

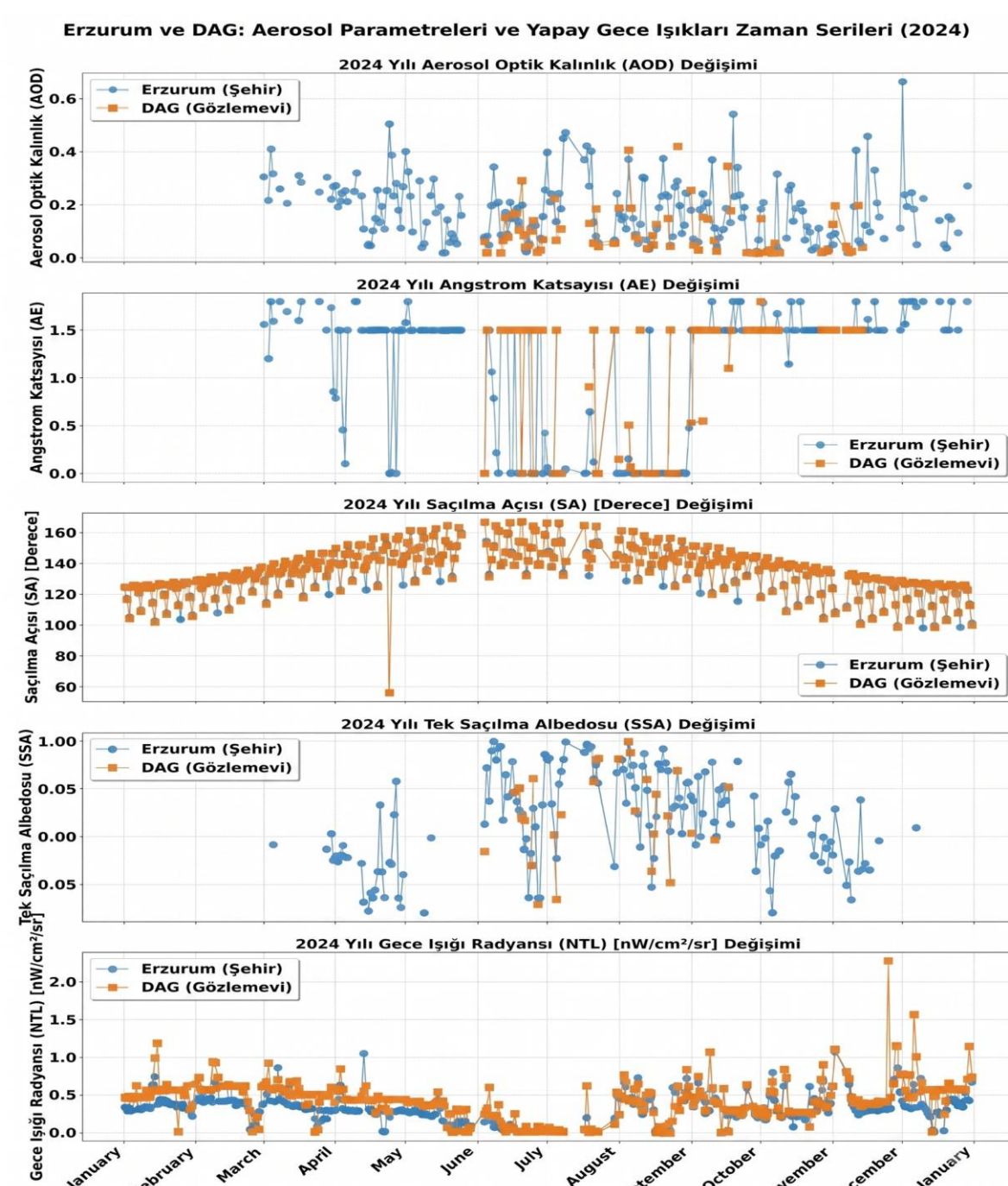
GİRİŞ

Astronomik gözlem kalitesi, atmosferik geçirgenliğe ve yapay gece ışıklarının saçılma süreçlerine doğrudan bağlıdır. Havada asılı kalan heterojen partiküller olan atmosferik aerosoller, fiziksel ve optik özelliklerine göre ışığı saçarak veya soğurarak gökyüzü arka plan parlaklığını dinamik olarak değiştirmektedir. Üstün şeffaflık sunan Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG, 3170 m) ile yapay ışık ve kentsel emisyon kaynağı Erzurum (1850 m) arasındaki dikey mesafe, bu dikey atmosferik etkileşimi incelemek için kritik bir alan sunmaktadır. Aerosollerin fiziksel ve optik parametrelerinin yapay ışık yayılımını nasıl değiştirdiği konusundaki araştırmalar ise literatürde oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmanın temel hedefi, 2024 yılı uydu verilerinden yararlanarak Erzurum ve DAG yerleşkesi arasındaki dikey aerosol etkileşimini mekânsal ve zamansal olarak modellemektir. Araştırmayla, aerosol optik özelliklerinin yapay gece radyansı üzerindeki etkilerini bütüncül olarak çözümlüyip, gözlemevi gözlem veri kalitesini koruyacak etkin yerel koruma politikaları geliştirmek amaçlanmaktadır.

VERİ VE METODOLOJİ

SUOMI-NPP uydusunda bulunan VIIRS sensörünün 2024 yılına ait AOD, AE, SA, SSA parametrelerini içeren AERDB_L2 ve günlük yapay gece ışığı (NTL) ürünü olan VNP46A2 veri setleri kullanılmıştır. Erzurum Şehir Merkezi kaynak, DAG yerleşkesi hedef gözlem noktası olarak belirlenmiştir. Python üzerinde Coğrafi Koordinatlandırmanın ardından maskeleme işlemi uygulanmıştır. VIIRS AERDB aerosol verileri, VNP46A2 NTL verilerine uyacak şekilde en yakın komşu algoritmasıyla ölçeklendirilerek tüm katmanlar çıkarılmıştır. Piksel hatalarını ve gürültülerini minimize etmek amacıyla medyan filtreleme uygulanmıştır. Gözlemevi koordinatlarında 13x13 piksellik tampon bölge oluşturulmuş ve bu alanın medyan değerleri DAG gökyüzü karakteri olarak kaydedilmiştir. Şehir ve DAG yerleşkesi arasındaki aerosol taşınımını belirlemek için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

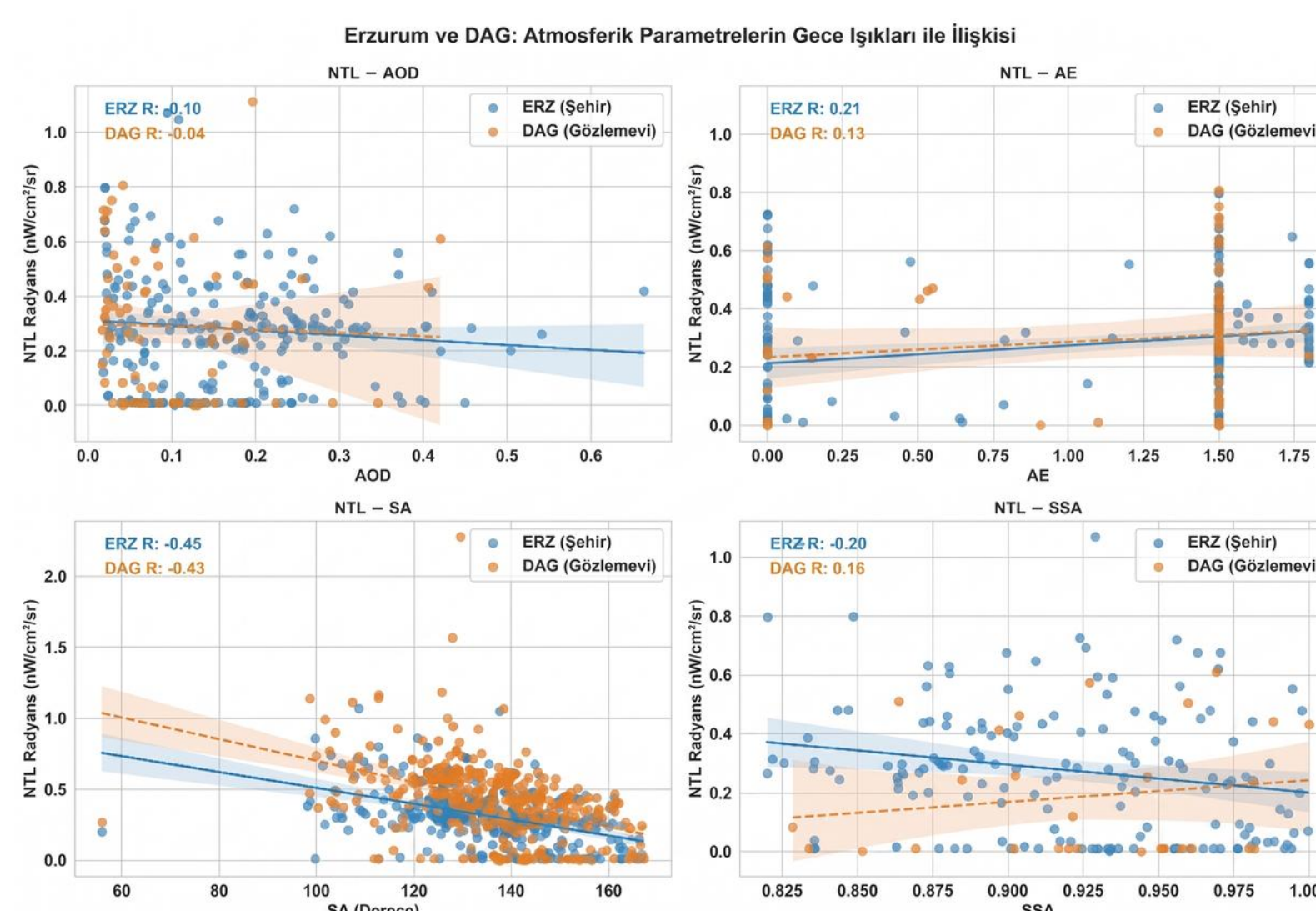


• **AOD (Atmosferik Kalkan & Sönümleme):** ERZ şehir merkezi bir aerosol kaynağı iken, 1200 m'lik irtifa farkı DAG için sönümleyici bir kalkan görevi görür. Yaz aylarındaki (Haziran-Ağustos) eş zamanlı AOD artışları yüksek irtifa toz taşınımını gösterir.

• **AE (Partikül Tipi):** Yıl geneli AE ≈ 1.5 civarında kümelenmesi, kentsel ince partikül baskınlığını; Mart ve Temmuz'daki ani düşüşler ise iri taneli toz girişlerini temsil eder.

• **SSA (Optik Saçılma):** 0.90 - 0.98 bandındaki yüksek SSA değerleri, bölge atmosferindeki aerosollerin soğurmaktan ziyade güçlü bir saçma özelliğine sahip olduğunu doğrular. Temiz ama yüksek saçıcılığa sahip kış atmosferi, düşük AOD'de dahi ışık kirliliğini yayabilmektedir.

• Kış aylarında DAG üzerindeki yapay gece ışığı (NTL) radyansında görülen ekstrem pikler (1-2.0 nW/cm²sr), kar örtüsünden yansıyan kentsel ışıkların yüksek saçıcılığa sahip kış atmosferiyle birleşerek ışığı hapsedmesinden kaynaklanmaktadır

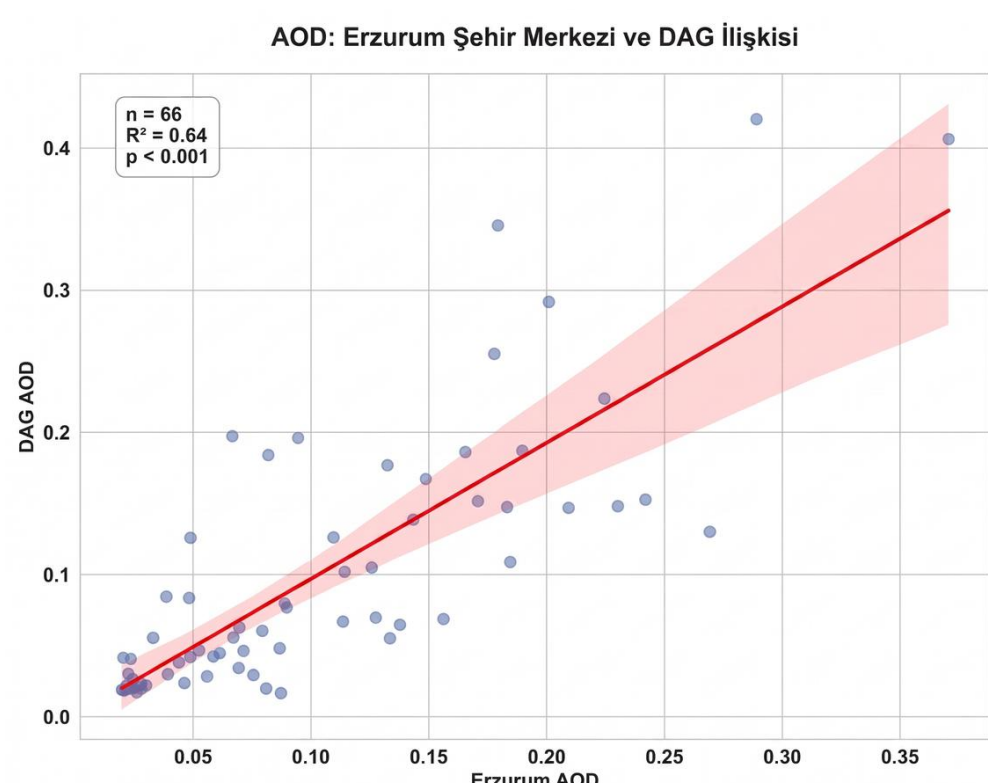


AOD (Partikül Yoğunluğu): Her iki noktada saptanan zayıf negatif korelasyon (ERZ: -0.10, DAG: -0.04), yüksek irtifada (3170 m) aerosol miktarının kendisinden ziyade, aerosollerin optik ve saçıcı karakteristiğinin ışık kirliliği dinamiğinde asıl belirleyici rolü üstlendiğini gösterir.

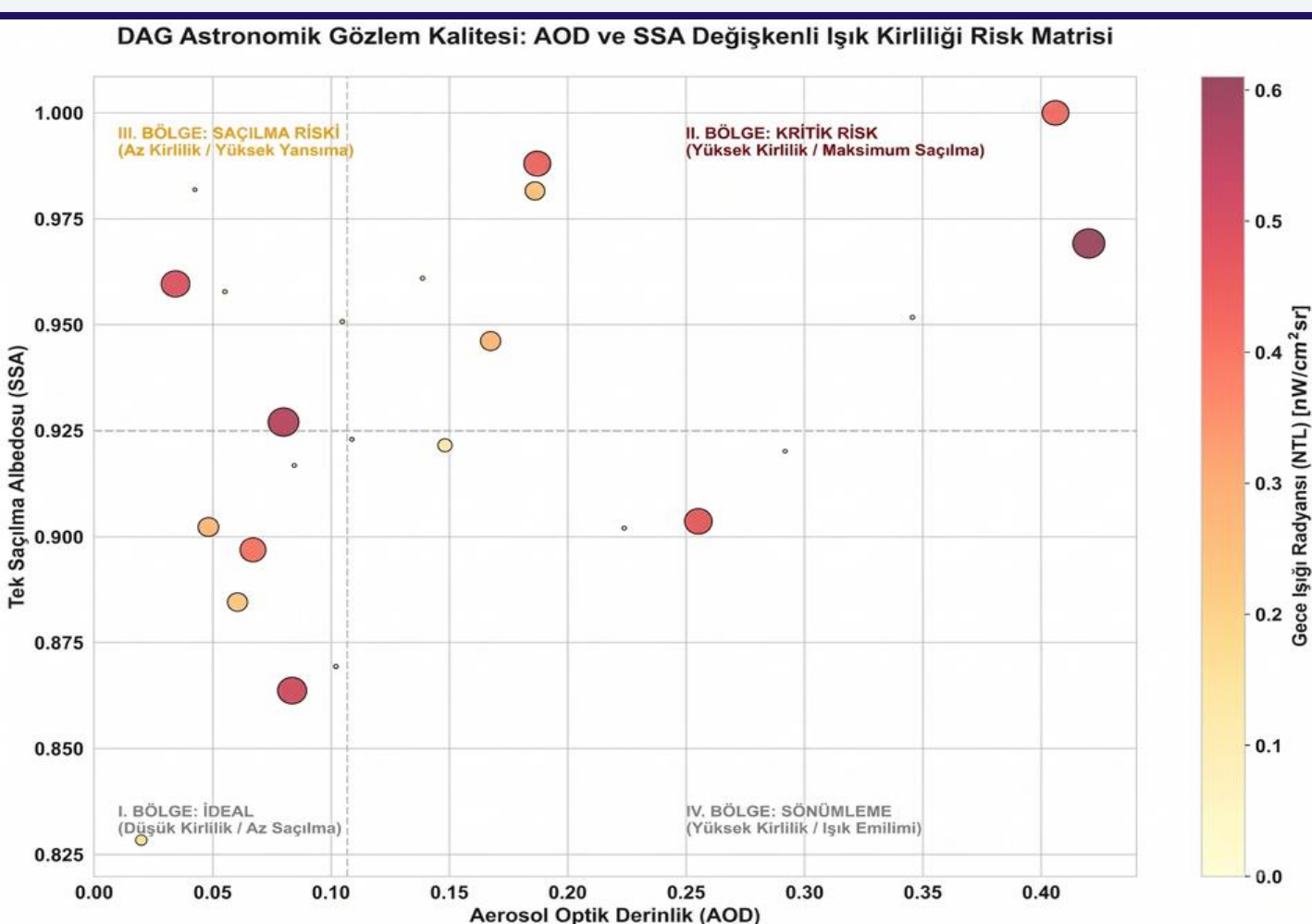
AE (Partikül Boyutu): Rastgele dağılmayan AE verileri 3 spesifik kümede yoğunlaşır: **AE ≈ 0.00** (iri partikül), **AE ≈ 1.50** (kentsel sülfat/organik karbon arka planı) ve **AE ≈ 1.75** (taze trafik/ısınma emisyonu). İnce kentsel partiküller (AE: 1.50-1.75), ışığı Rayleigh ve ince Mie saçılması mekanizmalarıyla atmosferde çok daha homojen dağıtarak DAG üzerindeki yapay gökyüzü parlaklığını doğrudan artırmaktadır.

SA (Saçılma Açısı): Analizdeki en güçlü korelasyon olup (ERZ: -0.45, DAG: -0.43), azalan saçılma açısıyla artan yapay radyans (NTL), aerosollerin **baskın ileri saçılma** karakterini kanıtlar. Bu geometrik duyarlılık, kentsel ışık kubbesinin gözlemevi üzerine yönlü ve odaklanmış parlaklık hüzmeleri halinde yansıyabileceğine işaret eder.

SSA (Tek Saçılma Albedosu): Şehir merkezindeki negatif korelasyona (-0.20) karşın, DAG'da pozitif (0.16) ilişki saptanmıştır. Gözlemevi semalarındaki yüksek yansıtıcılığa (yüksek SSA) sahip seyrek partiküller, kentsel ışığı yakalayıp aşağıya geri yansıtan aktif bir "**atmosferik ayna**" görevi görmektedir.



Elde edilen 0.64'lük belirleme katsayısı (R²), DAG üzerindeki aerosol yoğunluğundaki değişimin %64'ünün doğrudan Erzurum şehir merkezindeki atmosferik yük ile açıklanabileceğini ifade eder. Şehir merkezindeki AOD değerleri 0.35 seviyelerine ulaştığında dahi, DAG yerleşkesindeki değerlerin (bazı ekstrem durumlar hariç) 0.20 bandının altında kaldığı gösterirken DAG'ın kentsel aerosollerden izole olduğunu fiziksel olarak gösterilmektedir. Pembe bölgenin belirgin şekilde üzerinde kalan alanlar DAG bölgesinde yerel kaynaklı olmayan üst atmosferik toz taşınımını ifade etmektedir. Rakım farkı kentsel aerosol yükünü ciddi oranda sönümlese de şehirdeki kirlilik artışlarının yaklaşık üçte ikisi doğrudan gözlemevi semalarına taşınmaktadır



• **Bölge IV (Soğurma Etkisi):** Yüksek kirlilikte düşük SSA ışığı saçmak yerine soğurarak yapay ışığın yukarı yayılımını engelleyen bir filtre görevi görür.

• **Bölge I (Minimum Risk):** Düşük kirlilik (AOD < 0.10) ve düşük saçılma altında, atmosferik geçirgenliğin en yüksek olduğu ideal gözlem dönemidir (radyans: 0.0 - 0.1 nW/cm²sr).

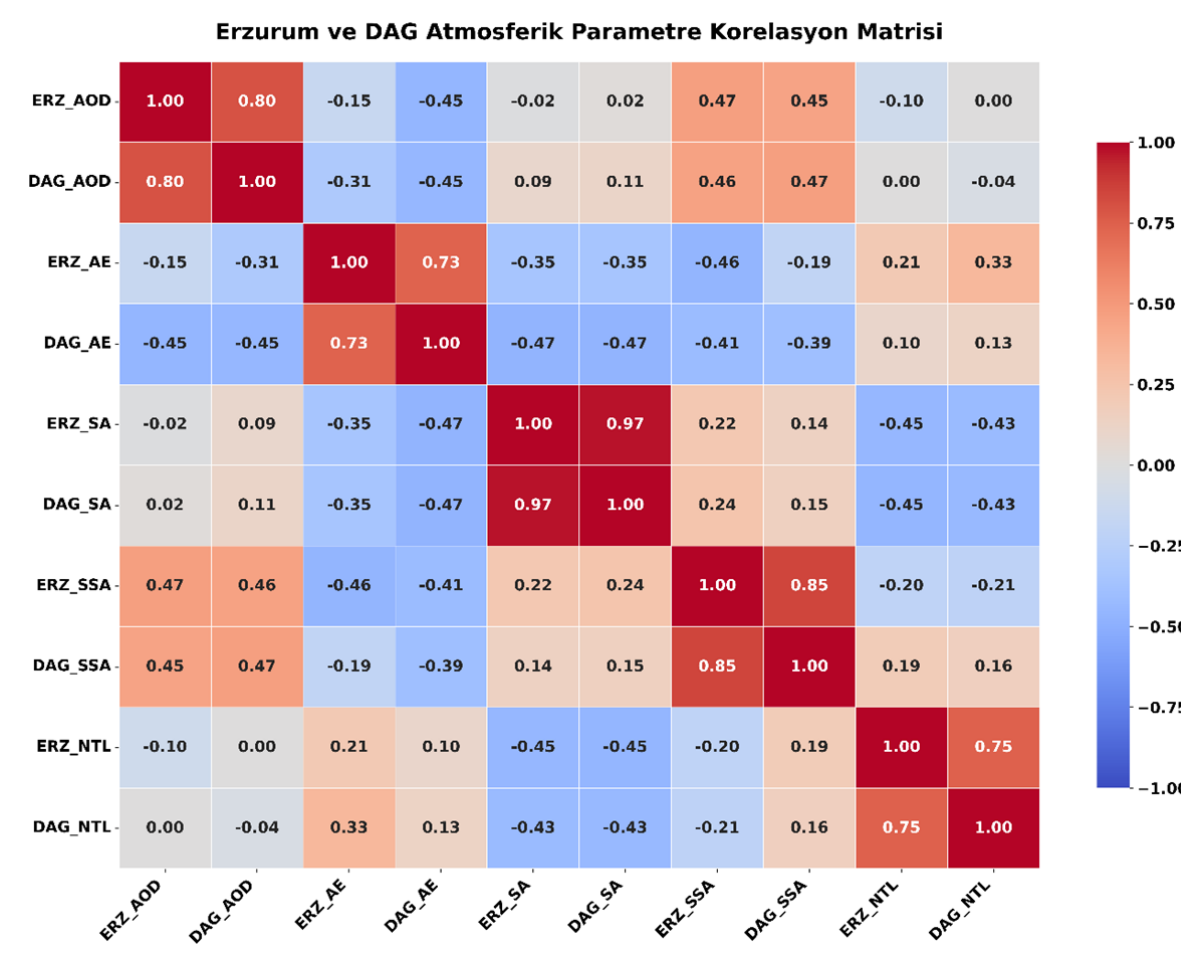
• **Bölge II (Maksimum Risk):** AOD > 0.35 ve SSA > 0.95 birleşimiyle yapay radyans zirveye çıkar (≥ 0.6 nW/cm²sr). Kışın kar örtüsü yansımaları ve saçıcı atmosfer bu yükü 5-6 kat artırır.

• **Bölge III (Optik Hassasiyet):** Kirlilik düşük olsa bile SSA > 0.95 olduğunda (ince toz, buz kristalleri), az miktarda partikül dahi yüksek saçıcılık nedeniyle ciddi gökyüzü parlamasına yol açar.

• **Ortak Hava Kütlesi (AOD: 0.80, SSA: 0.85):** İstasyonlar arasındaki yüksek dikey korelasyon, her iki konumun da aynı bölgesel hava kütlesi tarafından eş zamanlı olarak kontrol edildiğini kanıtlar.

• **Şehir-Gözlemevi Işık Bağı (NTL: 0.75):** Erzurum kentsel aydınlatma rejiminin, DAG gökyüzü yapay radyans değerlerini doğrudan ve güçlü bir şekilde etkilediğini doğrular.

• **İnce Partikül Etkisi (AE-NTL: 0.33):** İnce kentsel emisyonların (ısınma ve trafik dumanı) atmosferde saçılarak yapay gökyüzü parlaklığını artırmadaki kritik rolünü istatistiksel olarak destekler.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Erzurum kentsel kirliliği ile DAG yerleşkesi atmosferi arasında R²=0.64 düzeyinde istatistiksel bir uyum tespit edilmiştir.

Kirlilik kaynaklı AOD değerleri şehir merkezinde 0.35 seviyelerine ulaştığında dahi, gözlemevi rakımında 0.20'nin altında kalarak sönümlenmektedir. Bu durum, DAG'ın sınır tabakası kirliliğine karşı doğal bir kalkana sahip olduğunu; ancak kirlilikteki her salınımın eş zamanlı olarak gözlemevi semalarını modüle ettiğini göstermektedir.

Bölgede hakim olan ince taneli partiküllerin (kentsel kirlilik/duman, AE > 1.50), iri partiküllere oranla kentsel ışıkları atmosferde çok daha homojen bir şekilde saçtığı ve DAG üzerindeki radyans yükünü artırdığı belirlenmiştir.

Erzurum üzerindeki aerosollerin ileri saçılma özelliğine sahip olduğu saptanmıştır. Özellikle saçılma kapasitesi değerinin 0.95'i aştığı durumlarda, Gözlemevi üzerindeki seyrek aerosollerin bile kentsel ışıkları yakalayıp bir atmosferik ayna gibi davrandığı ve ışık kirliliğini yapay olarak yükselttiği görülmüştür.

Zaman serisi analizleri, kış aylarında DAG üzerindeki gece ışığı radyansının ekstrem pikler yaptığını ve şehir merkezi değerlerini aştığını göstermiştir. Bu ışık hapsol-ması, kar örtüsünden yansıyan ışıkların yüksek saçılma kapasitesine sahip kış atmosferiyle birleşmesinden kaynaklanmaktadır.

Gözlemevi koruma bandı içerisinde yapılacak aydınlatma planlamalarında, armatür sayılarının yanı sıra bölgenin aerosol saçılma karakteristiği de dikkate alınmalıdır. Özellikle Rayleigh saçılmasına daha yakın olan mavi ışık spektrumunu minimize eden aydınlatma teknolojilerinin kullanılması, aerosollerin yaratacağı atmosferik ayna etkisini zayıflatmak için kritik bir zorunluluktur.