

Hava Kalitesi Parametreleri (PM₁₀ ve SO₂) Kullanılarak Hava Kirliliği Riskli Bölgelerin Zamana Bağlı Konumsal Analizi: Kocaeli İli Örneği

Tuğba MEMİŞOĞLU BAYKAL^{1*} 

Öz

Bu çalışmada, Kocaeli İl'inin hava kalitesi parametrelerinin CBS tabanlı konumsal-zamansal sıcak nokta kümeleme analizleri gerçekleştirilerek hava kirliliği açısından riskli bölgeler tespit edilmiştir. Bu bağlamda, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Ulusal Hava Kalite İzleme Ağım'dan Kocaeli iline ait 2021-2022 yılları arasında kaydedilen *Partikül madde (PM₁₀)* ve *Kükürt dioksit (SO₂)* hava kalitesi parametreleri aylık ortalama değerler şeklinde temin edilerek düzenlenmiştir, konumla ilişkilendirilmiştir. Çalışmada, öncelikle kullanılan verilerin mekânsal otokorelasyon analizleri yürütülerek kümeleme eğilimi gösterip göstermediği tespit edilmiştir ve analizler için gerekli mesafe değerleri belirlenmiştir. Ardından, klasik sıcak nokta kümeleme analizlerinden sıcak nokta analizi (*Getis Ord Gi**) ve analizlerde zamanı da esas alan gelişen sıcak nokta analizi (*Emerging Hot Spot Analizi*) yürütülmüştür. Sonuçlar, gelişen sıcak nokta analizlerinin, klasik sıcak nokta kümeleme analizlerine göre daha kolay ve hızlı bir analiz sağladığını, ayrıca herhangi bir zaman aralığına dayalı analizleri tek bir seferde değerlendirebilmenin kolay yönünü ve farklı konumlarda daha çok hava kirliliği sıcak noktalarının tespit edildiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Hava kalitesi, PM₁₀, SO₂, CBS, Sıcak nokta analizi, Gelişen sıcak nokta analizi

Spatiotemporal Analysis of Air Pollution Risk Areas Using Air Quality Parameters (PM₁₀ and SO₂): The Case of Kocaeli Province

Abstract

Air pollution is a significant environmental problem that causes adverse effects on all people and living things. Therefore, it is necessary to prevent or control it. Geographical Information System (GIS) based hot spot clustering analyses play an active role in taking necessary precautions by enabling the detection of risky areas where air pollution occurs. In this study, GIS-based spatial-temporal hot spot clustering analyses of the air quality parameters of Kocaeli Province were carried out to identify risky areas in terms of air pollution. In this context, PM₁₀ and SO₂ air quality parameters recorded between 2021-2022 for Kocaeli province from the National Air Quality Monitoring Network of the Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change were obtained as monthly average values and linked to the location. First, spatial autocorrelation analyses of the data used in the study were carried out. Whether they showed a clustering tendency or the necessary distance values for the analyses were determined. Then, hot spot analysis (*Getis Ord Gi**), one of the classical point clustering analyses, and evolving hot spot analysis (*Emerging Hot Spot Analysis*) based on time in the analyses were carried out. The results revealed that emerging hot spot analyses provide an easier and faster analysis than classical hot spot analyses, and also it is easy to evaluate analyses based on any time interval in one go, and more air pollution hotspots are detected in different locations.

Keywords: Air quality, PM₁₀, SO₂, GIS, Hot Spot Analysis, Emerging Hot Spot Analysis

¹Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Tapu Kadastro Yüksekokulu, Tapu Kadastro, Ankara, Türkiye, tugba.memisoglubaykal@hbv.edu.tr; tugbamemisoglu@gmail.com

¹<https://orcid.org/0000-0003-3548-6795>

1. Giriş

Zaman içinde havadaki yabancı maddelerin artışıyla birlikte canlı yaşamının devam ettirilmesi için önemli bir ihtiyaç halinde olan hava, hava kirliliği halini almakta ve bu durumu ile canlı sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir (URL-1). Hava kirliliği, bu haliyle geçmişten günümüze önemli sorun teşkil etmekte ve çevresel problemlerin başında gelmektedir.

Dünya Hava Kirliliği Raporu 2021'e göre, dünya genelinde hava kirliliğinin ciddi seviyelere ulaştığı görülürken, Türkiye'de de bu durumun benzer olduğu ve hava kirliliği açısından dünya sıralamasında 46. sırada yer aldığı tespit edilmektedir. Kısacası, ülkemizde hava kirliliğinin canlılar üzerinde önemli derecede tehlike arz ettiği görülmektedir (World Air Quality Report, 2021). Ayrıca bu raporda, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) belirlediği hava kirliliği eşik değerlerinin dünya genelindeki şehirlerin %97'sinde aşıldığı ve bu durumun bir önceki yıla göre daha kötü hal aldığı görülmektedir (WHO, 2021). Dolayısıyla, hava kirliliği probleminin önlenmesi, azaltılması veya kontrol altına alınması önemli ölçüde ihtiyaç haline gelmektedir. Bu bağlamda, Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) dayalı analizler, geçmişten günümüze hava kirliliğinin boyutu ve riskini de ortaya koyarak gerekli önlemlerin alınmasına olanak tanıyan önemli araç niteliğindedir. CBS, diğer birçok alanda olduğu gibi hava kirliliği çalışmalarında da ele alınarak, azaltım veya önlem çalışmalarına olanak sağlar.

Literatür incelendiğinde, hava kirliliği parametrelerinin pilot bölge nezdinde değerlendirildiği ve analiz edildiği CBS tabanlı birçok çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları istatistiksel analizleri ve değerlendirmeleri içerirken, bazıları ise CBS'ye dayalı konumsal enterpolasyon analizlerini (kriging enterpolasyon yöntemi, ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi, spline yöntemi gibi) içermektedir. Bu çalışmaların yanında literatür incelendiğinde, bazı çalışmalarda CBS'ye dayalı konumsal sıcak nokta kümeleme analizler yöntem olarak kullanılırken, bazı çalışmalarda ise son dönemlerde makine öğrenmesi yöntemlerine (random forest, yapay sinir ağları gibi) dayalı hava kirliliği analizleri kullanılmakta böylece hava kirliliğinin riskli olduğu bölgeleri tespit edilmeye çalışılmaktadır. Tayanç, (2000) İstanbul pilot bölgesinde kış sezonu SO₂ oranlarının konumsal dağılımını incelemiştir. Bu çalışmada, İstanbul'da bulunan 16 adet hava kirliliği izleme istasyonundan elde edilen veriler yardımıyla iki ayrı kış sezonuna ait SO₂ kirlilik haritası oluşturmuştur ve doğalgaz kullanımının artışına bağlı olarak SO₂'nin azaldığı alanların tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Bozyazı Daylan ve İncecik (2002) İstanbul pilot bölgesinde 1992-2000 yılları arasında kaydedilen ortalama SO₂ hava kalitesi parametresini kullanarak CBS tabanlı analizler gerçekleştirerek İstanbul'da ısınma mevsimlerinde ortalama SO₂ değerleri ile arazi kullanım ve nüfus arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Haritalar ile büyük yerleşim ve iş merkezlerini kapsayan bölgelerde yüksek SO₂ konsantrasyon seviyelerinin gösterimi sağlanmıştır. Çınar, (2003) Eskişehir pilot

bölgesinde yanmadan kaynaklanan kirlenici bileşenlere (PM, SO₂, CO, VOC, NO_x) ait emisyon faktörleri ile birlikte değerlendirilerek, ilgili noktasal, çizgisel ve alan kaynaklar için kütleli emisyon hızı değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada, hesaplanan emisyonların çalışma alanındaki dağılımını görsel olarak değerlendirmek üzere, CBS kullanılarak emisyon haritaları oluşturulmasına dair yüksek lisans tezi yürütülmüştür. Briggs, (2005) geleneksel konuma dayalı yöntemlerin değerlendirilmesinin yanında zaman-aktivite modellerinin modellenmesi dâhil olmak üzere enterpolasyon yöntemlerinin ve dinamik modelleme tekniklerinin kullanımını incelemiştir. Bunun yanında, çalışmada hava kirliliği epidemiyolojisi için farklı yaklaşımların bazı çıkarımları tartışılmıştır ve çevresel epidemiyolojinin ihtiyaçlarını karşılamak için hangi maruz kalma ölçümlerinin kullanılması gerektiği ve hangi düzeyde mekânsal ve zamansal doğruluğun gerekli olduğu soruları irdelenmiştir. Zou ve ark., (2011) bölgesel ortam hava kalitesini nispeten ince bir coğrafi ölçekte (1 km × 1 km) karakterize etmek için 1996-2002 yılları arasında kaydedilen SO₂ verileri kullanılarak hava dağılımı modellenmesi ve CBS tabanlı mekânsal analiz yöntemlerinin bir arada değerlendirildiği çalışma gerçekleştirilmiştir ve istatistiksel olarak çıktılar tartışılmıştır. Kopar ve Zengin, (2009) Erzurum pilot bölgesinde coğrafi faktörlere bağlı olarak hava kalitesinin zamansal ve mekânsal değişiminin irdelenmesi üzerine çalışma yürütmüştür. Çalışmada, 1990-2008 yılları arasındaki SO₂ ve PM₁₀ değerleri kullanılarak CBS'ye dayalı analizler yürütülmüştür ve sonuçlar mekânsal analiz haritalarıyla sunulmuştur. Akyürek ve ark., (2013) Kocaeli pilot bölgesinde SO₂ ve PM₁₀ hava kirliliği parametrelerini kullanarak CBS ile konumsal analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada, ters mesafe ağırlık yöntemi, ordinary kriging yöntemi ve spline yöntemlerine göre mekânsal kirlilik dağılım haritaları oluşturulmaya çalışılmış ve istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Zeydan ve ark., (2014) Zonguldak pilot bölgesinde hava kalitesi modellenmesinin CBS'ye dayalı nasıl yürütüleceğinin cevabını aramıştır. Çalışmada, CBS'ye dayalı çizgisel ve alansal altlık haritaları üretilmiştir ve bu altlık haritaları, hava kalitesi modelleme yazılımlarının ihtiyaç duyduğu shapefile formatına dönüştürülmüştür. Alan hesaplamaları gibi basit sorgulamalar gerçekleştirilerek yüzey meteorolojik parametrelerinin ağırlıklı ortalama değerleri hesaplanmıştır. Modelleme çalışmasının sonunda, maksimum konsantrasyonların olduğu noktalar analiz edilmiştir ve bu noktaların Zonguldak Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'na olan mesafeleri ölçülerek PM₁₀ açısından en kirli bölgeler belirlenmiştir. Cuci ve ark., (2005) Gaziantep pilot bölgesinde trafikten kaynaklı hava kirliliğinin tespitine yönelik çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, trafik kaynaklı emisyon miktarları belirlenerek, Gaziantep iline ait grid tabanlı hava kirliliği haritaları üretilmiştir. Ayrıca, örnekleme metodu kullanılarak NO_x emisyonları tespit edilmeye çalışılmıştır. Yang ve Christakos, (2015) Çin pilot bölgesinde PM_{2.5} konsantrasyonlarının uzay-zaman değişkenliğini değerlendirmek ve Çin'in Shandong eyaletindeki dağılımlarını tahmin etmek için Bayes maksimum entropi (BME) yöntemini kullanmıştır. Çalışmada, 2014 yılında hava kalitesi izleme alanlarında elde edilen günlük PM_{2.5} konsantrasyonları kullanılmıştır. Üretilen uzay-zaman

PM_{2.5} dağılımlarına dayanarak, ana dağıtım özelliklerini ortaya çıkarmak için üç tür sorgulama analizi gerçekleştirilmiştir. Demirarslan ve Akıncı, (2016) Doğu Karadeniz Bölgesinde CBS'ye dayalı SO₂ dağılımlarının analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada, 2011-2016 yılları arasında kaydedilen SO₂ hava kalitesi verileri ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemiyle (Inverse Distance Weighted, IDW) analiz edilmiş ve Karadeniz Bölgesi'nin mevsimsel SO₂ dağılım haritaları üretilmiştir. Dağılım haritalarının yorumlanmasında ise bölgeye ait rüzgârgülleri oluşturulmuştur. Demirarslan ve Akıncı, (2018) Marmara bölgesinde CBS'ye dayalı kış sezonunda hava kalitesinin analizine ait bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada, ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi kullanılarak Marmara Bölgesinin kış sezonu PM₁₀ ve SO₂ dağılım haritaları üretilmiştir. Ayrıca üretilen haritaların yorumlanabilmesi için bölgeye ait rüzgârgülleri oluşturulmuştur. Toros ve ark., (2018) Ankara pilot bölgesinde hava kirliliğinin mekânsal dağılımının modellenmesine dair analizler gerçekleştirmiştir. Çalışmada, 2010-2016 yılları arasındaki saatlik ortalama kirletici değerlerine ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi ve kriging enterpolasyon yöntemleri uygulanmış ve mekânsal dağılımın modellenmesi noktasında enterpolasyon haritaları üretilmiştir. Colak ve ark., (2018) Ege bölgesinde CBS'ye dayalı hava kirliliği parametreleri kullanılarak konumsal analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada, bölgeye ait temin edilen PM₁₀ ve SO₂ değerlerine ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi uygulanmış ve bölgenin hava kirliliğinin değişim halinde olduğu yerler tespit edilmiştir. Kalıpçı ve Başer, (2019) Türkiye pilot bölgesinde CBS'ye dayalı hava kirliliğinin değerlendirilmesine yönelik çalışma yürütmüştür. Çalışmada, hava kirliliğinin muhtemel sebeplerine göre kriging enterpolasyon yöntemi ile analizler gerçekleştirilerek ayrı ayrı değerlendirme yapılmış ve haritalarla gösterim sağlanmıştır. Ayrıca hava kalitesi parametrelerinden SO₂ ve PM₁₀'a göre de değerlendirmeler yapılarak haritalar üzerinde gösterim sağlanmıştır. Prasetia ve ark., (2021) Banjarmasin Şehri, Kuin Utara ve Kuin Selatan yollarındaki trafik aktivitesinden kaynaklanan PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonu ve dağılımı bu çalışmada gözlemlemiştir. Çalışmada, CBS mekânsal modeller kullanılarak trafik aktivitesinden PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonunun dağılım modeli gerçekleştirilmiştir. Bozdağ ve ark., (2020) Ankara pilot bölgesinde yer alan 7 istasyondan elde edilen PM₁₀ konsantrasyonlarını makine öğrenme algoritmaları (LASSO, SVR, RF, kNN, xGBoost, ANN) ile eğitmiştir. Çalışmada, Ankara'da 6 istasyonun 2009–2017 yıllarına ait PM₁₀ konsantrasyonları girdi olarak verilmiş, 2018 yılı yedinci istasyonun PM₁₀ konsantrasyonları tahmin edilmiştir. Son olarak model geliştirme aşaması her istasyon için tekrarlanmış ve algoritmaların ürettiği sonuçlar gerçek sonuçlarla karşılaştırılarak algoritmaların performans ve hata oranları belirlenmiştir. Uğurlu, (2021) Konya pilot bölgesinde hava kirliliğine neden olan SO₂, PM₁₀, CO, NO₂ ve O₃ kirleticileri için mekânsal analizi yüksek lisans teziyle ortaya koymuştur. Çalışmada, 2019-2020 yılları arasında kaydedilen verilere ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi uygulanarak hava kirliliği tematik haritaları üretilmiş, elde edilen sonuçlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan Hava

Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği sınır değerleri temel alınarak harita ve grafiklerle incelenmiştir. Solak, (2021) Afyonkarahisar pilot bölgesinde hava kirliliğinin mekânsal bağımlılığını CBS'ye dayalı olarak yüksek lisans teziyle araştırmıştır. Çalışmada, hava kirletici parametrelerinden SO₂ ve NO₂ değerleri kullanılarak tampon bölgeleri oluşturulmuştur. Oluşturulan tampon bölgelerinde hava kirliliği etkisinin irdelenmesi için regresyon analizleri gerçekleştirilerek kirletici parametreler ile çevresel faktörler arasındaki ilişkisi açıklanmaya çalışılmıştır. Son olarak mekânsal otokorelasyon testleri ile kümelenmeler araştırılmış ve ters mesafe ağırlık yöntemi ile kirlilik dağılım haritaları üretilmiştir. Vural, (2021) Güneydoğu Anadolu bölgesindeki illerde CBS'ye dayalı hava kalitesi mekânsal değişim analizi gerçekleştirmiştir. Çalışmada, 2007-2019 yılları arasındaki SO₂ ve PM₁₀ hava kalitesi verilerinin mekânsal değişimini tespit etmek için CBS'ye dayalı ters mesafe ağırlıklı yöntem kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir ve çıktılar enterpolasyon haritaları şeklinde sunulmuştur. Yuan ve ark., (2021) Çin pilot bölgesinde 2007'den 2018'e kadar 270 Çin şehrinin çok kaynaklı doğa ve beşeri bilimler verilerine dayanarak, SO₂ emisyonlarının uzay-zamansal evrim özellikleri, sıcak nokta analizi, çekirdek yoğunluğu ve standart sapma elips modelleri olan Moran's I istatistiği kullanılarak ortaya çıkarılmıştır. Tella ve Balogun, (2021) Malezya pilot bölgesinde PM₁₀'un diğer bölgelere dağılımını tahmin etmek ve değerlendirmek için sıradan kriging (OK), evrensel kriging (UK) ve ters mesafe ağırlıklandırması gibi mekânsal enterpolasyon modelleri ve jeostatistik analizleri kullanmıştır. Gökçek ve ark., (2022) Kayseri pilot bölgesinde PM₁₀ parametresinin makine öğrenmesi algoritmaları ile mekânsal analizini yürütmüştür. Çalışmada, 2010-2018 yılları arasında ölçülen PM₁₀ konsantrasyonu verileri makine öğrenmesi algoritmaları (kNN, DVR, RF, ANN, Lineer Regresyon) ile eğitilmiştir. Kayseri'deki 3 istasyonun 2010-2018 yılları arasındaki PM₁₀ konsantrasyon değerleri girdi olarak verilmiş ve 2019 yılına ait PM₁₀ konsantrasyon değerleri tahmin edilmiştir. Ahmadi ve ark., (2022) ArcGIS Pro 2.7'de uzay-zaman küpünün 3 boyutlu görselleştirmesi sayesinde Urmiye Gölü'nün kuruması ve Tebriz'deki PM₁₀ konsantrasyonun buna olan etkisini araştırarak birbirleri arasındaki ilişkileri tartışılmıştır. Çalışmada, göle ait uydu görüntüleri ve PM₁₀ değerleri elde edilmiş, 2004-2019 yılları arasında gölün her mevsimindeki PM₁₀ değeri için bir uzay-zaman küpü oluşturulmuştur. Son olarak oluşturulan bu küplerin zaman serisi analizi, gelişen sıcak nokta analizi ve üç boyutlu (3D) görselleştirmesi yapılarak sunulmuştur.

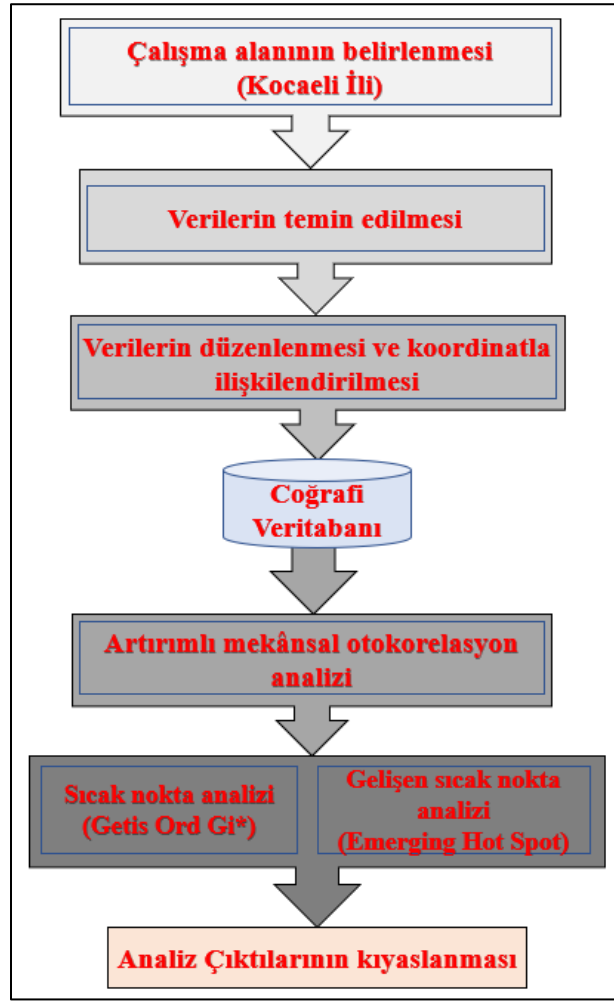
Bu çalışmada ise, literatürden farklı olarak konum-zaman ilişkisini dikkate alan son yıllarda birçok alanda kullanılmaya başlanan gelişen sıcak nokta kümeleme analizine dayalı bir çalışma yürütülmeye çalışılmıştır. Özellikle bu alanda ülkemizde bu denli bir çalışmanın olmayışı, uluslararası çalışmalarda ise sınırlı sayıda yer alması çalışmanın ele alınmasındaki önemli çıkış noktalarından birisidir. Ayrıca, hava kirliliğinin riskli alanlarının tespitinde kullanılan verilerin mekânsal otokorelasyona dayandırılarak kümeleme eğiliminde olup olmadığının tespit edilmesi, çıktılarının sıcak nokta kümeleme analizlerinde kullanılması gibi istatistiksel yaklaşımların literatürde

sınırlı oluşu da çalışmanın özgün olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada, birçok alanda kullanılan sıcak nokta kümeleme analizi ve bu yöntem zaman faktörünün de eklenerek son yıllarda ortaya çıkarılan gelişen sıcak nokta kümeleme analizinin bir arada değerlendirilmesi ve kıyaslanması yapılmıştır. Hava kirliliği riskli bölgelerinin tespitinde her iki yöntemin kıyaslanması ve farklılıklarının irdelenmesi ile bu alana yeni bir bakış açısıyla katkı sağlanabileceği düşünülmektedir ve bu durum çalışmanın çıkış noktalarından bir diğeridir.

Dolayısıyla bu çalışmada, Kocaeli İl'inin hava kalitesi parametrelerinin CBS tabanlı konumsal-zamansal sıcak nokta kümeleme analizleri gerçekleştirilerek hava kirliliği açısından riskli bölgeler tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı'ndan Kocaeli iline ait 2021-2022 yılları arasında kaydedilen PM₁₀ ve SO₂ hava kalitesi parametrelerinin aylık ortalama değerleri kullanılarak kümeleme analizleri gerçekleştirmeye çalışılmıştır. Çalışmada, öncelikle kullanılan verilerin mekânsal otokorelasyon analizleri yürütülerek kümeleme eğilimi gösterip göstermediği tespit edilmiştir ve analizler için gerekli mesafe değerleri tespit edilmiştir. Ardından, klasik nokta kümeleme analizlerinden *Getis Ord Gi** ve analizlerde zamanı da esas alan gelişen sıcak nokta kümeleme analizi *Emerging Hot Spot Analizi* yürütülmüştür. Elde edilen çıktılar değerlendirilerek ve birbirleriyle kıyaslanarak hava kirliliğinin riskli olduğu noktalar için önermeler getirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

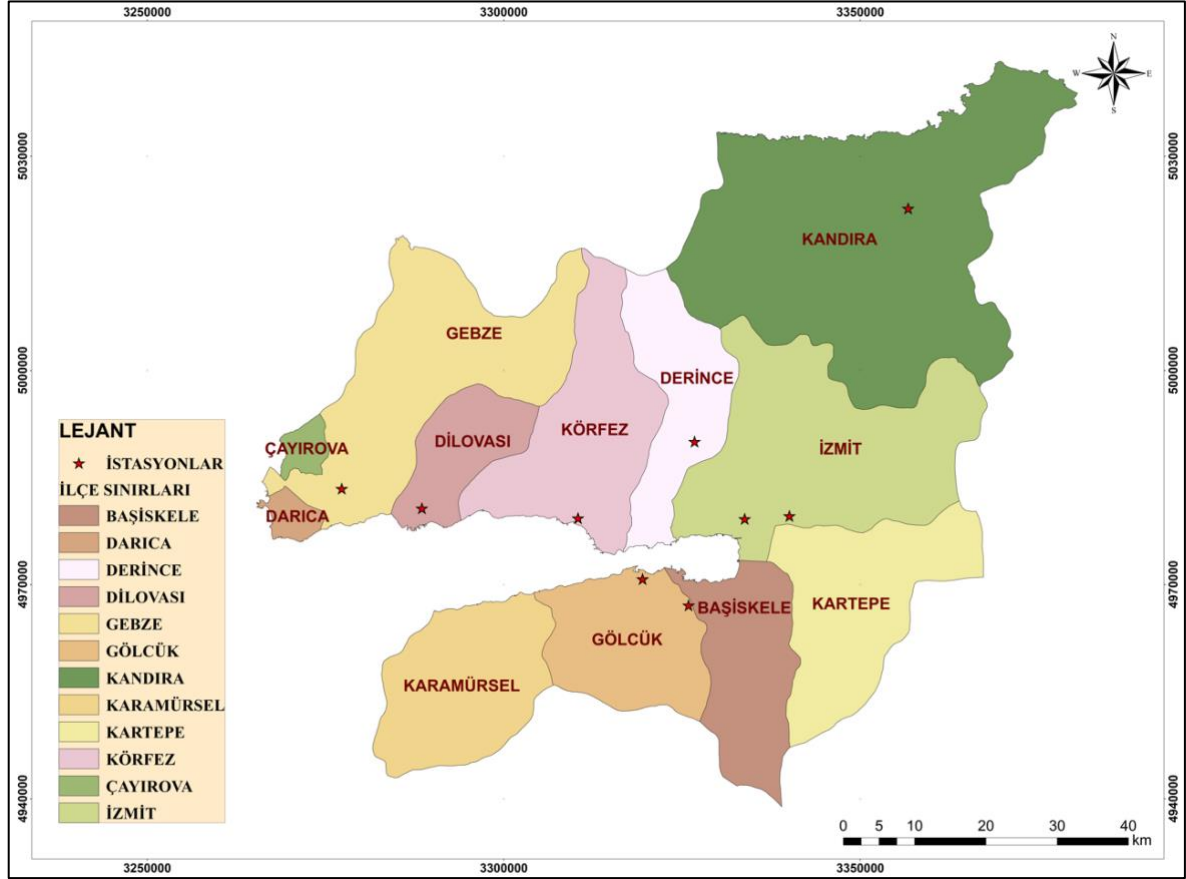
Bu çalışmada, Kocaeli ilindeki PM₁₀ ve SO₂ hava kalitesi parametreleri kullanılarak hava kirliliğinin riskli olduğu bölgelerin CBS tabanlı konumsal-zamansal sıcak nokta kümeleme analizleriyle tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın iş-akış şeması Şekil 1'de ele alınmıştır.



Şekil 1. Çalışmanın iş-akış şeması

2.1. Çalışma alanı

Çalışma, Türkiye'nin Kocaeli ilinde gerçekleştirilmiştir. Kocaeli ili, Marmara Bölgesi'nin Çatalca–Kocaeli Bölümü'nde, 29° 22'-30° 21' doğu boylamı, 40° 31'-41° 13' kuzey enlemi arasında yer alır. Doğu ve güneydoğusunda Sakarya, güneyinde Bursa illeri, batısında Yalova ili, İzmit Körfezi, Marmara Denizi ve İstanbul ili, kuzeyde de Karadeniz'le çevrilidir. Kocaeli, Türkiye'nin en kalabalık onuncu şehridir. Bulunduğu konum itibarıyla ülkenin en büyük sanayi ve ticaret merkezlerinden birisidir. TÜİK 2022 yılı nüfus sayımlarına göre nüfusu 2033441 yüzölçümü ise 3397 km²'dir (URL-2). Marmara Bölgesinde sanayi, ticaret, turizm ve tarım oldukça gelişmiştir. İstanbul, Bursa, Kocaeli şehirleri bölgenin en gelişmiş sanayi illeri konumundadır. Dolayısıyla sanayiden kaynaklı hava kirliliği bu illerde oldukça yoğun gözükmektedir. Bu çalışmada Kocaeli ilinin seçilmesinin başlıca sebebi; bu ilin sanayinin gelişmişlik düzeyin açısından Türkiye sıralamasında ilk üçte yer alması, dolayısıyla da bu ilde hava kirliliğinin risk teşkil edeceği noktaların zamansal olarak nasıl değişim göstereceğinin tespit edilmesi ve bu noktalara dikkat çekilmesidir. Çalışmadaki analizlerin yürütüldüğü alan ve bu alanda dikkate alınan hava kalitesi izleme istasyonları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Hava kalitesi izleme istasyonlarının analizleri gerçekleştirilen ilçeler bazında harita üzerinde gösterimi

2.2 Verilerin temini ve Coğrafi Veritabanı Tasarımı (CVT)

Çalışmada, kullanılan PM₁₀ ve SO₂ hava kalitesi verileri, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Ulusal Hava Kalite İzleme Ağın'a ait internet sitesinden 2021-2022 yılları arasındaki (01 Ocak 2021- 01 Ocak 2022) günlük verileri içerecek şekilde Microsoft Excel formatlı olarak temin edilmiştir. Elde edilen veriler, analizlerin aylık yapılması planlandığından ortalama değerleri tespit edilerek ortalama aylık değerler şeklinde düzenlenmiştir. Daha sonra düzenlenmiş veriler ArcGIS 10.8 programında kullanılmak üzere konumla ilişkili hale getirilmiştir ve verinin projeksiyon sistemi WGS_1984_Web_Mercator_Auxiliary_Sphere olarak tanımlanmıştır. Düzenlenmiş veriler akabinde konumsal-zamansal sıcak nokta kümeleme analizlerinde kullanılmak üzere coğrafi veritabanına eklenmiştir (Şekil 3). Analizlerde kullanılan konumsal veriler ve bu verilere ait bilgiler ise Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Ölçüm istasyonları ve verileri

Tablo 1. Analizlerde kullanılan istasyon verilerine ait konumla ilişkili hava kirliliği bilgileri

FID	Date	İSTASYON MEVKİİ	PM10	SO2	X	Y
0	1.01.2021	Kocaeli merkez	44,67	14,46	29,88	40,84
1	1.02.2021		47,74	6,69	29,88	40,84
2	1.03.2021		38,30	17,87	29,88	40,84
3	1.04.2021		42,58	16,89	29,88	40,84
4	1.05.2021		37,77	1,54	29,88	40,84
5	1.06.2021		37,68	11,28	29,88	40,84
6	1.07.2021		40,25	7,57	29,88	40,84
7	1.08.2021		38,91	3,80	29,88	40,84
8	1.09.2021		37,24	8,79	29,88	40,84
9	1.10.2021		39,74	15,68	29,88	40,84
10	1.11.2021		63,62	17,65	29,88	40,84
11	1.12.2021	41,82	4,89	29,88	40,84	
12	1.012.022	Kocaeli merkez	39,85	8,38	29,88	40,84
13	1.022.022		52,45	16,04	29,88	40,84
14	1.032.022		51,08	4,12	29,88	40,84
15	1.042.022		55,93	4,11	29,88	40,84
16	1.052.022		40,10	3,12	29,88	40,84
17	1.062.022		34,81	4,00	29,88	40,84
18	1.072.022		29,90	3,50	29,88	40,84
19	1.082.022		39,89	2,64	29,88	40,84
20	1.092.022		39,69	1,94	29,88	40,84
21	1.102.022		39,22	2,30	29,88	40,84
22	1.112.022		55,72	2,92	29,88	40,84
23	1.122.022	64,02	2,61	29,88	40,84	
24	1.01.2021	Kocaeli Alikahya	46,62	4,81	30,00	40,78
25	1.02.2021		56,02	7,04	30,00	40,78
26	1.03.2021		44,32	10,42	30,00	40,78
27	1.04.2021		44,32	12,06	30,00	40,78
28	1.05.2021		43,74	8,26	30,00	40,78
29	1.06.2021		35,19	8,89	30,00	40,78
30	1.07.2021		34,30	2,58	30,00	40,78
31	1.08.2021		32,49	3,54	30,00	40,78
32	1.09.2021		28,21	3,03	30,00	40,78
33	1.10.2021		36,63	4,20	30,00	40,78
34	1.11.2021		60,95	18,43	30,00	40,78
35	1.12.2021	37,55	37,59	30,00	40,78	
36	1.012.022	Kocaeli Alikahya	46,64	11,10	30,00	40,78
37	1.022.022		51,89	13,39	30,00	40,78
38	1.032.022		43,83	10,34	30,00	40,78
39	1.042.022		57,56	14,96	30,00	40,78
40	1.052.022		36,36	9,31	30,00	40,78
41	1.062.022		27,68	9,28	30,00	40,78
42	1.072.022		26,99	8,73	30,00	40,78
43	1.082.022		31,59	9,64	30,00	40,78
44	1.092.022		32,86	12,12	30,00	40,78
45	1.102.022		40,48	9,35	30,00	40,78
46	1.112.022		56,47	12,49	30,00	40,78
47	1.122.022	54,77	15,81	30,00	40,78	

48	1.01.2021	Kocaeli Dilovası	68,58	36,36	29,54	40,79
49	1.02.2021		79,12	42,45	29,54	40,79
50	1.03.2021		72,53	35,45	29,54	40,79
51	1.04.2021		66,23	24,92	29,54	40,79
52	1.05.2021		40,99	26,57	29,54	40,79
53	1.06.2021		35,99	18,09	29,54	40,79
54	1.07.2021		33,19	8,73	29,54	40,79
55	1.08.2021		36,50	16,29	29,54	40,79
56	1.09.2021		30,30	11,09	29,54	40,79
57	1.10.2021		34,47	13,18	29,54	40,79
58	1.11.2021		67,32	30,12	29,54	40,79
59	1.12.2021		42,66	25,00	29,54	40,79
60	1.01.2022	Kocaeli Dilovası	58,81	28,58	29,54	40,79
61	1.02.2022		68,92	53,22	29,54	40,79
62	1.03.2022		64,57	25,01	29,54	40,79
63	1.04.2022		58,85	43,95	29,54	40,79
64	1.05.2022		32,59	20,65	29,54	40,79
65	1.06.2022		24,07	6,06	29,54	40,79
66	1.07.2022		22,42	4,10	29,54	40,79
67	1.08.2022		28,42	3,35	29,54	40,79
68	1.09.2022		34,22	8,54	29,54	40,79
69	1.10.2022		28,94	10,26	29,54	40,79
70	1.11.2022		44,58	16,80	29,54	40,79
71	1.12.2022		67,63	24,95	29,54	40,79
72	1.01.2021	Kocaeli Gebze	51,00	13,51	29,44	40,80
73	1.02.2021		57,37	12,63	29,44	40,80
74	1.03.2021		54,69	13,86	29,44	40,80
75	1.04.2021		51,05	13,73	29,44	40,80
76	1.05.2021		58,75	11,06	29,44	40,80
77	1.06.2021		56,78	170,45	29,44	40,80
78	1.07.2021		48,35	6,97	29,44	40,80
79	1.08.2021		50,37	6,67	29,44	40,80
80	1.09.2021		21,66	7,02	29,44	40,80
81	1.10.2021		51,00	6,53	29,44	40,80
82	1.11.2021		88,12	11,28	29,44	40,80
83	1.12.2021		51,11	10,28	29,44	40,80
84	1.01.2022	Kocaeli Gebze	52,63	12,14	29,44	40,80
85	1.02.2022		72,14	20,66	29,44	40,80
86	1.03.2022		68,87	14,83	29,44	40,80
87	1.04.2022		69,54	15,86	29,44	40,80
88	1.05.2022		50,90	18,43	29,44	40,80
89	1.06.2022		42,77	11,88	29,44	40,80
90	1.07.2022		34,54	11,01	29,44	40,80
91	1.08.2022		52,26	9,32	29,44	40,80
92	1.09.2022		50,68	8,44	29,44	40,80
93	1.10.2022		52,67	4,51	29,44	40,80
94	1.11.2022		67,41	7,08	29,44	40,80
95	1.12.2022		74,66	7,35	29,44	40,80
96	1.01.2021	Kocaeli-Gölcük-	33,26	5,93	29,82	40,72
97	1.02.2021		38,45	4,67	29,82	40,72
98	1.03.2021		28,23	14,73	29,82	40,72
99	1.04.2021		35,09	6,42	29,82	40,72
100	1.05.2021		36,57	16,59	29,82	40,72
101	1.06.2021		29,76	7,70	29,82	40,72
102	1.07.2021		25,28	5,62	29,82	40,72
103	1.08.2021		22,73	4,93	29,82	40,72
104	1.09.2021		18,66	11,25	29,82	40,72
105	1.10.2021		23,40	23,47	29,82	40,72
106	1.11.2021		45,11	7,95	29,82	40,72
107	1.12.2021		21,66	7,18	29,82	40,72
108	1.01.2022	Kocaeli-Gölcük-	31,37	10,69	29,82	40,72
109	1.02.2022		35,24	15,12	29,82	40,72
110	1.03.2022		33,28	9,17	29,82	40,72
111	1.04.2022		43,97	9,17	29,82	40,72
112	1.05.2022		29,12	3,97	29,82	40,72
113	1.06.2022		26,98	5,04	29,82	40,72
114	1.07.2022		19,76	5,90	29,82	40,72
115	1.08.2022		23,95	4,61	29,82	40,72
116	1.09.2022		23,90	5,58	29,82	40,72
117	1.10.2022		21,42	4,43	29,82	40,72

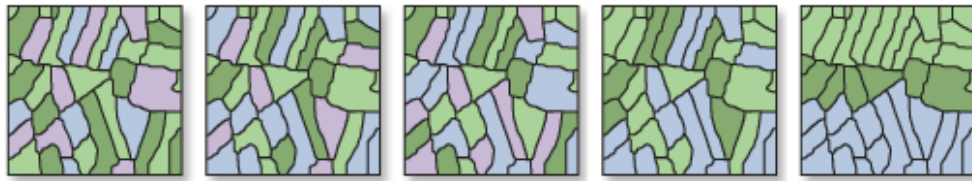
118	1.11.2022		32,57	6,58	29,82	40,72
119	1.12.2022		37,53	14,79	29,82	40,72
120	1.01.2021	Kocaeli-İzmit-	64,61	0,00	29,95	40,78
121	1.02.2021		67,97	0,00	29,95	40,78
122	1.03.2021		52,32	0,00	29,95	40,78
123	1.04.2021		50,48	0,00	29,95	40,78
124	1.05.2021		37,99	0,00	29,95	40,78
125	1.06.2021		35,77	0,00	29,95	40,78
126	1.07.2021		32,58	0,00	29,95	40,78
127	1.08.2021		32,52	0,00	29,95	40,78
128	1.09.2021		35,11	0,00	29,95	40,78
129	1.10.2021		40,68	0,00	29,95	40,78
130	1.11.2021		76,67	0,00	29,95	40,78
131	1.12.2021		67,16	0,00	29,95	40,78
132	1.01.2022	Kocaeli-İzmit-	59,53	0,00	29,95	40,78
133	1.02.2022		72,84	0,00	29,95	40,78
134	1.03.2022		72,60	0,00	29,95	40,78
135	1.04.2022		66,97	0,00	29,95	40,78
136	1.05.2022		42,09	0,00	29,95	40,78
137	1.06.2022		33,54	0,00	29,95	40,78
138	1.07.2022		37,36	0,00	29,95	40,78
139	1.08.2022		38,42	0,00	29,95	40,78
140	1.09.2022		40,69	0,00	29,95	40,78
141	1.10.2022		36,89	0,00	29,95	40,78
142	1.11.2022		100,73	0,00	29,95	40,78
143	1.12.2022		77,29	0,00	29,95	40,78
144	1.01.2021	Kocaeli-Kandıra-	20,34	0,00	30,15	41,07
145	1.02.2021		24,78	0,00	30,15	41,07
146	1.03.2021		17,42	0,00	30,15	41,07
147	1.04.2021		17,97	0,00	30,15	41,07
148	1.05.2021		20,96	0,00	30,15	41,07
149	1.06.2021		16,50	0,00	30,15	41,07
150	1.07.2021		21,11	0,00	30,15	41,07
151	1.08.2021		22,84	0,00	30,15	41,07
152	1.09.2021		18,97	0,00	30,15	41,07
153	1.10.2021		20,16	0,00	30,15	41,07
154	1.11.2021		30,08	0,00	30,15	41,07
155	1.12.2021		14,36	0,00	30,15	41,07
156	1.01.2022	Kocaeli-Kandıra-	15,00	0,00	30,15	41,07
157	1.02.2022		21,85	0,00	30,15	41,07
158	1.03.2022		20,91	0,00	30,15	41,07
159	1.04.2022		25,55	0,00	30,15	41,07
160	1.05.2022		16,23	0,00	30,15	41,07
161	1.06.2022		13,94	0,00	30,15	41,07
162	1.07.2022		16,38	0,00	30,15	41,07
163	1.08.2022		27,58	0,00	30,15	41,07
164	1.09.2022		21,71	0,00	30,15	41,07
165	1.10.2022		21,08	0,00	30,15	41,07
166	1.11.2022		35,06	0,00	30,15	41,07
167	1.12.2022		24,08	0,00	30,15	41,07
168	1.01.2021	Kocaeli-Körfez-	42,14	5,22	29,74	40,78
169	1.02.2021		47,86	6,93	29,74	40,78
170	1.03.2021		37,82	9,23	29,74	40,78
171	1.04.2021		41,14	14,73	29,74	40,78
172	1.05.2021		39,49	14,03	29,74	40,78
173	1.06.2021		36,96	17,40	29,74	40,78
174	1.07.2021		41,17	10,36	29,74	40,78
175	1.08.2021		54,86	6,61	29,74	40,78
176	1.09.2021		43,67	4,97	29,74	40,78
177	1.10.2021		25,68	7,55	29,74	40,78
178	1.11.2021		50,22	23,97	29,74	40,78
179	1.12.2021		33,10	9,03	29,74	40,78
180	1.01.2022	Kocaeli-Körfez-	37,39	23,18	29,74	40,78
181	1.02.2022		40,76	19,73	29,74	40,78
182	1.03.2022		38,30	15,17	29,74	40,78
183	1.04.2022		45,58	30,07	29,74	40,78
184	1.05.2022		34,43	11,18	29,74	40,78
185	1.06.2022		30,11	10,02	29,74	40,78
186	1.07.2022		32,15	8,02	29,74	40,78
187	1.08.2022		33,39	11,97	29,74	40,78

188	1.09.2022		35,69	8,28	29,74	40,78
189	1.10.2022		35,02	4,28	29,74	40,78
190	1.11.2022		44,60	8,40	29,74	40,78
191	1.12.2022		48,65	9,60	29,74	40,78
192	1.01.2021	Kocaeli-Yeniköy-	39,66	5,10	29,88	40,69
193	1.02.2021		47,68	6,97	29,88	40,69
194	1.03.2021		35,64	12,67	29,88	40,69
195	1.04.2021		39,89	17,90	29,88	40,69
196	1.05.2021		33,98	9,25	29,88	40,69
197	1.06.2021		31,23	12,27	29,88	40,69
198	1.07.2021		31,64	5,09	29,88	40,69
199	1.08.2021		33,22	4,39	29,88	40,69
200	1.09.2021		28,57	7,37	29,88	40,69
201	1.10.2021		35,51	5,96	29,88	40,69
202	1.11.2021		57,40	11,16	29,88	40,69
203	1.12.2021		35,41	5,55	29,88	40,69
204	1.01.2022	Kocaeli-Yeniköy-	37,84	5,86	29,88	40,69
205	1.02.2022		46,10	7,50	29,88	40,69
206	1.03.2022		46,94	5,25	29,88	40,69
207	1.04.2022		45,84	5,49	29,88	40,69
208	1.05.2022		33,67	3,96	29,88	40,69
209	1.06.2022		27,66	4,21	29,88	40,69
210	1.07.2022		23,05	3,53	29,88	40,69
211	1.08.2022		27,17	4,34	29,88	40,69
212	1.09.2022		28,21	7,30	29,88	40,69
213	1.10.2022		27,88	4,65	29,88	40,69
214	1.11.2022		40,68	5,34	29,88	40,69
215	1.12.2022		48,52	5,71	29,88	40,69

2.3 Metot

2.3.1. Mekânsal Otokorelasyon (Spatial Autocorrelation)

Mekânsal otokorelasyon (Global Moran's I), Patrick Alfred Pierce Moran tarafından geliştirilen en eski küresel uzamsal otokorelasyon indekslerinden birisidir. Global Moran's I, uzamsal otokorelasyonları, özelliklerin konum ve değerlerine göre hesaplar. Bir dizi özellik ve ilişkili bir öznitelik verildiğinde, ifade edilen modelin kümelenmiş, dağılmış veya rasgele olup olmadığını değerlendirir (Şekil 4) (Moran, 1950; URL-3).



Dağınık ← → Kümelenmiş

Şekil 4. Global Moran's I çalışma prensibi

Global uzamsal otokorelasyon değeri, -1 ile +1 arasında değişkenlik gösterir. Bu değerde sıfır hipotezi değişkenler arasında uzamsal otokorelasyon olmadığı ve H1'in değişkenler arasındaki uzamsal otokorelasyona dayanır. Moran indeksinin anlamlılığı, p değerleri ve z puanları kullanılarak hesaplanır. Anlamlı değilse, Moran indeksinin sıfıra yakın olduğu ve değişkenler arasında ilişki

olmadığı ve dağılımlarının rastgele olduğunu gösteren H_0 kabul edilir. Moran indeksi anlamlı ve pozitif ise, elde edilen katsayı 0 ile +1 arasında olur ve değişkenler ile bunların küme dağılımı arasında pozitif bir ilişki olduğunu gösterir. Moran indeksi anlamlı ve negatif ise, katsayı 0 ile 1 arasında olur ve değişkenler ile bu değişkenlerin dağınık dağılımı arasında negatif bir ilişki olduğunu gösterir (Moran, 1950; URL-4).

Artımlı Mekânsal Otokorelasyon aracı (Incremental Spatial Autocorrelation) ise, artan mesafeler için mekânsal otokorelasyon aracını çalıştırır ve her mesafe için mekânsal kümelemenin yoğunluğunu ölçer. Başka bir ifadeyle bir dizi mesafe için uzamsal otokorelasyon ölçer ve isteğe bağlı olarak bu mesafelerin ve bunlara karşılık gelen z-skorlarının bir çizgi grafiğini oluşturur. Kümenin yoğunluğu, döndürülen z-skoru tarafından belirlenir. Mesafe arttıkça, kümelenemenin yoğunluğunu gösteren z puanı da artar ve z puanı genellikle belirli bir mesafede zirve yapar. Bu noktada birden fazla z skorunun tepe noktaları belirlenebilir. Zirveler, kümelenemeyi teşvik eden uzamsal süreçlerin en belirgin olduğu mesafeleri yansıtır. Grafikteki her noktanın rengi, z-skoru değerlerinin istatistiksel önemine karşılık gelir (URL-5). Bu çalışmada, artımlı uzamsal otokorelasyon aracı analizlerde kullanılması için gereken kümelemenin meydana geldiği mesafe eşik değerlerinin (threshold distance) tespiti için kullanılmıştır.

2.3.2. Sıcak Nokta Analizi (Getis Ord G_i^*)

Sıcak nokta analizi (Getis Ord G_i^*), Getis Ord G_i^* istatistiğini kullanarak istatistiksel olarak anlamlı olan sıcak ve soğuk noktaların tanımlanmasında kullanılan konuma dayalı analizdir. Getis ve Ord tarafından 1992 yılında konumsal ilişkiyi analiz etmek için uzaklığın kullanıldığı bir yöntem olarak ortaya atılmıştır (Getis ve Ord, 1992; URL-6). Sonuçlar, z puanı ve p değerleri şeklindedir. Herhangi bir özelliğin yüksek veya düşük değerlerinin kümelendiği yeri mekânsal olarak gösterir. Bu yöntem, komşu özellikleri dikkate alır (Getis ve Ord, 1992).

Getis-Ord G_i^* istatistikleri, ArcGIS'teki etkin nokta analiz aracına uygulanabilir ve daha sonra, yüksek veya düşük değerli özelliklerin belirli bir konumda kümelenecek kümeleneceğini gösteren z değerleri hesaplanabilir. Getis Ord G_i^* istatistiği şu şekilde hesaplanır (Getis ve Ord, 1992; URL-6):

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - X' \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad (1)$$

Burada x_j j özelliği için öznitelik değeridir; $w_{i,j}$ i ve j bölgeleri arasındaki uzamsal ağırlıktır, n, özelliklerin toplam sayısıdır.

$$X' = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n}} - (X')^2 \quad (3)$$

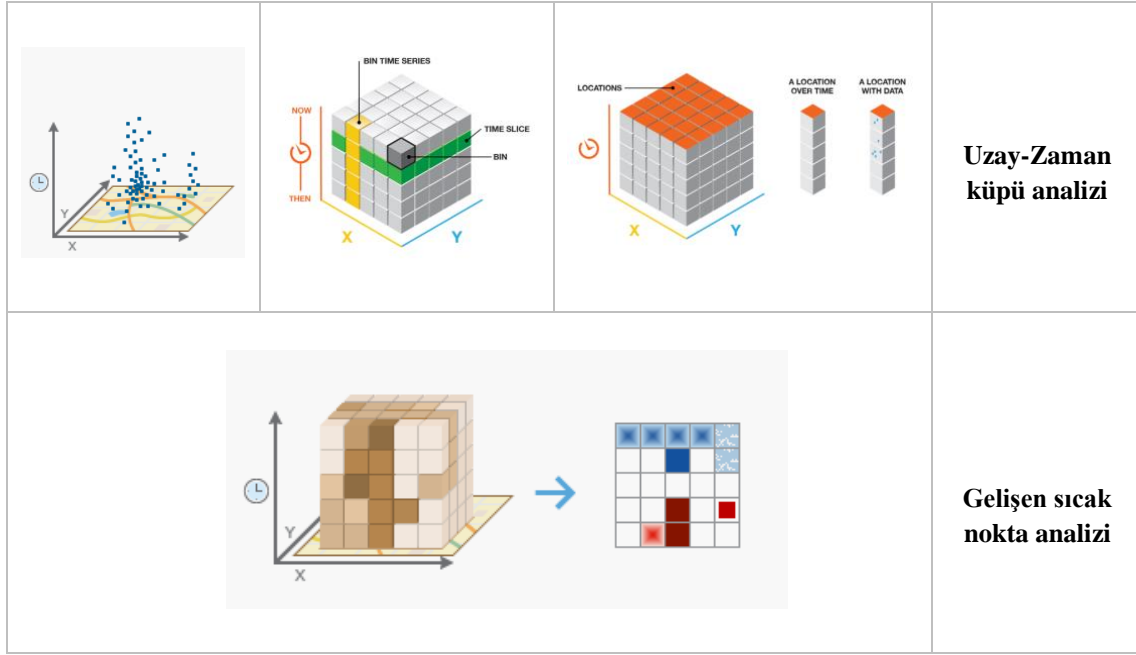
2.3.3. Uzay-zaman küpü (Space-time cube analysis) ve Gelişen Sıcak Nokta Analizi (Emerging Hot Spot Analysis)

Uzay-zaman küp analizi (Space-time cube analysis), görselleştirme sağlayan ve ayrıca zaman serisi analizi, entegre uzamsal ve zamansal örüntü analizi ve 2B ve 3B görselleştirme teknikleri aracılığıyla uzamsal verileri analiz etmede kullanılan bir yöntemdir. Uzay-zaman küpü, uzayı temsil eden x ve y boyutları ve zamanı temsil eden t boyutu ile uzay-zaman kutularından oluşur. Her bölmenin uzayda (x, y) ve zamanda (z) sabit bir konumu vardır (ESRIa, 2022; URL-7).

Üç temel araç, bir uzay-zaman küpü oluşturmakta kullanılmaktadır. Bunlar: Noktaları toplayarak uzay-zaman küpünün oluşturulması, Tanımlı konumlardan uzay-zaman küpünün oluşturulması, Çok boyutlu raster katmanından uzay-zaman küpünün oluşturulması (ESRIa, 2022; URL-7) şeklindedir. Bu çalışmada, noktasal veri dikkate alınmıştır. Nokta verisinin uzay-zaman küpünün oluşturulması için gerçekleştirilen aşamalar şu şekildedir: Her bir küp bölmesinde noktalar sayılır ve özet alan istatistikleri hesaplanır. Böylece veriler mesafe ve zaman cinsinden küp cinsinden ifade edilir ve küplerin x ve y noktalarına t boyutu eklenir. Bu küpler, Getis-Ord G_i^* istatistiği kullanılarak yatay ekseninde birleştirilir ve belirli bir dönem için bir konumsal veri seti oluşturulur. Her bir dikey ekseninde bin değerlerinin zaman içindeki eğilimi, Mann-Kendall istatistiği kullanılarak ölçülür. Bir balık ağı veya altıgen ızgara kullanılarak toplanarak bir ızgara küpü oluşturulur. Tüm işlemler yapıldıktan sonra veriler ArcGIS programında çok boyutlu net.CDF (Network Common Data Form) formatında saklanır. Küp oluşturmak için en az on zaman periyodu (saniye, dakika, saat, gün, hafta, ay, mevsim, yıl) kullanılmalıdır. Trend analizi için minimum 10 yıl gereklidir. Bu çalışmada uzay-zaman küpü net.CDF uzantılı hava kirliliği verilerinin oluşturulmasında ve beraberinde gelişen sıcak nokta analizinin yürütülmesinde kullanılmıştır.

Tobler coğrafyayı "...her şey diğer her şeyle ilişkilidir, ancak yakın şeyler uzak şeylerden daha ilişkilidir" şeklinde tanımlamıştır (Tobler, 1970). Klasik istatistiksel yöntemler, bir değişkenin verilerinin bağımsız olduğunu varsayar. Bu nedenle değişkenler arasındaki ilişkiler açıklanırken mesafe ön planda tutulmaktadır. Ancak son yıllarda zaman ve mesafe kritik hale geldiğinden, Tobler'in yaklaşımındaki yakınlık kavramına zaman eklemek daha anlamlı olacaktır. Diğer bir deyişle, Tobler'in yaklaşımının "...her şey her şeyle ilişkilidir, ancak yakın ve yakın zamandaki şeyler uzak olanlardan daha ilişkilidir" şeklindeki ifadesi daha yerinde olacaktır. Daha önce CBS'ye dayalı olarak yapılan çalışmalarda klasik sıcak nokta analizleri sadece mekânsal olarak farklı yıllarda ayrı ayrı analiz edilirken, son yıllarda ortaya çıkan sıcak nokta analizleri ile hem konum hem de zaman








ilişkileri tek bir analiz altında ele alınabilir (ESRIb, 2022). Gelişen sıcak nokta analizi (emerging hot spot analysis), uzay-zaman küp analizinden oluşturulan net.CDF dosyalarını kullanarak, zamana bağlı olarak sıcak ve soğuk nokta bölgelerinin tespit edilmesini sağlar (URL-8) (Şekil 5). Dolayısıyla hem zaman hem de konum bilgisi tek bir paydada ele alınarak analizler yürütülür. Gelişen sıcak nokta analizi için zaman içindeki eğilimlerine göre sıcak ve soğuk noktalar 8'er kategoride, istatistiksel olarak anlamlı olmayan noktalar da dâhil olmak üzere toplamda 17 kategoride toplanarak sınıflandırılmıştır (Tablo 2).



Şekil 5. Uzay-zaman küpü ve gelişen nokta analizi aşamalarının gösterimi

Tablo 2. Gelişen sıcak nokta analizi kategorileri ve tanımları (URL-8)

Şekil	İsmi	Tanımı
	Anlamsız	Trend analizi sonunda anlamlı bir eğilim tespit edilememiştir.
	Yeni sıcak nokta	Daha önceleri anlamsızken son zaman diliminde anlamlı sıcak nokta
	Ardışık sıcak nokta	Daha önceleri anlamsızken tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla son zaman dilimlerinde kesintisiz anlamlı sıcak nokta
	Yoğunlaşan sıcak nokta	Son zaman dilimi de dâhil olmak üzere tüm zaman dilimlerinin %90'ını için artan trende sahip anlamlı sıcak nokta
	Sürekli sıcak nokta	Tüm zaman dilimlerinin %90'ını içeren ve herhangi bir trende sahip olmayan anlamlı sıcak nokta
	Azalan sıcak nokta	Son zaman dilimi de dâhil olmak üzere tüm zaman dilimlerinin %90'ını için azalan trende sahip anlamlı sıcak nokta
	Aralıklı sıcak nokta	Dönem dönem aralıklarla sıcak nokta olup diğer dönemlerde anlamsız olan ve tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla anlamlı sıcak nokta
	Kararsız sıcak nokta	Son zaman dilimlerinde sıcak nokta olup önceki zaman dilimlerinde soğuk nokta olan ve tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla anlamlı sıcak nokta
	Tarihi sıcak nokta	Son zaman aralığı sıcak nokta olmamakla birlikte tüm zaman dilimlerinin %90'ını anlamlı sıcak nokta
	Yeni soğuk nokta	Daha önceleri anlamsızken son zaman diliminde anlamlı soğuk nokta

	Ardışık soğuk nokta	Daha önceleri anlamsızken tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla son zaman dilimlerinde kesintisiz anlamlı soğuk nokta
	Yoğun soğuk nokta	Son zaman dilimi de dâhil olmak üzere tüm zaman dilimlerinin %90'ını için artan trende sahip anlamlı soğuk nokta
	Sürekli soğuk nokta	Tüm zaman dilimlerinin %90'ını içeren ve herhangi bir trende sahip olmayan anlamlı soğuk nokta
	Azalan soğuk nokta	Son zaman dilimi de dâhil olmak üzere tüm zaman dilimlerinin %90'ını için azalan trende sahip anlamlı soğuk nokta
	Seyrek soğuk nokta	Dönem dönem aralıklarla soğuk nokta olup diğer dönemlerde anlamsız olan ve tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla anlamlı soğuk nokta
	Kararsız soğuk nokta	Son zaman dilimlerinde soğuk nokta olup önceki zaman dilimlerinde sıcak nokta olan ve tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla anlamlı soğuk nokta
	Tarihi soğuk nokta	Son zaman aralığı soğuk nokta olmamakla birlikte tüm zaman dilimlerinin %90'ı anlamlı soğuk nokta

3. Bulgular ve Tartışma

Analizlere başlamadan önce, standart ölçekte sonuçların üretilebilmesi adına veriler için bir grid sınırları belirlenmiştir (1000*1000 metre). Oluşturulan gridler analiz çıktılarının üst üste çakışması ve kolayca yorumlanması için oluşturularak düzenlenmiştir. Ardından belirlenen tüm analizler bu gridler üzerinden yürütülmeye çalışılmıştır.

3.1. Mekânsal otokorelasyon analizlerinin yapılması

Çalışmanın bu aşamasında, kullanılan verilerin kümeleme eğilimi gösterip göstermediği test edilmiştir. Bunun için öncelikle mekânsal otokorelasyon analizi (spatial autocorrelation) yapılmıştır ve kullanılan verilerin istatistiksel olarak kümelendiği test edilmiştir. Daha sonra hangi mesafe değerlerinde kümelemelerin mevcut olduğunun tespit edilmesi için artımlı mekânsal otokorelasyon analizi (incremental spatial autocorrelation) yürütülmüştür (with a number of distance bands = 6000, distant increment = 1000). Elde edilen analiz çıktıları Tablo 3'te gösterilmiştir. Elde edilen eşik mesafe değerleri kümelemenin yoğunluğunu ifade etmektedir. Bu çalışma için analizlerde kullanılmak üzere kümelemelerin görüldüğü ilk değerler dikkate alınmıştır. Dolayısıyla PM₁₀ analizleri gerçekleştirilirken “7000”, SO₂ analizlerinde ise “16000” mesafe değeri kullanılmıştır.

Tablo 3. Artımlı mekânsal otokorelasyon analiz istatistiksel sonuçları

<i>Hava kalitesi parametreleri</i>	<i>Eşik mesafe değeri</i>	<i>Moran's I İndeksi</i>	<i>Beklenen Değer İndeksi</i>	<i>Varyans</i>	<i>z-score</i>	<i>p-value</i>	
PM10	İlk değer	7000	0.5831	-0.0042	0.00026	36.682	0.000
	Max. değer	12000	0.5027	-0.0042	0.00018	37.694	0.000
SO2	First değer	16000	0.1793	-0.0042	0.00007	20.999	0.000

Max. değer	34000	0.0925	-0.0042	0.00002	23.324	0.000
------------	-------	--------	---------	---------	---------------	-------

3.2. Sıcak nokta kümeleme analizleri sonuçları (Getis Ord Gi*)

Çalışmanın bu aşamasında, elde edilen mesafeler kullanılarak sırasıyla PM₁₀ ve SO₂ değerlerine göre sıcak nokta kümeleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerin aylık yapılması planlandığından her aya ait değerler ayrı ayrı analize tabi tutulmuştur ve sonuçlar haritalarla sunulmaya çalışılmıştır. Analizlerde son olarak tüm ayların birlikte değerlendirildiği analizler de yürütülerek tüm aylardaki hava kirliliği riski altında olan alanlar belirlenmeye çalışılmıştır ve elde edilen sonuç harita gelişen sıcak nokta analizi ile kıyaslanmak üzere düzenlenmiştir.

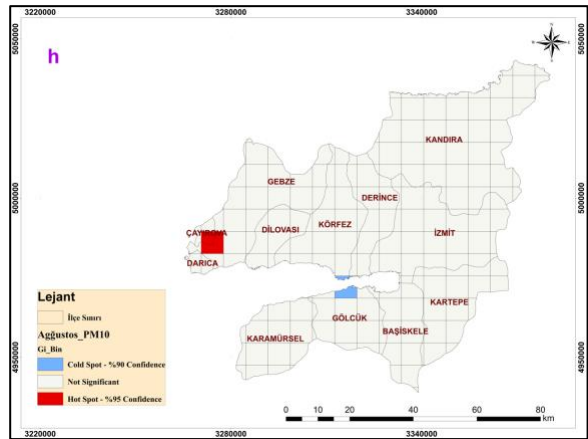
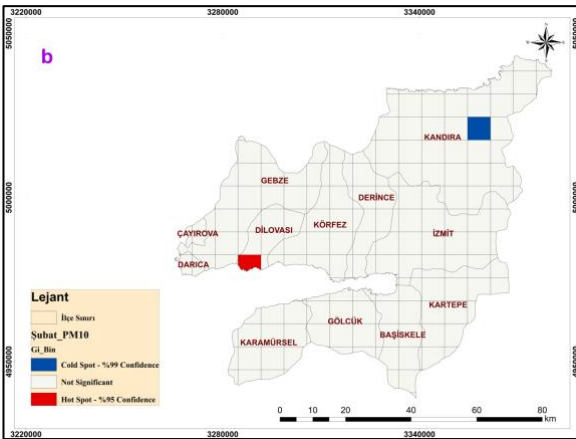
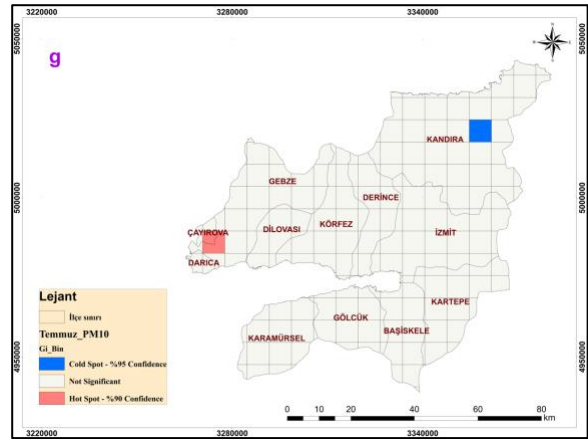
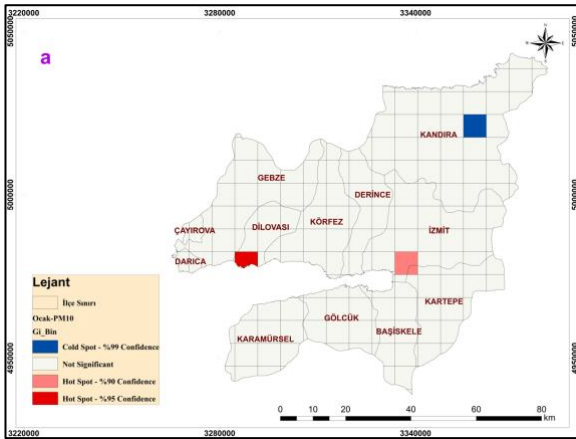
Getis Ord Gi* analizi, %99 (%1 anlamlılık düzeyi), %95 (%5 anlamlılık düzeyi) ve %90 (%10 anlamlılık düzeyi) güven düzeyine göre sonuçlar vererek sıcak noktaları belirler. Bu analiz, elde edilen sıcak noktaların ve komşuların çalışma alanı olarak belirlenen tüm alandan istatistiksel olarak farklı olup olmadığını, belirlenen güven ve anlamlılık düzeylerine bakarak karar verir. Bu çalışma nezdinde ise sıcak nokta olarak tespit edilen gridlerin ve komşularının pilot bölge içerisindeki tüm gridlerden istatistiksel olarak farklı olup olmayışına bakılarak değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar PM₁₀ ve SO₂ hava kalitesi parametreleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir ve haritalar halinde sunulmuştur.

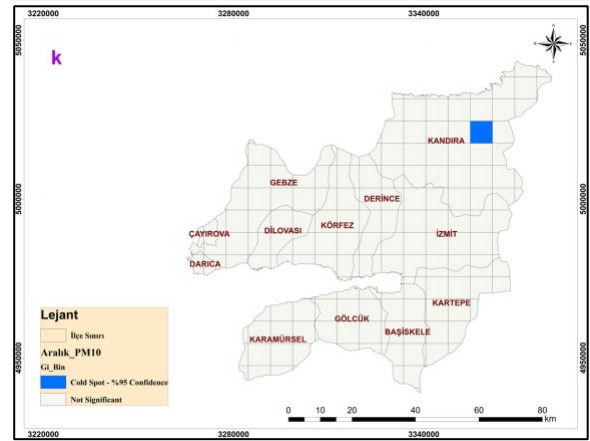
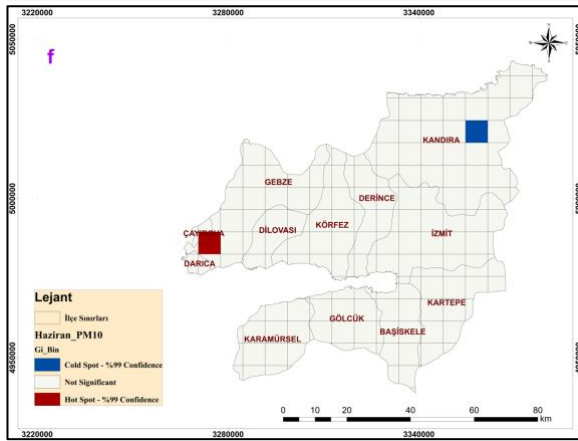
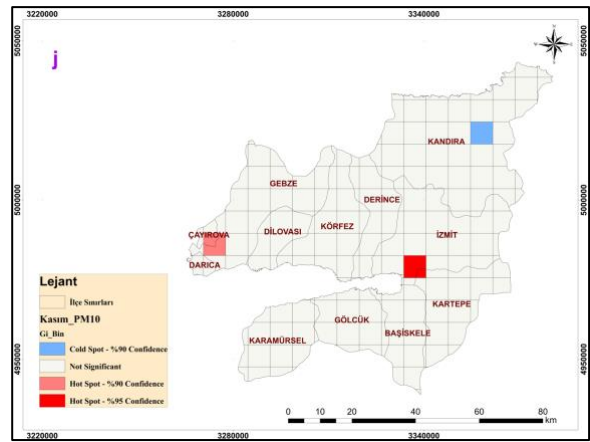
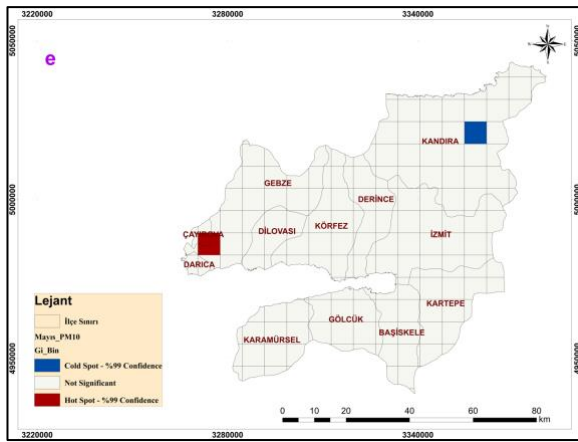
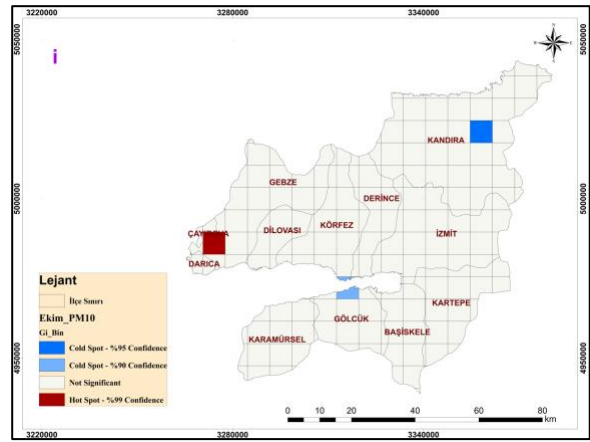
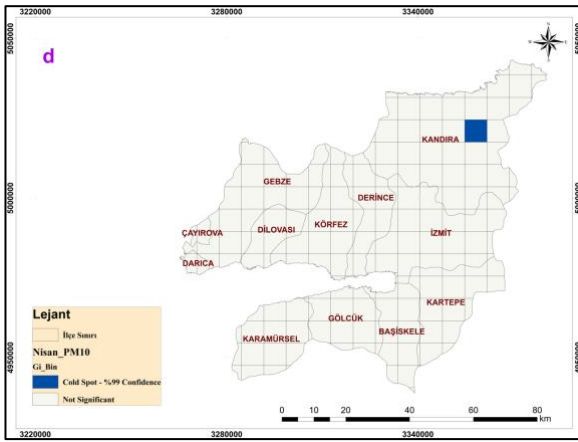
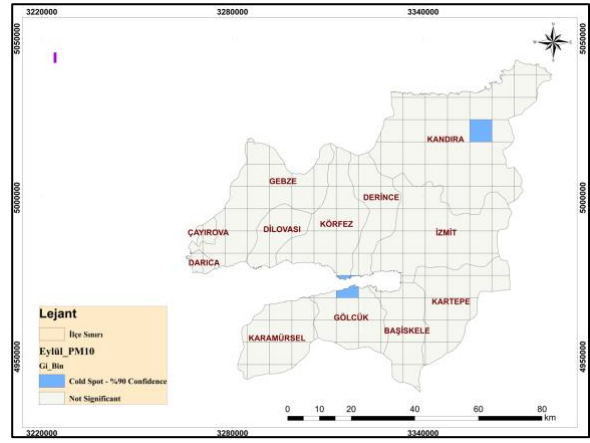
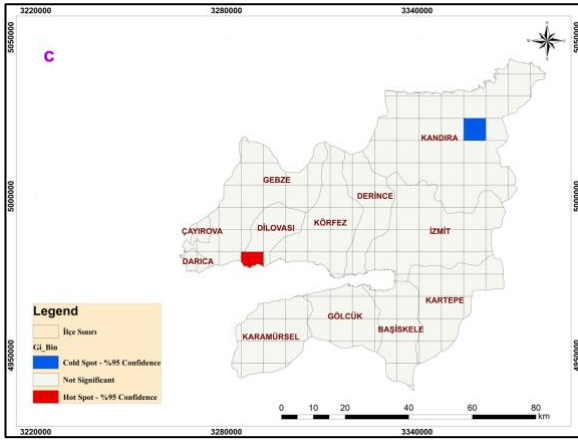
PM₁₀ analizi sonuçları: Bu aşamada, ocak ayından başlamak üzere analizler gerçekleştirilmiştir ve elde edilen sonuçlar ay ay değerlendirilerek ele alınmıştır (Şekil 6)

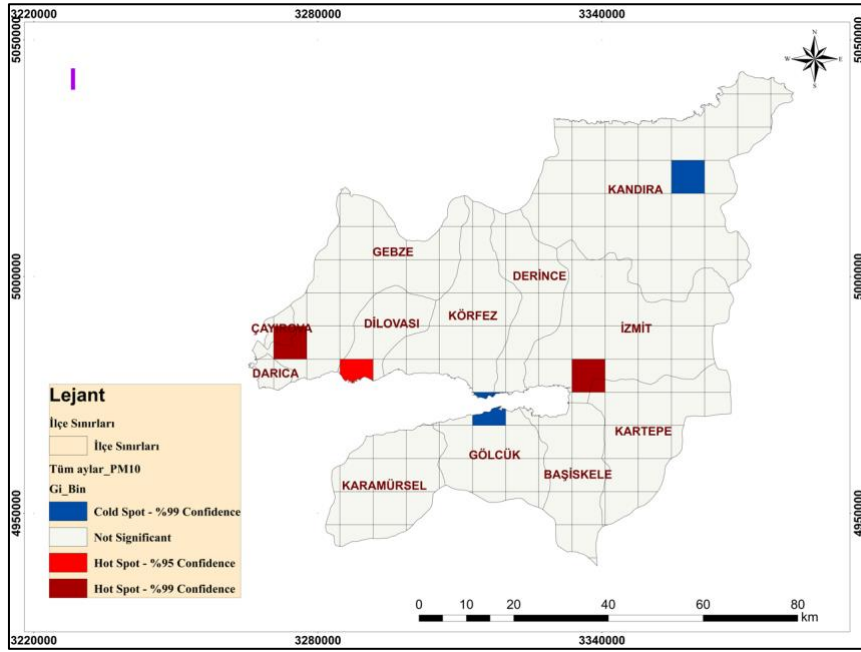
Ocak: Kocaeli ilinde %90 ve %95 güven düzeyinde sıcak noktalar tespit edilmiştir. Dilovası ilçesinin güney bölümünde hava kirliliğinin oldukça yoğun olduğu görülürken; İzmit ve Kartepe ilçelerinin kesiştiği noktada da hava kirliliğinin riskli durumda olabileceği görülmektedir. Şubat: Kocaeli ilinde %95 güven düzeyinde sıcak nokta tespit edilmiştir. Dilovası ilçesinin güney bölümünde ocak ayında olduğu gibi hava kirliliğinin oldukça yoğun olduğu görülmektedir. Mart: Kocaeli ilinde %95 güven düzeyinde sıcak nokta tespit edilmiştir. Dilovası ilçesinin güney bölümünde diğer iki ayda olduğu gibi hava kirliliğinin oldukça yoğun olduğu görülmektedir. Nisan: Bu ay içerisinde Kocaeli ilinde herhangi bir sıcak nokta tespit edilmemiştir. Mayıs: Kocaeli ilinde bu ay içerisinde %99 güven düzeyinde sıcak noktalar tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çayırova ve Darıca ilçelerinin kesiştiği bölgelerde hava kirliliğinin yoğun olarak gözüküğünü göstermiştir. Haziran: Bu ay içerisinde mayıs ayının benzeri bir hava kirliliği riski görülmektedir. %99 güven düzeyinde Çayırova ve Darıca ilçelerinin kesiştiği noktalarda sıcak noktalar görülmekte ve hava kirliliğinin risk altında olduğu tespit edilmektedir. Temmuz: Kocaeli ilinde %90 güven düzeyinde sıcak noktalara rastlanmıştır. Kocaeli ilinin batı ilçeleri olan Çayırova ve Darıca ilçelerinin kesişim noktalarında hava kirliliğinin riskli olduğu görülmektedir. Ağustos: Kocaeli ilinde %95 güven

düzeyine bağlı olarak Çayırova ve Darıca ilçelerinin kesişim noktalarında hava kirliliğinin risk teşkil ettiği görülmektedir. Eylül: Bu ay için gerçekleştirilen analizlerde herhangi bir sıcak noktaya rastlanmamıştır. Ekim: Kocaeli ilinde bu ay için %99 güven düzeyinde sıcak noktalara rastlanmıştır. Bu ay içinde bir önceki aylarda olduğu gibi Çayırova ve Darıca ilçelerinin kesişim noktalarında hava kirliliğinin risk teşkil ettiği görülmektedir. Kasım: Kocaeli ilinde bu ay içerisinde %90 ve %95 güven düzeylerinde sıcak nokta bölgeleri tespit edilmiştir. %95 güven düzeyinde tespit edilen sıcak noktalar İzmit-Kartepe ilçe kesişim noktasında görülürken, %90 güven düzeyinde tespit edilen sıcak noktalar ise Çayırova-Darıca ilçelerinin kesişim noktalarında risk teşkil ettiği görülmektedir. Aralık: Bu ay için gerçekleştirilen analizlerde herhangi bir anlamlı sıcak noktaya rastlanmamıştır.

Tüm aylar değerlendirildiğinde, özellikle yılın ilk yarısında hava kirliliğinin batı ilçelerindeki hava kirliliği istasyon noktalarına yakın olan Dilovası ilçesinde görüldüğü, yılın ikinci yarısından sonra ise çoğunlukla Çayırova-Darıca ilçelerinde gözlemlendiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla, bu noktaların PM₁₀ hava kalitesi parametreleri yönünden yoğun riskli olabileceği söylenebilir.







Şekil 6. Aylık PM₁₀ sıcak nokta analiz sonuç haritaları (Getis Ord Gi*)

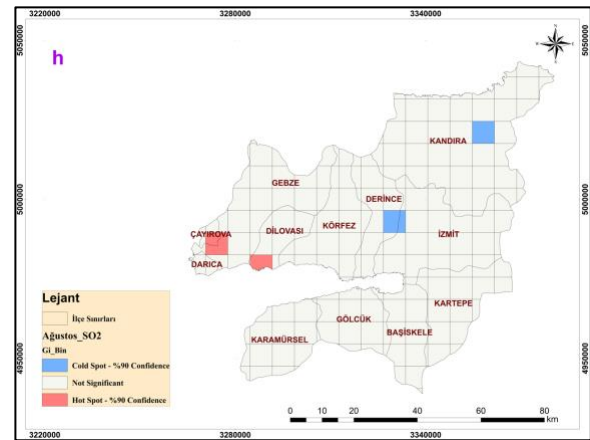
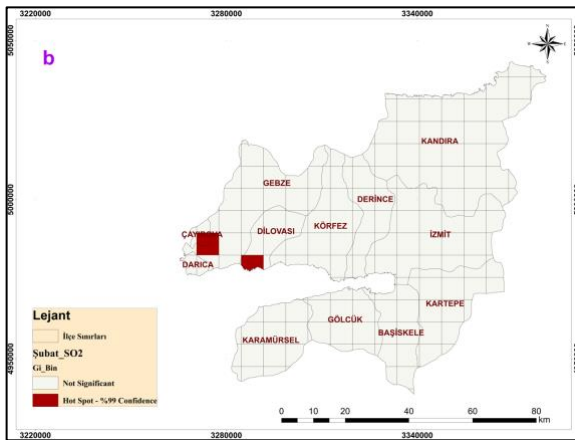
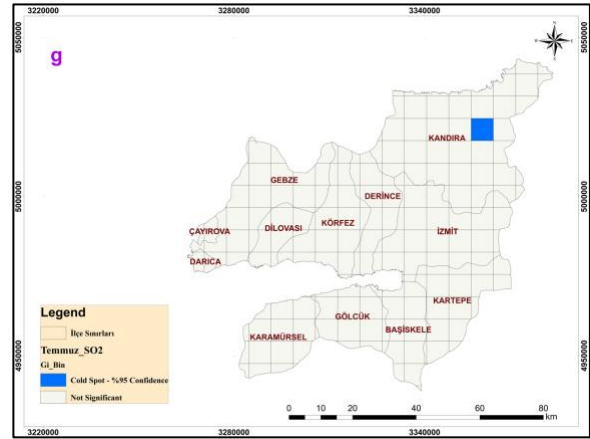
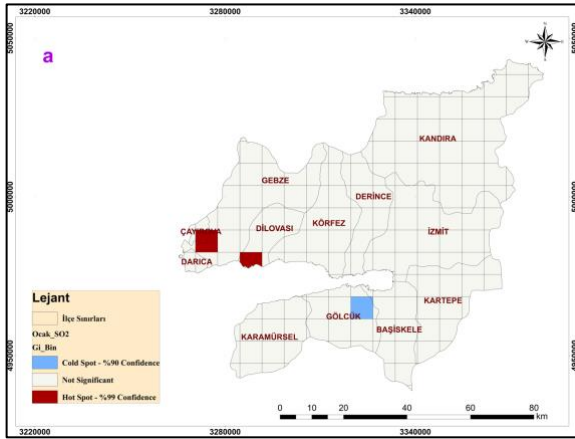
(a=Ocak, b=Şubat, c=Mart, d=Nisan, e=Mayıs, f=Haziran, g= Temmuz, h=Ağustos, ı=Eylül, i=Ekim, j= Kasım, k=Aralık, l=Tüm aylar)

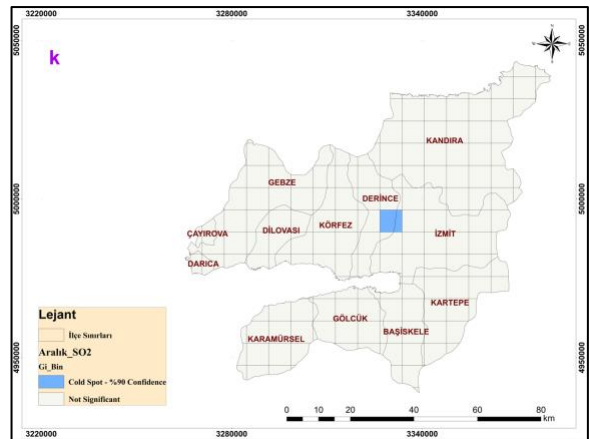
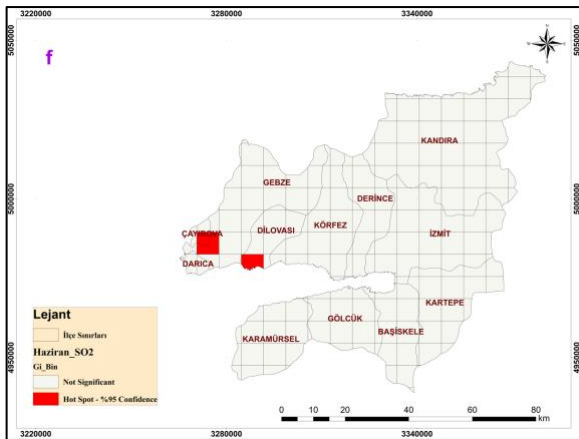
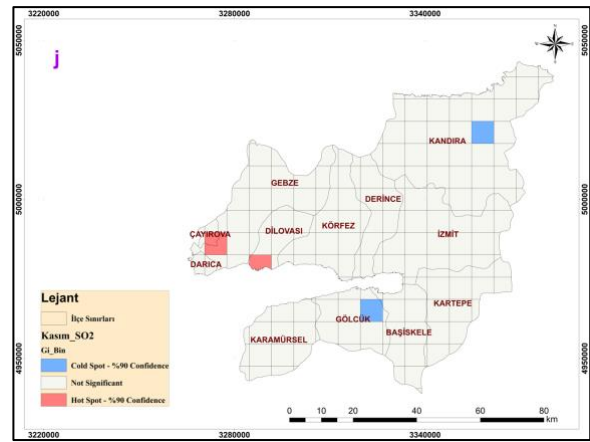
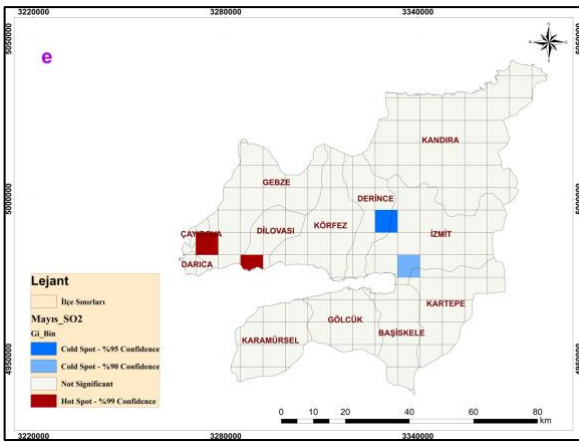
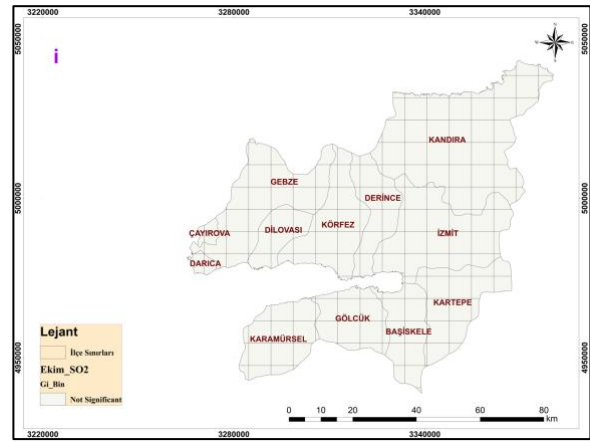
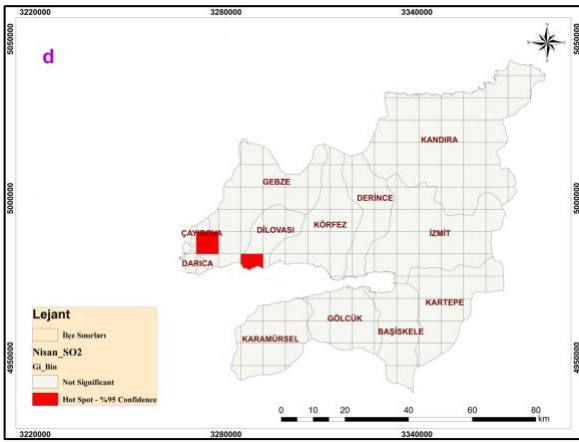
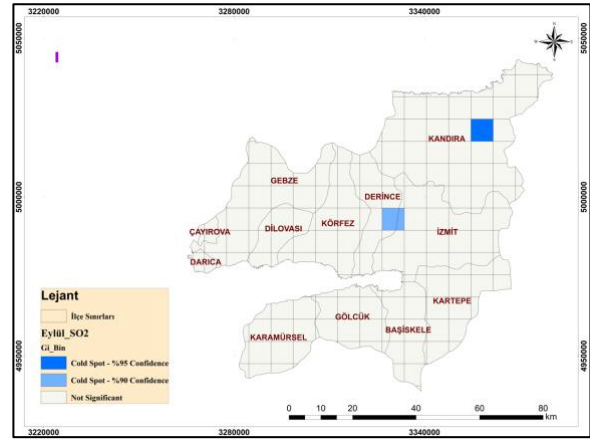
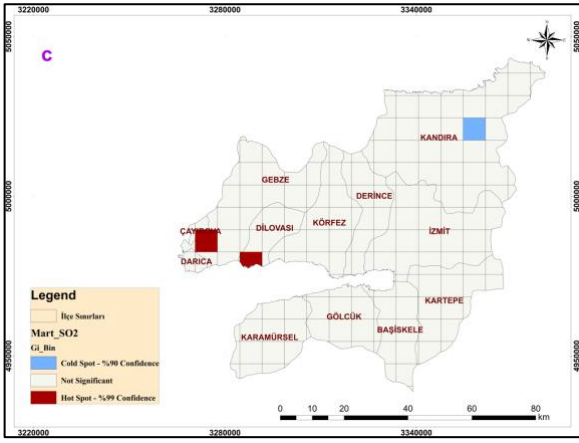
SO₂ analizi sonuçları: Bu aşamada, ocak ayından başlamak üzere analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ay ay değerlendirilmiştir (Şekil 7):

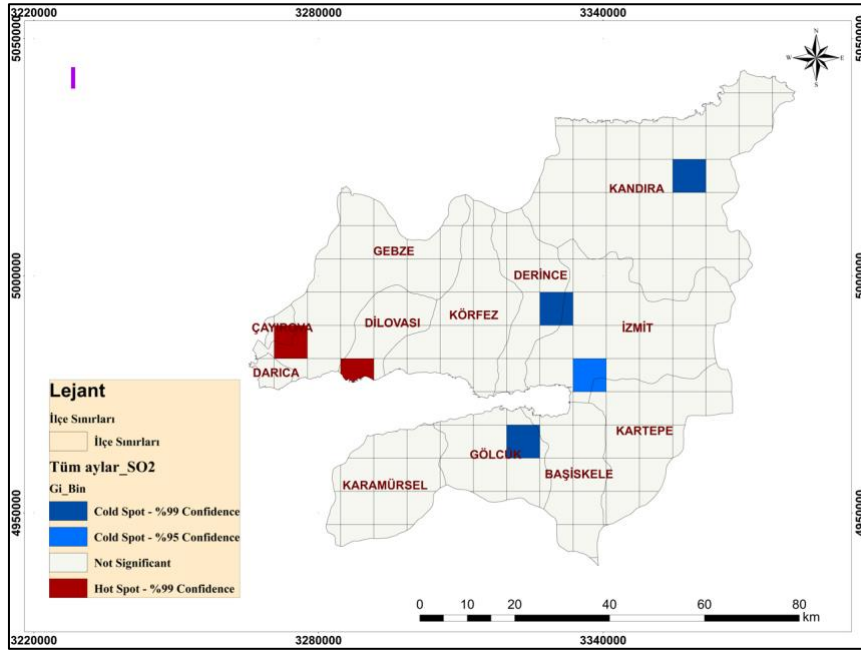
Ocak: Kocaeli ilinde %99 güven düzeyinde sıcak noktalar tespit edilmiştir. Bu ay içerisinde Dilovası ilçesinin güney bölümünde ve ayrıca Çayırova-Darıca ilçelerinin kesişim noktalarında hava kirliliğinin riskli durumda olduğu görülmektedir. Bu alanlar dışında istatistiksel olarak anlamlı nokta tespit edilmemiştir. Şubat: Kocaeli ilinde bu ay için %99 güven düzeyinde sıcak noktalar tespit edilmiştir. Ocak ayında olduğu gibi şubat ayında da Dilovası ilçesinin güney bölümü ile Çayırova-Darıca illerinin kesişim noktalarında sıcak noktalara rastlanmıştır. Bu alanlar SO₂ açısından hava kirliliğinin riskli noktalarını göstermektedir. Mart: Bu ayda da bir önceki ayda olduğu gibi %99 güven düzeyinde Dilovası ilçesinin güney bölümü ve Çayırova-Darıca ilçelerinin kesişim noktalarında sıcak noktalar gözlemlenmiştir. Nisan: Bu ay içerisinde Kocaeli ilinde %95 güven düzeyinde sıcak noktalara rastlanmıştır. Dilovası ilçesinin güney kısmı ile Çayırova-Darıca ilçelerinin kesiştiği noktalarda SO₂ açısından hava kirliliğinin yoğun olduğu görülmektedir. Mayıs: Kocaeli ilinde bu ay içerisinde %99 güven düzeyinde sıcak noktalar tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çayırova ve Darıca ilçelerinin kesiştiği bölgelerde ve ayrıca Dilovası ilçesinin güney bölümünde hava kirliliğinin yoğun olduğunu göstermiştir. Haziran: Bu ay içerisinde mayıs ayının benzeri bir hava kirliliği görülmektedir. %99 güven düzeyinde Çayırova ve Darıca ilçelerinin kesiştiği noktalarda ve ayrıca Dilovası ilçesinin güney bölümünde sıcak noktalar görülmekte ve hava kirliliğinin risk altında olduğu tespit edilmektedir. Temmuz: Bu ay için Kocaeli ilinde herhangi istatistiksel anlamlı bir nokta elde

edilmemiştir. Ağustos: Kocaeli ilinde bu ay içinde %90 güven düzeyinde sıcak noktalar tespit edilmiştir. Bu alanlar yine bir önceki aylarda riskli olan noktalarda (Dilovası, Çayırova-Darıca) görülmüştür. Eylül: Bu ay içinde Kocaeli için istatistiksel anlamlı sıcak noktalara rastlanmamıştır. Ekim: Bu ayda Eylül ayındaki gibi herhangi bir noktada istatistiksel anlamda hava kirliliği açısından sıcak noktaya rastlanmamıştır. Kasım: Bu ay içerisinde Kocaeli ili içindeki Dilovası ilçesinin güney bölümünde ve Çayırova-Darıca ilçe sınırları arasında %90 güven düzeyinde hava kirliliği açısından riskli sıcak noktalar görülmüştür. Aralık: Bu ayda Kocaeli ili için gerçekleştirilen analizde istatistiksel anlamda sıcak noktalara rastlanmamıştır.

Tüm aylar değerlendirildiğinde, özellikle yılın ilk yarısında hava kirliliğinin batı ilçelerindeki hava kirliliği istasyon noktalarına yakın olan Dilovası ilçesinde ve Çayırova-Darıca ilçe sınırlarında görüldüğü, yılın ikinci yarısından sonra ise çoğunlukla yine Darıca ve Çayırova-Darıca ilçelerinde gözlemlendiği tespit edilirken, son aylar içinde ise istatistiksel anlamlı noktalara rastlanmadığı görülmektedir. Dolayısıyla, SO₂ açısından aylık değerlendirmelerde çoğunlukla ilin yine batı kesimlerinde hava kirliliği açısından sıkıntılar olduğu söylenebilir.







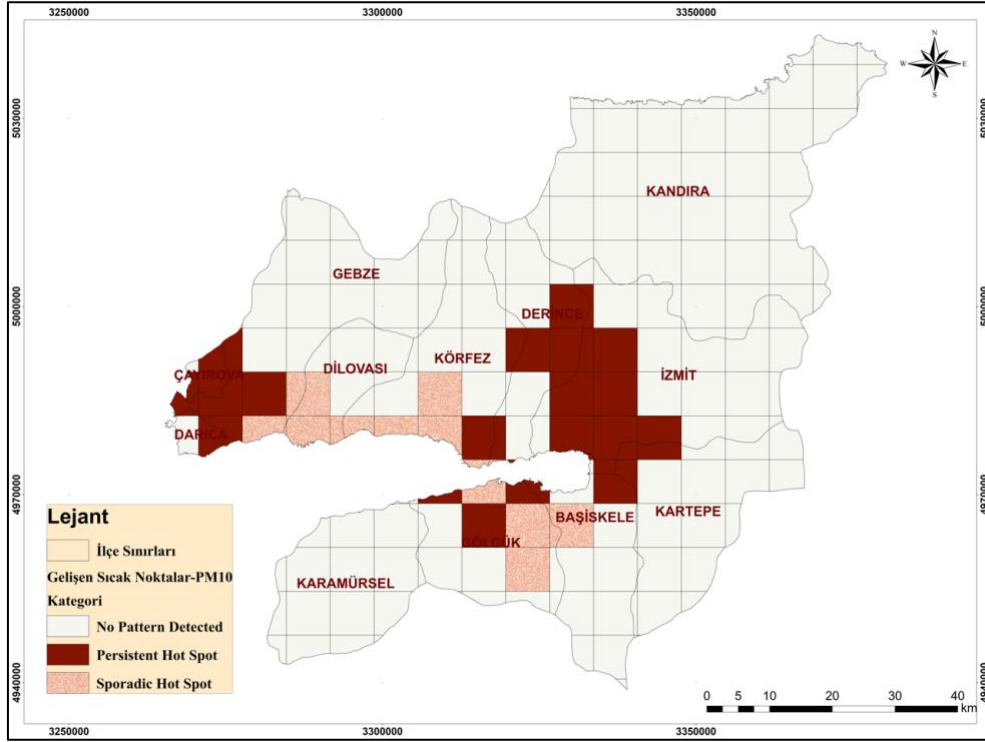
Şekil 7. Aylık SO₂ sıcak nokta analiz sonuç haritaları (Getis Ord Gi*)

(a=Ocak, b=Şubat, c=Mart, d=Nisan, e=Mayıs, f=Haziran, g= Temmuz, h=Ağustos, ı=Eylül, i=Ekim, j= Kasım, k=Aralık, l=Tüm aylar)

3.3. Gelişen sıcak nokta analizi sonuçları (Emerging Hot Spot)

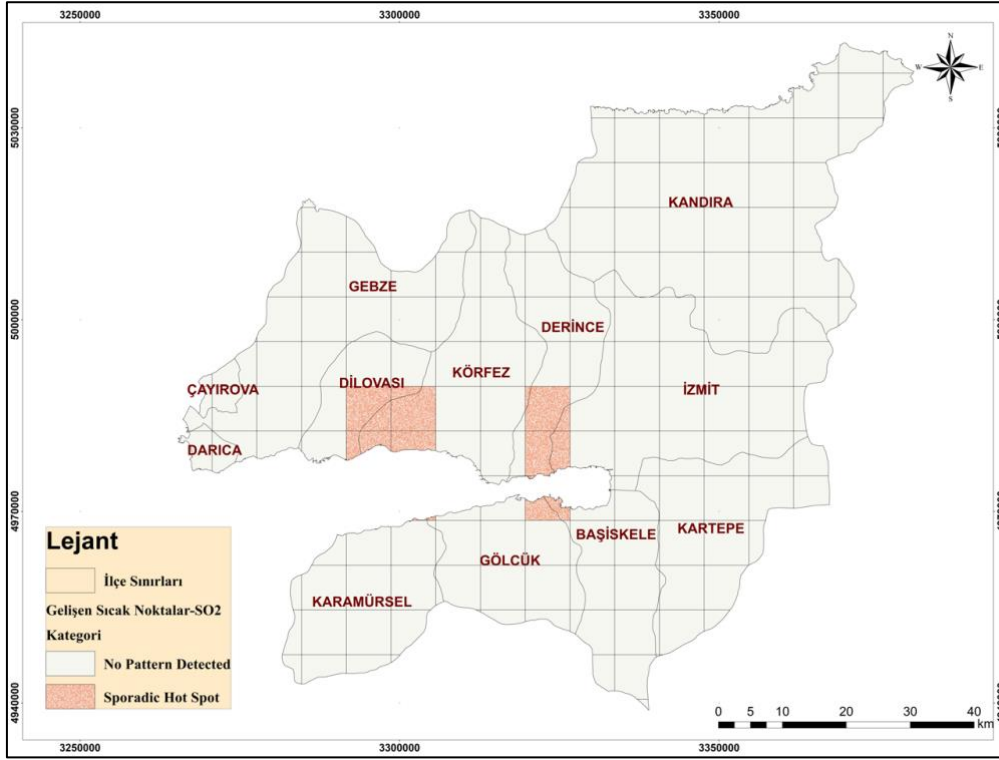
Çalışmanın bu aşamasında, klasik sıcak nokta kümeleme analizlerden farklı olarak zamanın da esas alındığı gelişen sıcak nokta analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ilçenin önemli noktalarında hem PM₁₀ hem de SO₂ hava kirliliği parametrelerine bağlı olarak birçok sıcak noktaya rastlandığını ortaya koymuştur.

PM₁₀ gelişen sıcak nokta analizi sonuçları: Bu aşamada, PM₁₀ parametresine göre gelişen sıcak nokta analizleri aylık dönem için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analizlere bağlı sonuç ürün haritası Şekil 8’de gösterilmiştir. Haritaya bakıldığında, Kandıra ve Karamürsel ilçeleri dışındaki ilçelerde istatistiksel anlamlı sıcak noktalar tespit edilmiştir. Sonuçlar, il genelinde sürekli sıcak nokta (persistent) ve aralıklı sıcak nokta (sporadic) hot spot bölgelerine rastlandığını göstermiştir. Elde edilen sonuçlarda 19 noktada sürekli, 11 noktada aralıklı sıcak nokta bölgeleri tespit edilmiştir. Bu bölgeler alansal olarak irdelendiğinde, tüm bölgenin %13’ünü sürekli sıcak nokta bölgesi oluştururken, %6’sının ise aralıklı sıcak nokta bölgelerine denk geldiği görülmektedir. Çalışma alanının geri kalan kısmında ise (%81) herhangi bir sıcak noktaya rastlanmadığı görülmüştür.



Şekil 8. PM₁₀ Gelişen sıcak nokta analiz sonuçları

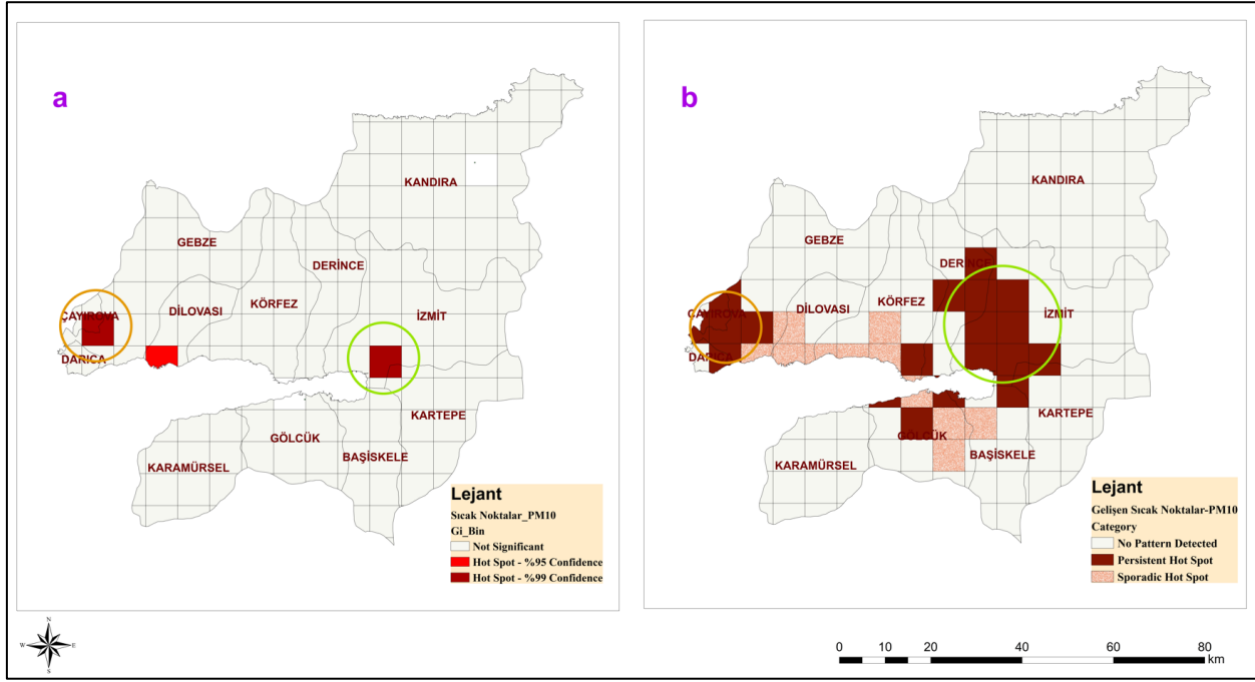
SO₂ gelişen sıcak nokta analizi sonuçları: Bu aşamada, SO₂ parametresine göre gelişen sıcak nokta analizleri aylık dönem için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analizlere bağlı olarak sonuç ürün haritası Şekil 9’da gösterilmiştir. Haritaya bakıldığında, Çayırova, Darıca, Gebze, Kandıra, Kartepe ve Karamürsel ilçeleri dışındaki ilçelerde (Dilovası, Körfez, Derince, İzmit, Gölçük ve Başiskele) istatistiksel anlamlı sıcak noktalar tespit edilmiştir. Sonuçlar, aralıklı sıcak nokta (sporadic) bölgelerine rastlandığını göstermiştir. Elde edilen sonuçlarda, 8 noktada aralıklı sıcak nokta bölgeleri tespit edilmiştir. Bu bölgeler alansal olarak irdelendiğinde tüm bölgenin %4’ünü oluşturduğu görülmektedir. Çalışma alanının geri kalan kısmında ise (%96) herhangi bir sıcak noktaya rastlanmadığı görülmüştür.



Şekil 9. SO₂ Gelişen sıcak nokta analiz sonuçları

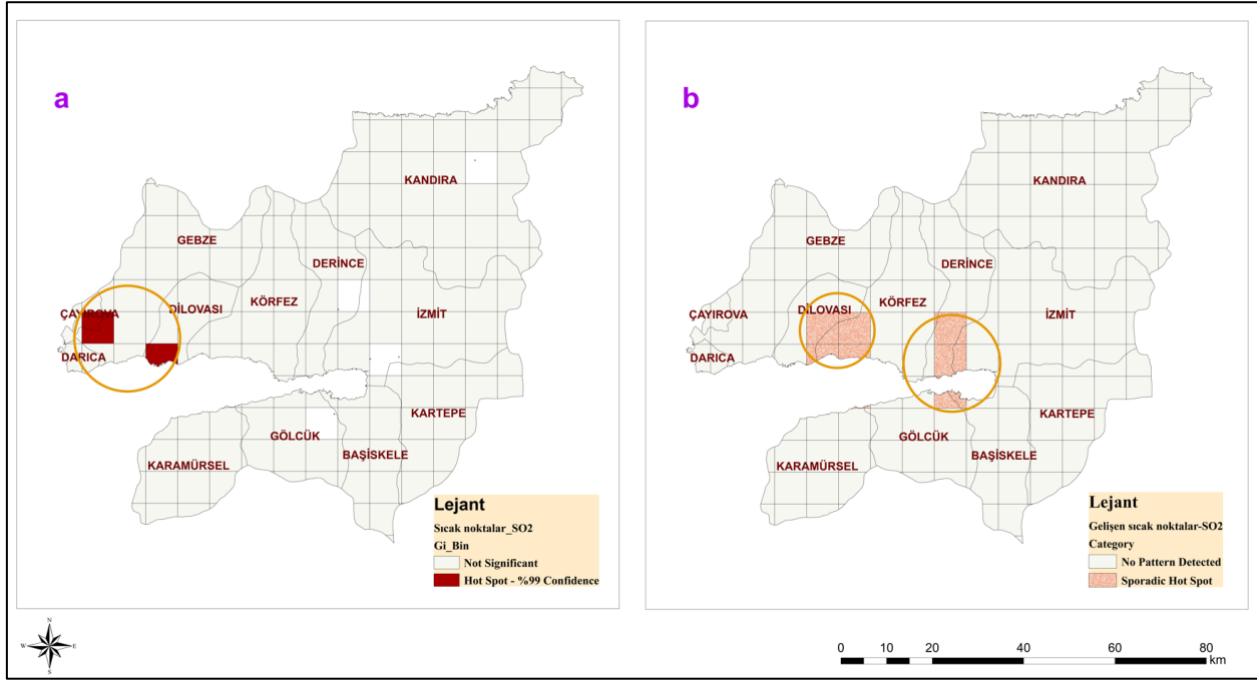
Çalışma sonuçları irdelendiğinde, gelişen sıcak nokta analiz sonuçlarının klasik sıcak nokta analizlerine göre daha kapsamlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun başlıca sebebi, zamana bağlı sıcak nokta analizinin belirlenen konumlardaki eğilimlerini tespit ederken zaman faktörünü de esas almasından ileri gelmektedir.

Her iki yöntem sonucunda elde edilen sıcak nokta bölgeleri karşılaştırmalı irdelendiğinde, PM₁₀ için yürütülen sıcak nokta analiz sonuçları, Çayırova-Darica, Dilovası ve İzmit ilçelerinde sıcak noktalara rastlandığını gösterirken, Kandıra ve Gölçük ilçelerine denk gelen noktalarda ise PM₁₀'e bağlı hava kirliliğinin görülme olasılığının düşük olduğunu göstermiştir. Tüm ayların birlikte değerlendirildiği analiz sonuçlarında da benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Gelişen sıcak nokta analizi sonucu ise, klasik sıcak nokta analizleriyle elde edilen bölgelerle genel olarak sonuçların çakıştığını, ancak diğer analize göre daha farklı konumlarda ve farklı desenlerde sıcak noktaların tespit edildiğini göstermiştir. Klasik sıcak nokta analizi sonucunda, PM₁₀ için 3 farklı kritik sıcak nokta tespit edilirken, gelişen sıcak nokta analizinde ise 31 sıcak nokta tespit edilmiştir ve bu sayının arttığı görülmüştür. Dolayısıyla konum ve zamanın birlikte değerlendirilmesi ile hava kirliliğinin riskli noktalarını daha geniş çerçevede değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. PM₁₀ analiz sonuçlarının sıcak noktalar bağlamında karşılaştırmalı gösterimi
(a= Sıcak nokta analiz haritası, b= Gelişen sıcak nokta analiz haritası)

Her iki yöntem sonucunda elde edilen sıcak nokta bölgeleri karşılaştırmalı irdelendiğinde, SO₂ için yürütülen sıcak nokta analiz sonuçları, Çayırova-Darıca ve Dilovası ilçelerinde sıcak noktalara rastlandığını gösterirken, Kandıra, Gölçük, Derince ve İzmit ilçelerine denk gelen noktalarda ise SO₂'ye bağlı hava kirliliğinin görülme olasılığının düşük olduğunu göstermiştir. Tüm ayların birlikte değerlendirildiği analiz sonuçlarında da benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Gelişen sıcak nokta analizi sonucu ise, klasik sıcak nokta analizleriyle elde edilen bölgelerle genel olarak sonuçların çakıştığını, ancak diğer analize göre daha farklı konumlarda ve farklı desenlerde sıcak noktaların tespit edildiğini göstermiştir. Klasik sıcak nokta analizi sonucunda, SO₂ için 2 farklı kritik sıcak nokta tespit edilirken, gelişen sıcak nokta analizinde ise 7 sıcak nokta tespit edilmiştir ve bu sayının arttığı görülmüştür. Dolayısıyla konum ve zamanın birlikte değerlendirilmesi ile hava kirliliğinin riskli noktalarını daha geniş çerçevede değerlendirilebileceği sonucuna PM₁₀ değerinde olduğu gibi bu değerde de varılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. SO₂ analiz sonuçlarının sıcak noktalar bağlamında karşılaştırmalı gösterimi
(a= Sıcak nokta analiz haritası, b= Gelişen sıcak nokta analiz haritası)

4. Sonuçlar ve Öneriler

Hava kirliliği, doğal süreçleri bozan, tüm insanlar ve canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olan önemli bir çevresel problem niteliğindedir. Dolayısıyla bu etkilerinden dolayı kirliliğin belirlenmesi, kirletici düzeylerinin kontrol altında tutulması ve önlenmesi oldukça önemlidir. CBS'ye dayalı analizler, geçmişten günümüze hava kirliliğinin değerlendirilmesi noktasında, meydana gelen kirliliğin boyutu ve riskini ortaya koyarak gerekli önlemlerin alınmasına olanak sağlayan önemli araç niteliğindedir.

Bu çalışmada, seçilen pilot bölge nezdinde CBS tabanlı konumsal-zamansal sıcak nokta kümeleme analizleri gerçekleştirilerek hava kirliliği açısından riskli bölgeler tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, öncelikle 2021-2022 yılları arasında kaydedilen PM₁₀ ve SO₂ verilerinin mekânsal otokorelasyon analizleri yürütülerek kümeleme eğilimi gösterip göstermediği tespit edilmiştir ve analizler için gerekli mesafe değerleri tespit edilmiştir. Ardından, klasik sıcak nokta kümeleme analizleri (Getis Ord Gi*) ve gelişen sıcak nokta kümeleme analizleri (emerging hot spot) yürütülmüştür. Elde edilen çıktılar birbirleriyle kıyaslanarak, hava kirliliğinin riskli bölgelerinin tespitinde hangisinin daha etkin kullanılabileceği yönünde önermeler getirilmiştir.

PM₁₀ ve SO₂ hava kirliliği parametrelerine dair aylık gerçekleştirilen sıcak nokta analizleri sonuçları değerlendirildiğinde hava kirliliğinin benzer noktalarda ancak farklı güven düzeylerindeki (%99, %95 ve %90) sıcak noktalarla karşımıza çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durum her ayda meydana gelen hava kirliliğine sebep olan parametre değerlerindeki değişimden ileri geldiği düşünülmektedir.

Ancak bu değişimlerde her ne kadar farklılıklar görölse de özellikle mevsimler içindeki değişimlerin genellikle benzer noktalarda sonuçlar ürettiği görülebilmektedir. Tüm ayların da dahilindeki analizlerde ise bu durumun aslında her bir ay içindeki hava kirliliğinin fazla olduğu noktaların birleşimine tekabül ettiği tespit edilebilmektedir.

PM10 ve SO₂ hava kirliliği parametrelerine dair aylık gerçekleştirilen gelişen sıcak nokta analizleri sonuçları değerlendirildiğinde ise tek bir analiz altında aylık bir analiz gerçekleştirildiğinden aslında tüm aylar için gerçekleştirilen sıcak nokta analizi gibi hava kirliliğinin fazla olduğu noktaların birleşimine benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir. Bu yöntemle yürütölen analizler sonucunda sıcak nokta analizlerine göre daha geniş bir alanda hava kirliliği yaratan noktalar tespit edilmektedir ve bu da sıcak nokta analizinin kaçırdığı bazı detayları yakalayabildiği sonucunu göstermektedir.

Sonuçlar, seçilen her iki hava kirliliği parametresi için zamana bağlı sıcak nokta analizinin klasik sıcak nokta analizine göre daha fazla sayıda ve daha detaylı sonuçlar tespit ettiğini göstermiştir. Dolayısıyla özellikle seçilen hava kirliliği parametrelerinin yoğunlaştığı bölgelerin tespitinde zamana bağlı analizlerin daha etkin bir şekilde kullanılabilereği düşünölmektedir. Bunun yanında elde edilen sonuçların, hava kirliliğinin tespit edilmesi, izlenmesi ve azaltılması noktasında önemli bir altlık teşkil edeceği düşünölmektedir. Ayrıca klasik sıcak nokta analizinin anlamsız çıkardığı karelerin, zamana bağlı sıcak nokta analizi ile anlamlı noktalar olduğu tespit edildiğinden, bu denli çalışmalarda zamanı dikkate alındığı analizlerin önemli olduğu sonucuna varılmıştır ve gerçekleştirilen çalışma sonuçları ile bu durum ortaya koyulmuştur. Dolayısıyla yürütölecek benzer çalışmalarda zaman-konum ilişkisine dayalı analizlerin birlikte değerlendirilmesi önemli görölmekte, daha etkin sonuçlar alınması açısından diğer çalışmalara önerilmektedir.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Ahmadi, H., Argany, M., Ghanbari, A. ve Ahmadi, M. (2022). Visualized spatiotemporal data mining in investigation of Urmia Lake drought effects on increasing of PM10 in Tabriz using Space-Time Cube (2004-2019). *Sustainable Cities and Society*, 76, 103399.
- Akyürek, Ö., Arslan, O. ve Karademir, A. (2013). SO₂ ve PM10 Hava Kirliliği Parametrelerinin CBS ile Konumsal Analizi: Kocaeli Örneği. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2013*, 11-13 Kasım 2013, Ankara.
- Briggs, D. (2005). The role of GIS: Coping with Space (And Time) in Air Pollution Exposure Assessment. *Journal of Toxicology Environmental Health, Part A*, 68(13-14), 1243-61.
- Bozdağ, A., Dokuz, Y. ve Gökçek, O.B. (2020). Spatial prediction of PM10 concentration using machine learning algorithms in Ankara, Turkey. *Environmental Pollution*, 263, Part A, August 2020, 114635.
- Bozyazı Daylan, E. G. ve İncecik, S. İstanbul'da Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Hava Kalitesinin İncelenmesi. *itiidergisi/d mühendislik*, 1(2), 51-62.
- Çınar, H. (2003). *Eskişehir İçin Hava Kirliliği Envanterinin ve CBS Destekli Hava Kirliliği Haritalarının Oluşturulması*. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Colak, H. E., Memisoglu, T. ve Bediroglu, G. (2018). Ege Bölgesi için Hava Kirliliği Parametrelerinin (PM10, SO₂) Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Konumsal Analizi. *Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi*, 30 Mayıs- 02 Haziran 2018, İzmir, Türkiye.
- Cuci, Y. ve Ergün Polat, E. (2005). Gaziantep'in Trafik Kaynaklı Hava Kirliliğinin Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 18(2).
- Demirarslan, K. O. ve Akıncı, H. (2016). Doğu Karadeniz Bölgesinde Kükürtdioksit (SO₂) Dağılımlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2(2), 81-99.
- Demirarslan, K. O. ve Akıncı, H. (2018). CBS ve Hava Kalitesi verileri kullanılarak Marmara Bölgesinin Kış sezonunda hava kalitesinin değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh University, Natural Disasters Application and Research Center, Journal of Natural Hazards and Environment*, 4(1), 11-27.
- ESRIa, (2022). ArcGIS Pro Resources, How create space time cube Works. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/space-time-pattern-mining/learnmorecreatecube.htm>
- ESRIb, (2022). ArcGIS Pro Resources, How Emerging Hot Spot Analysis Works. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/space-time-pattern-mining/learnmoreemerging.htm>
- Getis A. ve Ord, J.K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, 24(3), 89-282, <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>.
- Gökçek, Ö.B., Şaşa, N., Dokuz, Y. ve Bozdağ, A. (2022). PM10 Parametresinin Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Mekânsal Analizi, Kayseri İli Örneği. *Dokuz Eylül University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 24(70), 65-80.
- Kalıpçı, E. ve Baser, V. (2019). *Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Hava Kalitesi Verileri Kullanılarak Türkiye'nin Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesi*. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 377-389.
- Kopar, İ. ve Zengin, M. (2009). Determination of Temporal and Spatial Distribution of Air Quality in Erzurum City Depending on Geographic Factors. *Türk Coğrafya Dergisi*, 53, 51-68.
- Moran, P.A.P. (1950). Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*, 37(1), 17-23, doi:10.2307/2332142.
- Prasetia, H., Annisa, N., Riduan, R., Setyowati, E.R., Tasfiyati, A.N. ve Maryana, R. (2021). The dispersion pattern of PM10 and SO₂ on Highway Kuin Utara and Kuin Selatan Banjarmasin City based on GIS spatial model. *The 6th International Symposium on Applied Chemistry (ISAC) 2020, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1011 (2021) 012011*. IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/1011/1/012011.
- Solak, G. (2021). *Hava Kirliliğinin Mekânsal Bağımlılığının CBS Tabanlı Araştırılması: Afyonkarahisar Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Tayanç, M. (2000). An Assessment of Spatial and Temporal Variation of Sulfur Dioxide Levels Over Istanbul, Turkey. *Environmental Pollution*, 00-107, 61-69.
- Tella, A. ve Balogun, A. (2021). Prediction of Ambient PM10 Concentration in Malaysian Cities Using Geostatistical Analyses. *Journal of Advanced Geospatial and Science Technology*, 1(1), 155-127.

- Toros, H., Bağış, S. ve Gemici, Z. (2018). Ankara'da Hava Kirliliği Mekânsal Dağılımının Modellenmesi, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(1), 20-53.
- Tobler, W.R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234-240, <https://doi.org/10.2307/143141>.
- Uğurlu, O. (2021). *Konya İl'inde Hava Kirliliğine Etki Eden Faktörlerin Mekânsal Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- URL-1: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Hava#:~:text=Hava%3B%20D%C3%BCnya'y%C4%B1%20C3%A7evreleyen%2C,gaz%20k%C3%BCtlesine%20atmosfer%20ad%C4%B1%20verilmekte dir/>, (Erişim tarihi: 15 Şubat 2023).
- URL-2: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kocaeli/>, (Erişim tarihi: 11 Aralık 2022).
- URL-3: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/spatial-autocorrelation.htm/>, (Erişim tarihi: 11 Aralık 2022).
- URL-4: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm/>, (Erişim tarihi: 11 Aralık 2022).
- URL-5: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/incremental-spatial-autocorrelation.htm/>, (Erişim tarihi: 11 Aralık 2022).
- URL-6: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gi-spatial-stati.htm/>, (Erişim tarihi: 11 Aralık 2022).
- URL-7: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/space-time-pattern-mining/learnmorecreatecube.htm/>, (Erişim tarihi: 15 Ocak 2023).
- URL-8: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/space-time-pattern-mining/emerginghotspots.htm/>, (Erişim tarihi: 15 Ocak 2023).
- Vural, E. (2021). Güneydoğu Anadolu Bölgesi İllerinin CBS Kullanarak Hava Kalitesinin Mekânsal Değişiminin İncelenmesi (2007-2019). *Artvin Çoruh University Natural Hazards Application and Research Center Journal of Natural Hazards and Environment*, 7(1), 124-135.
- World Air Quality Report, (2021).
- World Health Organization (WHO) Air Quality Guidelines, (2021).
- Yuan, W., Sun, H., Chen, Y. ve Xia, X. (2021). Spatio-Temporal Evolution and Spatial Heterogeneity of Influencing Factors of SO₂ Emissions in Chinese Cities: Fresh Evidence from MGWR. *Sustainability*, 13, 12059.
- Yang, Y. ve Christakos, G. (2015). Spatiotemporal Characterization of Ambient PM_{2.5} Concentrations in Shandong Province (China). *Environmental Science Technology*, 49(22), 13431-13438.
- Zou, B., Wilson, J. G., Zhan, F. B., Zeng, Y. ve Wu, K. (2011). Spatial-Temporal Variations in Regional Ambient Sulfur Dioxide Concentration and Source-Contribution Analysis: A Dispersion Modeling Approach. *Atmospheric Environment*, 45(28), 4977-4985.
- Zeydan, O., Yildirim, Y., Karademir, A. ve Durmuşoğlu, E. (2014). *Hava Kalitesi Modellenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı: Zonguldak Örneği*. 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.