamiklerin mekânsal farklılaşması ve değişimin yönü üzerinden tartışılması gerektiğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak Bölüm 3, dört il için tutarlı bir yöntem çerçevesinde (i) turizm-ulaşım baskısını temsil eden SUI yüzeylerini, (ii) yaz/kış dönemleri için referans tabanlı normalize tekil kirletici yüzeylerini, (iii) bu yüzeylerin RMS ile birleşik çoklu kirletici haritalarına dönüştürülmesini ve (iv) SUI-RMS ilişkisinin zonal istatistikler ve korelasyon analiziyle nicel olarak değerlendirilmesini tamamlamıştır. Bu bütünsel

çerçeve turizm-ulaşım baskısının hava kirliliğiyle ilişkisini tek bir kirleticiye ya da tek bir sezona indirgmeden çoklu kirletici etkisini ve sezonsal farklılaşmayı birlikte ele alan bir mekânsal kanıt seti üretmiştir. Bölümün temel çıkarımı, turizm-ulaşım baskısının kirlilik üzerinde bazı alanlarda görünür bir iz bırakabildiği ancak ilişkinin gücünün il ölçeğinde çoğu zaman zayıf kaldığı ve sonuçların özellikle mevsimsel fark (Δ) ve mekânsal bağlam üzerinden okunmasının daha doğru olduğudur. Bu bulgular, bir sonraki bölümde geliştirilecek politika ve planlama tartışmaları için “hangi ilde hangi dönemde hangi mekânsal mekanizmaların baskın olduğu” sorusuna veri temelli bir zemin oluşturmaktadır.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde amaç turizm ve ulaşım faaliyetlerinin birlikte yoğunlaştığı kıyı illerinde hava kirliliğinin mekânsal ve mevsimsel değişimini bütüncül biçimde ortaya koymak ve turizm-ulaşım baskısı ile birleşik kirlilik düzeyi arasındaki ilişkiyi nicel olarak değerlendirmektir. Antalya, Muğla, Aydın ve İzmir illeri bu kapsamda ele alındı. Çalışma, turizm-ulaşım baskısını temsil eden Turizm-Ulaşım Uygunluk İndeksi yüzeylerini üretmiş yaz ve kış dönemlerinde referans tabanlı normalize kirletici yüzeylerinden çoklu kirletici birleşik metrik (RMS) haritalarını oluşturmuş ve SUI ile kirlilik göstergeleri arasındaki ilişkiyi zonal istatistik ve korelasyon yaklaşımıyla test etmiştir.

SUI haritaları dört ilde de baskının kıyı şeridi boyunca ve ana ulaşım omurgaları çevresinde yoğunlaştığını göstermiştir. Bu sonuç, turistik çekim alanları, konaklama arzı ve erişilebilirlik göstergelerinin aynı mekânsal sistem içinde birlikte kümelendiğini ortaya koymuştur. Ağırlıklandırma tarafında AHP ve Bulanık SIWEC farklı ağırlık setleri üretmiş olsa da nihai uygunluk örüntüsü büyük ölçüde korunmuştur. Bu durum, kriter setinin ve uygulanan mekânsal dönüşümlerin SUI üretiminde kararlı bir yapı sunduğunu göstermektedir.

Hava kirliliği analizlerinde tekil kirleticilerin mevsimsel davranışının her ilde aynı yönde ilerlemediği görülmüştür. Bu nedenle referans tabanlı normalizasyon sonrası RMS yaklaşımı tekil kirleticilerdeki farklı yönlü değişimleri tek bir metrikte birleştirerek karşılaştırılabilir bir kirlilik göstergesi üretmiştir. Mevsimsel farkı temsil eden Δ yüzeyi, turizm sezonunu test etmek açısından kritik bir katman olmuş ve yalnızca “hangi dönemde kirlilik daha yüksek” sorusunu değil bu farkın nerede belirginleştiğini de görünür kılmıştır.

Bu bölümün tez açısından en somut çıktısı SUI sınıfları ile RMS haritalarının ArcMap Zonal istatistik yöntemiyle nicel olarak ilişkilendirilmesi ve bu ilişkinin il bazında korelasyon analiziyle desteklenmesidir. Zonal istatistik haritaların görsel yorumunu sınıf-temelli sayısal kanıta dönüştürmüştür. Korelasyon analizi ise ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü özetlemiştir. Spearman sıra korelasyon katsayılarına göre SUI-kirlilik ilişkisi çoğu durumda zayıf düzeydedir. Bu bulgu, turizm-ulaşım baskısının kirlilik üzerinde tek başına belirleyici olmadığını meteoroloji, topoğrafya ve yerel emisyon kaynaklarının birçok durumda baskın rol oynadığını düşündürmektedir. Buna rağmen bazı illerde mevsimsel fark metriği üzerinden daha tutarlı sinyaller alınmıştır. Bu

sonuç, turizm sezonu etkisinin “mutlak kirlilik düzeyi” yerine “yaz-kış farkı” üzerinden test edilmesinin daha anlamlı olabileceğini göstermektedir.

Aşağıda, çalışmadan doğrudan çıkan ve tezin ana argümanını netleştiren spesifik sonuçlar özetlenmiştir.

- SUI’nin mekânsal maksimumları dört ilde de kıyı odaklı turizm çekim merkezleri ve ana ulaşım koridorları ile belirgin biçimde örtüşmüştür.
- RMS yaklaşımı, tekil kirleticilerin mevsimsel eğilimlerinin farklı yönlere gidebildiği koşullarda bile birleşik kirlilik yükünü tek bir ölçüte indirgemiş ve iller arası kıyaslamayı kolaylaştırmıştır.
- Mevsimsel karşılaştırmada turizm sezonunun yaz aylarında yoğun olmasına karşın birleşik kirlilik yükünün birçok alanda kışın baskın kalabildiği görülmüştür. Bu durum turizm-emisyon ilişkisinin doğrusal ve tek yönlü olmadığını göstermektedir.
- İl bazlı korelasyon bulguları, turizm-ulaşım baskısının kirlilikle ilişkisinin “zayıf ama bağlama duyarlı” olduğunu ortaya koymuştur. Antalya’da yaz döneminde zayıf pozitif ilişki görülürken Muğla’da mevsimsel fark üzerinden zayıf negatif ilişki ortaya çıkmıştır. Aydın’da mevsimsel fark için zayıf pozitif ilişki belirgindir. İzmir’de mutlak düzeylerde zayıf negatif, mevsimsel farkta zayıf pozitif ilişki gözlenmiştir.
- Zonal istatistik sonuçları, SUI sınıfları boyunca RMS düzeylerinin her ilde aynı biçimde artmadığını kirlilik sıcak noktalarının kimi yerlerde yüksek uygunluk sınıflarıyla çakıştığını kimi yerlerde ise kentsel ve meteorolojik faktörlerle ayrıştığını göstermiştir. Bu, turizm etkisinin yerel ölçekte belirginleşebileceğini ancak il ölçeğinde tek bir ilişki katsayısı ile güçlü biçimde özetlenemeyebileceğini düşündürmektedir.

Bu bulgular bir araya getirildiğinde tezin temel çıkarımı şu şekilde ifade edilebilir. Turizm-ulaşım baskısı bazı alanlarda kirlilik yükü ile birlikte hareket eden bir mekânsal iz bırakmaktadır. Ancak bu iz çoğu durumda zayıf düzeydedir ve kirlilik dinamikleri üzerinde meteoroloji, topoğrafya ve farklı kaynak bileşenleri daha güçlü belirleyici olabilmektedir. Bu nedenle turizm sezonunun etkisi “mutlak düzey” yerine “mevsimsel fark” katmanları üzerinden ve mekânsal bağlamla birlikte değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada kullanılan veriler ve yöntemler il ölçeğinde karşılaştırılabilir bir çerçeve kurmayı mümkün kılmıştır. Buna karşın bazı sınırlılıklar bulunmaktadır.

- Çalışma dönemi istasyon verilerindeki ölçüm kayıpları nedeniyle 01.01.2025-25.01.2026 aralığıyla sınırlı kalmıştır. Daha uzun dönemlerin analiz edilememesi yıllar arası değişkenliğin değerlendirilmesini kısıtlamıştır.
- İstasyon dağılımı iller arasında farklıdır ve bazı bölgelerde seyrektrir. Bu durum interpolasyon yüzeylerinde belirsizlik yaratabilir.
- IDW interpolasyonu pratik ve yaygın bir yöntemdir. Ancak karmaşık topoğrafya ve heterojen kaynak yapısı olan alanlarda farklı enterpolasyon teknikleriyle karşılaştırma yapılmamıştır.
- Raster temelli analizlerde mekânsal bağımlılık kaçınılmazdır. Bu nedenle korelasyonlarda klasik anlamlılık testleri temkinli yorumlanmalıdır. Tezde bu nedenle p-değerleri ikinci planda tutulmuş ilişkinin yönü ve büyüklüğü temel alınmıştır.
- Kullanılan SUI kriterleri turizm-ulaşım baskısını iyi temsil etmekle birlikte turizm hareketliliğini doğrudan ölçen sezonluk trafik hacmi, havalimanı yolcu sayıları veya konaklama doluluk oranları gibi dinamik göstergeler analiz kapsamına dahil edilememiştir.

Elde edilen bulgulara dayalı öneriler aşağıda iki grupta verilmiştir. İlki bilimsel geliştirme alanları ikincisi ise uygulama ve planlama boyutudur.

Gelecek araştırmalar için öneriler

- Daha uzun süreli veri setleri ile çok yıllık analizler yapılmalıdır. Böylece turizm sezonu etkisinin yıl bazında tutarlılığı ve iklimsel oynaklığın etkisi daha net görülebilir.
- İstasyon verileri uydu tabanlı ürünler veya yeniden analiz veri setleri ile desteklenebilir. Bu yaklaşım hem mekânsal kapsama hem de sürekliliğe katkı sağlar.
- IDW sonuçları farklı interpolasyon yöntemleriyle karşılaştırılmalı ve belirsizlik değerlendirmesi yapılmalıdır.

- Normalizasyon aşamasında NO ve NO_x için kullanılan N95 yaklaşımı korunabilir. Ancak farklı yüzdelik değerlerle duyarlılık sınaması yapılarak eşik seçiminin sonuçlara etkisi değerlendirilebilir.
- Mekânsal bağımlılığı dikkate alan istatistiksel yaklaşımlar denenmelidir. Bu sayede ilişki testlerinin güvenilirliği artar.
- SUI yapısına turizm hareketliliğini doğrudan temsil eden değişkenler eklenmelidir. Sezonluk trafik hacimleri, toplu taşıma yolculukları, liman ve havalimanı yoğunlukları veya konaklama doluluk oranları bu amaçla değerlendirilebilir.

Uygulama ve planlama için öneriler

- Δ RMS katmanında yaz lehine artışın belirginleştiği alanlar turizm sezonuna duyarlı bölgeler olarak ele alınmalı ve sezonluk trafik yönetimi ile emisyon azaltım önlemleri bu alanlarda önceliklendirilmelidir.
- Kışın baskın olduğu alanlarda ısınma kaynaklı emisyonlar ve birikim koşulları için ayrı önlem paketleri geliştirilmelidir. Bu ayrım, tek tip politika yerine mevsim ve mekâna duyarlı bir yaklaşım sunar.
- SUI ve RMS çıktıları, yerel yönetimler için karar destek aracı olarak kullanılabilir. Özellikle kıyı destinasyonlarında ulaşım talebinin yönetimi, toplu taşıma alternatiflerinin güçlendirilmesi ve düşük emisyonlu ulaşım çözümleri için öncelik bölgeleri tanımlanabilir.
- İller arası karşılaştırmalar benzer turizm profiline sahip kıyı illerinde uygulanabilecek ortak bir yöntem akışının varlığını göstermektedir. Bu çerçevede farklı illere genişletilerek ulusal ölçekte kıyı turizmi ve emisyon baskısı haritalaması yapılabilir.

Bu bölümde sunulan sonuçlar ve öneriler tezin ana konusuna bağlı kalarak turizm-ulaşım baskısının hava kirliliği üzerindeki etkisinin tek boyutlu olmadığına işaret etmektedir. Çalışma, bu ilişkiyi mekânsal ve mevsimsel düzlemde birlikte ele alan uygulanabilir bir analiz akışı sunmuş ve gelecekte daha zengin veri setleriyle geliştirilebilecek bir temel oluşturmuştur.

KAYNAKÇA

- Alagöz, E., Manap, G., Aydın, S., & Onur, M. (2023). *Çevresel Etki Değerlendirilmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü*. Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı Çevresel Veri Değerlendirme Şube Müdürlüğü. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr>
- Alotaibi, R., Bechle, M., Marshall, J. D., Ramani, T., Zietsman, J., Nieuwenhuijsen, M. J., & Khreis, H. (2019). Traffic related air pollution and the burden of childhood asthma in the contiguous United States in 2000 and 2010. *Environment International*, 127, 858–867. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.041>
- Altay, K., Tirgil, A., & Yanikkaya, H. (2025). Assessing the Impact of Road Infrastructure on Air Pollution: Evidence from Türkiye. *Sustainability*, 17(21), 9840. <https://doi.org/10.3390/su17219840>
- Asif, M., Ishtiaq, U., & Argyros, I. K. (2025). Hamacher Aggregation Operators for Pythagorean Fuzzy Set and its Application in Multi-Attribute Decision-Making Problem. *Spectrum of Operational Research*, 2(1), 27–40. <https://doi.org/10.31181/sor2120258>
- AYDIN İLİ TEMİZ HAVA EYLEM PLANI THEP (2020-2024). (2020).
- Aylin, Y., & Karakış, E. (2022). Analysis of SMEs' Advertising Behaviors with Multi-Criteria Decision Making Methods: The Case of Sivas. *Journal of Yaşar University*, 17(67), 776–799. <https://doi.org/10.19168/jyasar.995098>
- Ayvaz, E. E., Üzülmöz, M., Erşen, D., & Ergen, H. (2025). Interaction between air transportation, tourism and CO2 emissions: The panel ARDL approach. *Journal of Multidisciplinary Academic Tourism*, 10(3), 297–313. <https://doi.org/10.31822/jomat.2025-10-3-297>
- Babri, S., Díez-Gutiérrez, M., Aspen, D. M., & Johansen, B. H. (2023). A simulation model to assess emission reduction policies in tourism transport: Case study of the Geiranger fjord UNESCO world heritage site in Norway. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(9), 1006–1019. <https://doi.org/10.1080/15568318.2022.2137712>
- Badyelgajy, Y., Doszhanov, Y., Kapsalyamov, B., Onerkhan, G., Sabitov, A., Zhumazhanov, A., & Doszhanov, O. (2025). Calculation of Greenhouse Gas Emissions from Tourist Vehicles Using Mathematical Methods: A Case Study in Altai Tavan Bogd National Park. *Sustainability*, 17(15), 6702. <https://doi.org/10.3390/su17156702>
- Bie, P., Deng, F., Chen, B., Wang, L., Yang, F., Zhou, J., Liu, H., & He, K. (2022). Highly spatial and temporal bottom-up vehicle emission characterization and its control in a typical ecology-preservation area. *Eco-Environment & Health*, 1(3), 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.09.003>
- Biz Doğamıza Söz Verdik. (2024).
- Boogaard, H., Samoli, E., Patton, A. P., Atkinson, R. W., Brook, J. R., Chang, H. H., Hoffmann, B., Kutlar Joss, M., Sagiv, S. K., Smargiassi, A., Szpiro, A. A., Vienneau, D., Weuve, J., Lurmann, F. W., Forastiere, F., & Hoek, G. (2023). Long-term exposure to traffic-related air pollution and non-accidental mortality: A systematic

- review and meta-analysis. *Environment International*, 176, 107916. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107916>
- Bows, A., Anderson, K., & Peeters, P. (2009). Air Transport, Climate Change and Tourism. *Tourism and Hospitality Planning & Development*, 6(1), 7–20. <https://doi.org/10.1080/14790530902847012>
- Brønnum-Hansen, H., Bender, A. M., Andersen, Z. J., Sørensen, J., Bønløkke, J. H., Boshuizen, H., Becker, T., Diderichsen, F., & Loft, S. (2018). Assessment of impact of traffic-related air pollution on morbidity and mortality in Copenhagen Municipality and the health gain of reduced exposure. *Environment International*, 121, 973–980. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.09.050>
- Cao, R., Mo, Y., & Ma, J. (2023). Carbon Footprint Analysis of Tourism Life Cycle: The Case of Guilin from 2011 to 2022. *Sustainability*, 15(9), 7124. <https://doi.org/10.3390/su15097124>
- Cao, X., Zhang, H., Wang, M., Xiao, X., & Yang, Y. (2024). Stay or travel? Spatial heterogeneity impact of air pollution on travel intention. *Current Issues in Tourism*, 27(7), 1064–1077. <https://doi.org/10.1080/13683500.2023.2197199>
- Carbon Footprint of Tourism*. (2020). Sustainable Travel International. <https://sustainabletravel.org/issues/carbon-footprint-tourism/>
- Caribbean Hotel Energy Efficiency Action Program*. (2026). The Inter-American Development Bank Group (IDB Group). <https://www.iadb.org/en/project/RG-T1431>
- Cavallaro, F., Irranca Galati, O., & Nocera, S. (2021). Climate change impacts and tourism mobility: A destination-based approach for coastal areas. *International Journal of Sustainable Transportation*, 15(6), 456–473. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1762951>
- Chaston, T. B., Utembe, S., Choi, J., Gopi, K., Yuen, C., Knibbs, L., Hanigan, I. C., Broome, R., Vardoulakis, S., Mavoa, S., & Morgan, G. (2025). Health benefits of traffic emissions controls in Melbourne, Australia. *Environmental Research*, 287, 123122. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123122>
- Choma, E. F., Evans, J. S., Gómez-Ibáñez, J. A., Di, Q., Schwartz, J. D., Hammitt, J. K., & Spengler, J. D. (2021). Health benefits of decreases in on-road transportation emissions in the United States from 2008 to 2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(51). <https://doi.org/10.1073/pnas.2107402118>
- Climate Action in the Tourism Sector – An overview of methodologies and tools to measure greenhouse gas emissions*. (2023). World Tourism Organization (UNWTO). <https://doi.org/10.18111/9789284423927>
- Çolak, M. (2012). *Ulaşımdan kaynaklanan hava kirliliğinin bitkiler üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve coğrafi bilgi sistemleri ile gösterilmesi*. Sakarya Üniversitesi.
- Çoşgun, A. (2024). Spatial mapping of indoor air quality in a light metro system using the geographic information system method. *Open Chemistry*, 22(1). <https://doi.org/10.1515/chem-2023-0208>
- Deng, T., Li, X., & Ma, M. (2017). Evaluating impact of air pollution on China's inbound tourism industry: a spatial econometric approach. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 22(7), 771–780. <https://doi.org/10.1080/10941665.2017.1331923>

- Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü. (2026). T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. https://dhmi.gov.tr/Sayfalar/Haber/havayolunda-cumhuriyet-tarihinin-rekoru.aspx?utm_source=chatgpt.com
- Doğan, M. E. (2018). *Küresel kamusal bir mal olarak hava kirliliğinde havacılık sektörünün etkisi ve hava kirliliği azaltımı için çözüm yolları*. Gazi Üniversitesi.
- Dong, D., Xu, X., Yu, H., & Zhao, Y. (2019). The Impact of Air Pollution on Domestic Tourism in China: A Spatial Econometric Analysis. *Sustainability*, 11(15), 4148. <https://doi.org/10.3390/su11154148>
- Dorta Antequera, P., Díaz Pacheco, J., López Díez, A., & Bethencourt Herrera, C. (2021). Tourism, Transport and Climate Change: The Carbon Footprint of International Air Traffic on Islands. *Sustainability*, 13(4), 1795. <https://doi.org/10.3390/su13041795>
- Duan, X., Gu, Y., & Cui, Y. (2026). Reducing Tourist Exposure to Air Pollution in Hong Kong Through Road Transport Emissions Mitigation. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 19(1), 12. <https://doi.org/10.1007/s12061-025-09782-z>
- Eren, H., Bozkurt, C., & Fırat, M. (2025). İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Depo Sızıntı Yönetimi Bileşenlerinin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Bulanık AHP ile Değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 25(6), 1416–1426. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1567528>
- Fageda, X., & Oesingmann, K. (2025). The impact of carbon pricing on tourist destinations: Shifts in demand, supply and emissions in the European aviation market. *Economics of Transportation*, 42, 100414. <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2025.100414>
- Fu, Y., Cai, Z., & Fang, C. (2024). Hotspot Identification and Causal Analysis of Chinese Rural Tourism at Different Spatial and Temporal Scales Based on Tourism Big Data. *Sustainability*, 16(3), 1165. <https://doi.org/10.3390/su16031165>
- Gao, Y., Zheng, J., & Wang, X. (2022). Does high-speed rail reduce environmental pollution? Establishment-level evidence from China. *Socio-Economic Planning Sciences*, 83, 101211. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101211>
- Gayretli, C. P., Çağlayan, Ç., Milli, E., Varol, G., Yavuz, M., & Yay, O. D. (2024). *Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri* (Deniz Gümüşel (Ed.)). Temiz Hava Hakkı Platformu (THHP).
- Gössling, S., Balas, M., Mayer, M., & Sun, Y.-Y. (2023). A review of tourism and climate change mitigation: The scales, scopes, stakeholders and strategies of carbon management. *Tourism Management*, 95, 104681. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2022.104681>
- Grizane, T., & Jurgelane-Kaldava, I. (2019). Tourist Transportation Generated Carbon Dioxide (CO₂) Emissions in Latvia. *Environmental and Climate Technologies*, 23(3), 274–292. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2019-0095>
- Gürçam, S. (2023). Determination of personal carbon footprint in aviation and tourism axis: Cappadocia Airport case. *Environmental Research and Technology*, 6(1), 60–67. <https://doi.org/10.35208/ert.1221724>
- Herrero, C., Dias, A. C., Gallego, M., Gutiérrez, D., Quinteiro, P., Villanueva-Rey, P., Oliveira, S., Albertí, J., Bala, A., Fullana-i-Palmer, P., Puig, M., Melón, L., Sazdovski, I., Rodríguez, E., Roca, M., Xifré, R., Laso Cortabitarte, J., Margallo Blanco, M., & Aldaco García, R. (2025). Tool for Greener Tourism: Evaluating

- Environmental Impacts. *Sustainability*, 17(8), 3476. <https://doi.org/10.3390/su17083476>
- Ho, Q. B., Vu, K., Nguyen, H. D., Nguyen, T., Nguyen, H., Do, L., Huynh, N., Nguyen, D., Fukuda, K., & Kato, M. (2025). Assessment of Air Quality and Health Impact in Hanoi (Vietnam) Due to Traffic Emission—Seasonal Analysis and Traffic Emission Reduction Scenarios. *Atmosphere*, 16(11), 1301. <https://doi.org/10.3390/atmos16111301>
- Huang, W. (2025). Tourism urbanization multidimensional influence on tourist traffic emissions: China prefecture level panel data analysis of the space. *Sustainable Futures*, 10, 101216. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101216>
- Hwang, H. J., Kim, Y. R., Park, S., & Chung, N. (2025). Effects of Weather and air quality on travel behavior. *Tourism Management Perspectives*, 57, 101366. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2025.101366>
- İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030)*. (2023).
- İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE UYUM STRATEJİSİ VE EYLEM PLANI (2024-2030)*. (2023). <https://iklim.gov.tr/eylem-planlari-i-19>
- Ito, E., & Higham, J. (2025). An evidence-base for reducing the CO 2 emissions of national mega sports events: application of the three-hub model to the Japan 2019 Rugby World Cup. *Journal of Sustainable Tourism*, 33(4), 738–754. <https://doi.org/10.1080/09669582.2023.2177301>
- İzmir Sürdürülebilir Enerji ve İklim Eylem Planı*. (2020). <https://skpo.izmir.bel.tr/content.aspx?MID=112>
- J, A. K., & S, A. (2018). Aspect-based opinion ranking framework for product reviews using a Spearman’s rank correlation coefficient method. *Information Sciences*, 460–461, 23–41. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.05.003>
- Jaroń, A., & Borucka, A. (2024). Spatiotemporal Changes in Air Pollution within the Studied Road Segment. *Sustainability*, 16(17), 7292. <https://doi.org/10.3390/su16177292>
- Jia, J., Chen, D., Ju, M., Lu, C., & Zhong, C. (2023). China’s CO2 emissions: An innovative framework for analyzing carbon reduction in sustainable tourism under the guidance of the United Nations’ sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 430, 139752. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139752>
- Jiang, Z., Zhang, X., & Qin, J. (2025). Decoupling of Carbon Emissions From Tourism and Its Driving Factors. *International Journal of Tourism Research*, 27(3). <https://doi.org/10.1002/jtr.2792>
- Kara, İ., & Ecer, F. (2016). AHP-VIKOR ENTEGRE YÖNTEMİ İLE TEDARİKÇİ SEÇİMİ: TEKSTİL SEKTÖRÜ UYGULAMASI. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(2). <https://doi.org/10.16953/deusbed.78956>
- Kaya, Ö. (2025). Designing green and safe micro mobility routes: An advanced geo-analytic decision system based approach to sustainable urban infrastructure. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 64, 102027. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2025.102027>
- Kaya, Ö., & Kabakuş, N. (2025). A data-driven spatial decision framework for assessing the relationship between logistics activities and heavy vehicle accident risks.

Research in Transportation Business & Management, 62, 101440.
<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2025.101440>

- Khan, A., Bibi, S., Li, H., & Mu, D. (2025). Tourism sector decarbonization and policy effectiveness in China: a subsectoral environmental performance analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1649949>
- Khiaolek, K., Damrongsak, D., Wongsapai, W., Sangkakorn, K., Kumpiw, W., Jaitiang, T., Karapan, R., Wongwilai, W., Srinurak, N., Sukwai, J., Champawan, S., & Dhumtanom, P. (2025). Gap Analysis and Development of Low-Carbon Tourism in Chiang Mai Province Towards Sustainable Tourism Goals. *Sustainability*, 17(19), 8889. <https://doi.org/10.3390/su17198889>
- Khreis, H., Kelly, C., Tate, J., Parslow, R., Lucas, K., & Nieuwenhuijsen, M. (2017). Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 100, 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.11.012>
- Kitamura, Y., Ichisugi, Y., Karkour, S., & Itsubo, N. (2020). Carbon Footprint Evaluation Based on Tourist Consumption toward Sustainable Tourism in Japan. *Sustainability*, 12(6), 2219. <https://doi.org/10.3390/su12062219>
- Kose, R., Anker, S.-M., Heiker, M., & Rosenberger, S. (2026). Evaluating the Feasibility of Emission-Aware Routing in Urban Bus Systems: A Case Study in Osnabrück. *Applied Sciences*, 16(2), 822. <https://doi.org/10.3390/app16020822>
- Kruvaziyer Yolcu Sayısı 2 Milyonu Aştı. (2026). Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. <https://sgb.uab.gov.tr/haberler/kruvaziyer-yolcu-sayisi-2-milyonu-asti>
- Kühbacher, D., Chen, J., Aigner, P., Ilic, M., Super, I., & Denier van der Gon, H. (2025). DRIVE v1.0: a data-driven framework to estimate road transport emissions and temporal profiles. *Geoscientific Model Development*, 18(23), 9967–9990. <https://doi.org/10.5194/gmd-18-9967-2025>
- Lenzen, M., Sun, Y.-Y., Faturay, F., Ting, Y.-P., Geschke, A., & Malik, A. (2018). The carbon footprint of global tourism. *Nature Climate Change*, 8(6), 522–528. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0141-x>
- Li, B., Yu, Q., Zhu, X., Peng, Z., & He, H. (2025). Examining fine-grained commuting CO₂ emission using cellular signaling data: insights from Shanghai, China. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 20, 270–284. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2024.12.004>
- Li, C., Zou, Y., Dai, Z., Yin, J., Wu, Z., & Ma, Z. (2022). The Impacts of POI Data on PM_{2.5}: A Case Study of Weifang City in China. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 15(2), 421–440. <https://doi.org/10.1007/s12061-021-09408-0>
- Li, G., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, Y., & Tian, J. (2023). Evaluation and analysis of tourism resources and environmental carrying capacity (TRECC) of 278 cities in China: A pressure-support perspective. *Journal of Cleaner Production*, 420, 138359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138359>
- Liu, J., Yue, M., Liu, Y., Wen, D., & Tong, Y. (2022). The Impact of Tourism on Ecosystem Services Value: A Spatio-Temporal Analysis Based on BRT and GWR Modeling. *Sustainability*, 14(5), 2587. <https://doi.org/10.3390/su14052587>
- Luo, F., Becken, S., & Zhong, Y. (2018). Changing travel patterns in China and ‘carbon footprint’ implications for a domestic tourist destination. *Tourism Management*, 65,

1–13. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2017.09.012>

- Ma, H., Liu, J., & Xi, J. (2022). Decoupling and decomposition analysis of carbon emissions in Beijing's tourism traffic. *Environment, Development and Sustainability*, 24(4), 5258–5274. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01657-w>
- Mansourihanis, O., Zaroujtaghi, A., Hemmati, M., Maghsoodi Tilaki, M. J., & Alipour, M. (2024). Unraveling the Tourism–Environment–Equity Nexus: A Neighborhood-Scale Analysis of Texas Urban Centers. *Urban Science*, 8(3), 82. <https://doi.org/10.3390/urbansci8030082>
- Mishra, S., Sinha, A., Sharif, A., & Suki, N. M. (2020). Dynamic linkages between tourism, transportation, growth and carbon emission in the USA: evidence from partial and multiple wavelet coherence. *Current Issues in Tourism*, 23(21), 2733–2755. <https://doi.org/10.1080/13683500.2019.1667965>
- Mochocki, D., & Zglobicki, W. (2023). Assessment of Spatial and Temporal Variation in NO₂ Levels over Tourist Reception Areas in Poland. *Applied Sciences*, 13(16), 9477. <https://doi.org/10.3390/app13169477>
- Naik, S., Chanda, R. S., & Paliwal, M. (2025). Encouraging sustainable travel choices through behavioral interventions to reduce tourists' carbon footprints. *Discover Sustainability*, 6(1), 1320. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-02233-2>
- Nicholls, M. (2014). *İklim Değişikliği: Turizme İlişkin Sonuçlar*. www.unepfi.org www.europeanclimate.org
- Nug Aguh, A., Martin Ngwabie, N., & Boman, J. (2025). Real-Time Monitoring of Particulate Matter (PM 2.5 and PM 10) in Douala, Cameroon: Spatiotemporal Variations and Associated Health Risks. *Environmental Quality Management*, 35(1). <https://doi.org/10.1002/tqem.70151>
- Omokungbe, O. R., Olufemi, A. P., Edigbonya, T. F., Ajileye, O. O., & Adepehin, D. S. (2026). Seasonal variability of particulate matter pollutants in Abuja, Nigeria. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 17(1). <https://doi.org/10.1080/19475705.2025.2605114>
- Pérez-Martínez, P. J., Moreira, A., Teixeira, F. R., Miranda, R. M., Andrade, M. F., Espezua, S., Villanueva, E., & Kumar, P. (2025). Spatial and temporal mapping of transport emissions and application of air quality models using low cost sensor data. *Case Studies on Transport Policy*, 22, 101622. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101622>
- Phulara, S., Kumar, A., Narang, M., & Bisht, K. (2024). A novel hybrid grey-BCM approach in multi-criteria decision making: An application in OTT platform. *Journal of Decision Analytics and Intelligent Computing*, 4(1), 1–15. <https://doi.org/10.31181/jdaic10016012024p>
- Pousa-Unanue, A., Alzua-Sorzabal, A., Álvarez-Fernández, R., Delgado-Jiménez, A., & Femenia-Serra, F. (2025). Calculating the Carbon Footprint of Urban Tourism Destinations: A Methodological Approach Based on Tourists' Spatiotemporal Behaviour. *Land*, 14(3), 534. <https://doi.org/10.3390/land14030534>
- Puška, A., Nedeljković, M., Pamučar, D., Božanić, D., & Simić, V. (2024). Application of the new simple weight calculation (SIWEC) method in the case study in the sales channels of agricultural products. *MethodsX*, 13, 102930. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102930>

- Rahman, M. M., Kamruzzaman, M., Faridatul, M. I., & Szabó, G. (2025). Spatiotemporal Dynamics of Urban Air Pollution in Dhaka City (2020–2024) Using Time-Series Sentinel-5P Satellite Images and Google Earth Engine (GEE). *Environments*, 12(8), 274. <https://doi.org/10.3390/environments12080274>
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26.
- Saenz-de-Miera, O., & Rosselló, J. (2014). Modeling tourism impacts on air pollution: The case study of PM10 in Mallorca. *Tourism Management*, 40, 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.06.012>
- Schmidt, R., & Ong, L. L. S. (2026). From Leaves to Breezes: Machine learning based prediction of nitrogen dioxide concentration from surrounding urban greenery and meteorological, spatial, and traffic characteristics in Berlin, Germany. *Ecological Informatics*, 93, 103568. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103568>
- Sun, Y.-Y., Faturay, F., Lenzen, M., Gössling, S., & Higham, J. (2024). Drivers of global tourism carbon emissions. *Nature Communications*, 15(1), 10384. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54582-7>
- Sunturlu, Ö. (2017). *Turizm sektöründe faaliyet gösteren teknelerin karbon ayak izinin belirlenmesi: Fethiye örneği*. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi.
- Susanty, A., Puspitasari, N. B., Saptadi, S., & Siregar, S. D. (2021). Using system dynamics approach to build policy scenario for reducing CO2 emission resulted from tourism travel to Karimunjawa. *Kybernetes*, 50(5), 1277–1302. <https://doi.org/10.1108/K-09-2019-0624>
- Tirico, M., Bescond, V. Le, Sengelin, D., Gastineau, P., & Can, A. (2025). Multi-scale comparison of modeling chains for traffic-related air pollutant emission assessment. *Sustainable Cities and Society*, 129, 106354. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106354>
- Tong, Y., Li, H., & Pang, L. (2024). China's tourism transportation carbon emissions: dynamic mechanisms and multi-regulatory strategies simulation. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04985-9>
- Transport-related CO2 Emissions of the Tourism Sector – Modelling Results*. (2019). World Tourism Organization (UNWTO) and International Transport Forum (ITF). <https://doi.org/10.18111/9789284416660>
- Tsai, K.-T., Lin, T.-P., Lin, Y.-H., Tung, C.-H., & Chiu, Y.-T. (2018). The Carbon Impact of International Tourists to an Island Country. *Sustainability*, 10(5), 1386. <https://doi.org/10.3390/su10051386>
- Tuncer, C., Gürbüz, M., Atasoy, L., Kuban, B., & Demir, E. (2022). *Sürdürülebilir Enerji ve İklim Eylem Planı (SECAP)*. https://www.greencosmos.com.tr/sürdürülebilir_enerji_eylem_plani.php
- Ullah, A., Raza, K., & Mehmood, U. (2023). The impact of economic growth, tourism, natural resources, technological innovation on carbon dioxide emission: evidence from BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(32), 78825–78838. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27903-4>
- Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA)*. (2026). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://sim.csb.gov.tr/Services/AirQuality>

- Ünal, Ö. F. (2012). Performans Değerlemede Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Uygulamaları. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 37–55. <https://izlik.org/JA26PA87ZR>
- Wang, Y., & Li, J. (2026). Unveiling the spatial-temporal heterogeneity of high-speed railway's impacts on multiple air pollutants. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 153, 105222. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2026.105222>
- Wei, F., Zhou, J., Cao, Y., Zhang, X., Li, Q., Cui, N., Zhuo, Y., Tian, J., Wu, J., Wu, S., Ma, Z., Zhan, C., Chen, W., Ni, H., & Wei, C. (2025). Mobile Measurement of CO₂ and CH₄ on Ring Roads and Expressways in Xi'an, China: Spatial Patterns and Influencing Factors. *Atmosphere*, 16(12), 1351. <https://doi.org/10.3390/atmos16121351>
- Wen, Y., Miao, Y., Zhao, R., Shi, Y., Miao, J., Lv, C., & Zhang, G. (2025). Mitigating particulate matter dispersion from urban earthen sites: A case study of city walls in Zhengzhou, China. *Sustainable Cities and Society*, 122, 106265. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106265>
- WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Executive summary. (2021). <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/b729bbc4-7032-4799-898e-d112faa16f22/content>
- Wu, J., Wang, S., Liu, Y., Xie, X., Wang, S., Lv, L., & Luo, H. (2023). Measurement of Tourism-Related CO₂ Emission and the Factors Influencing Low-Carbon Behavior of Tourists: Evidence from Protected Areas in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1277. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021277>
- Wu, L., Gu, T., Chen, Z., Zeng, P., & Liao, Z. (2022). Personalized day tour design for urban tourists with consideration to CO₂ emissions. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 20(3), 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2022.09.004>
- Wu, Y., Zhu, Q., & Zhu, B. (2018). Decoupling analysis of world economic growth and CO₂ emissions: A study comparing developed and developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 190, 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.139>
- Xu, Y. (Wayne), & Gursoy, D. (2024). Comparative Analysis of Per-Tourist and Total Carbon Emissions Generated in Hospitality and Tourism Sectors: Impact on Climate Change and Implications for Economy, Society, and Environment. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 33(8), 1100–1128. <https://doi.org/10.1080/19368623.2024.2359597>
- Yang, G., & Jia, L. (2022). Estimation of Carbon Emissions from Tourism Transport and Analysis of Its Influencing Factors in Dunhuang. *Sustainability*, 14(21), 14323. <https://doi.org/10.3390/su142114323>
- Yang, X., Zhang, M., Lin, Z., Nyixia, T., Lamu, Y., & Wei, W. (2025). High altitude-induced aggravation of road vehicle emissions was studied and estimated in Lhasa, the capital of Tibet. *Environmental Research*, 285, 122616. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.122616>
- Yavuz, A. B. (2020). *Turizmde karbon ayak izi: Beş yıldızlı otel örneği*. Niğde Ömer

- Yessimova, D., Belyy, A., Faurat, A., Novikova-Rodi, A., Olshanskaya, M., Zavyalova, L., Grishchenko, I., & Yessim, A. (2025). The carbon footprint of tourism businesses in Pavlodar region (Kazakhstan): Baseline assessment and decarbonization hot spots. *PLOS One*, 20(12), e0338937. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0338937>
- Yiğit, Y., Aslan, A., Altinoz, B., Umut, A., Ozturk, I., Al-Mulali, U., & Raboshuk, A. (2024). Examining the nexus between tourist arrivals and transportation sector-based emissions in Mediterranean countries: evidence from quantile regressions via method of moments. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 17(5), 1053–1060. <https://doi.org/10.1007/s11869-024-01502-9>
- Zeng, J., Wen, Y., Bi, C., & Feiock, R. (2021). Effect of tourism development on urban air pollution in China: The moderating role of tourism infrastructure. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124397. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124397>
- Zhang, P., Li, X., Ren, M., Li, R., & Gao, X. (2024). Can Tourists' Summer Vacations Save Energy and Reduce CO2 Emissions? Evidence from China. *Atmosphere*, 15(12), 1414. <https://doi.org/10.3390/atmos15121414>
- Zhao, S., Li, Q., Kong, Y., & Chen, X. (2023). The coupling relationship between tourism economy and air quality in China: A province-level analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1111828>
- Zheng, X., Kuang, M., Faheem, M., & Tanveer, A. (2025). From pollution to preservation: a dynamic examination of tourism, globalization, and environmental resilience in top-tier economies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 27(5), 2189–2206. <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02927-7>
- Zhu, Y., Shang, Z., Cong, L., Dean, D., & Sun, G. (2026). The impact of China's Central Environmental Protection Inspection on carbon emissions of tourism industry. *Applied Economics*, 58(7), 1377–1391. <https://doi.org/10.1080/00036846.2025.2467259>