



ANKARA İLİ HAVA KALİTESİ İZLEME İSTASYONLARINDAN ELDE EDİLEN PM_{2.5} ÖLÇÜMLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN EWMA KARTLARI KULLANILARAK İNCELENMESİ

Esra POLAT^{1*}, Burak CİBA¹, Rahime POLAT²

¹Hacettepe University, Faculty of Science, Department of Statistics, 06800, Ankara, Türkiye

²Ankara University, Institute of Social Sciences, Environmental Social Sciences, PhD Candidate, Ankara, Türkiye

Özet: Sanayileşmenin hız kazanması, nüfusun çoğalması, kentleşmenin yaygınlaşması ve fosil yakıt kullanımının artması, atmosferde kirlenmeye neden olarak insan sağlığını tehdit eden hava kirliliğini ortaya çıkarmaktadır. Son dönemde yapılan bilimsel araştırmalar, kalp ve damar hastalıklarının özellikle PM_{2.5} olarak bilinen ince partikül madde kirliliğiyle doğrudan ilişkili olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin Ankara ili sınırları içerisinde yer alan altı istasyonda (Çankaya, Etimesgut, Keçiören Sanatoryum, Ostim, Törekent, Yaşamkent) PM_{2.5} konsantrasyonlarının son dönemlerdeki durumunu ve değişimini inceleyerek, kontrol edilemeyen değişikliklerin ve istasyonlar arası farklılıkların olup olmadığını araştırmaktır. Bu amaçla, öncelikle 01.01.2024 ve 31.03.2025 tarihleri arasındaki dönem için PM_{2.5} konsantrasyonlarının değişimi, betimleyici istatistikler ve grafikler ile incelenmiş ve ardından Kasım 2024 ve Mart 2025 arası 5 ay için süreç ortalaması EWMA kontrol kartları ile izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ankara ilindeki 6 hava kalitesi izleme istasyonundan alınan günlük PM_{2.5} konsantrasyon düzeylerindeki değişiklikleri EWMA kontrol kartlarının hızlı bir şekilde tespit etme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. EWMA kartı, her bir izleme istasyonu için 2025 yılı kış aylarında PM_{2.5} konsantrasyonlarında keskin bir artış sinyali açık biçimde göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Hava kirliliği, PM_{2.5}, Süreç ortalaması, EWMA kartları, Ankara

Investigation of Changes in PM_{2.5} Measurements Obtained From Air Quality Monitoring Stations in Ankara Province Using EWMA Charts

Abstract: Acceleration of industrialization, population growth, widespread urbanization and increased use of fossil fuels cause pollution in the atmosphere, creating air pollution that threatens human health. Recent scientific studies have clearly shown that cardiovascular diseases are directly related to fine particulate matter pollution, especially known as PM_{2.5}. The aim of our study is to investigate the recent nature and changes of PM_{2.5} concentrations in six stations of Ankara Province in Türkiye (Çankaya, Etimesgut, Keçiören Sanatoryum, Ostim, Törekent, Yaşamkent) to investigate if there are uncontrollable changes and differences between stations. For this purpose, firstly, the change in PM_{2.5} concentrations for the period between 01.01.2024 and 31.03.2025 was examined with descriptive statistics and graphs, and then the process mean was monitored with EWMA control charts for 5 months between November 2024 and March 2025. The results obtained reveal that EWMA control charts have the potential to rapidly detect changes in daily PM_{2.5} concentration levels taken from 6 air quality monitoring stations in Ankara province. The EWMA chart clearly shows a sharp increase signal in PM_{2.5} concentrations, in the winter months of 2025, for each monitoring station.

Keywords: Air pollution, PM_{2.5}, Process mean, EWMA charts, Ankara

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Hacettepe University, Faculty of Science, Department of Statistics, 06800, Ankara, Türkiye

E mail: espolat@hacettepe.edu.tr (E. POLAT)

Esra POLAT  <https://orcid.org/0000-0001-9271-485X>

Burak CİBA  <https://orcid.org/0009-0007-0276-7351>

Rahime POLAT  <https://orcid.org/0000-0002-0677-1979>

Gönderi: 20 Mayıs 2025

Kabul: 02 Temmuz 2025

Yayınlanma: 15 Temmuz 2025

Received: May 20, 2025

Accepted: Temmuz 02, 2025

Published: July 15, 2025

Cite as: Polat E, Ciba B, Polat R. 2025. Investigation of changes in PM_{2.5} measurements obtained from air quality monitoring stations in Ankara province using EWMA charts. BSJ Eng Sci, 8(4): 1204-1211.

1. Giriş

Çevre ve İnsan sağlığı üzerinde zararlı etkileri olan Partikül Madde (PM), havada katı veya sıvı halde bulunan partikül maddeyi ifade eder. Küf, polen, toz gibi çapı 10 mikron ve daha küçük olan partikül madde, PM₁₀ olarak adlandırılır. Yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan parçacıklar, organik bileşikler gibi 2,5 mikron ve daha küçük partiküller ise PM_{2.5} olarak adlandırılır (Utku ve Can, 2024). Kalp-damar ve solunum yolu hastalıklarına neden olabilen PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyonlarının düzenli olarak izlenmesi ve hava kirliliğinin kontrol

altına alınması çevre ve insan sağlığı açısından önemlidir. PM_{2.5} parçacıkları, insan saç telinin yaklaşık yüzde 3'ü kadar inceliğe sahiptir ve yalnızca elektron mikroskobu kullanılarak tespit edilebilir. Araştırmacılar, ince partiküllerin kan damarlarında birikebileceğini, kalp ile çevresindeki damarlarda iltihap oluşumuna neden olabileceğini düşünmektedirler. PM_{2.5} türü ince parçacıklar farklı kaynaklardan ortaya çıkabilir. Bu kaynaklar arasında fabrikalar, enerji santralleri, uçakların yakıt artıkları ve motorlu taşıtlar, evlerde kömür ve odun kullanımı vb. yer alır. PM_{2.5} doğal



kaynaklardan ve insan faaliyetleri sonucunda atmosfere salınır. Doğal kaynaklar deniz tuzu aerosolleri, volkanlar, orman yangınları, toz fırtınaları, canlı bitki örtüsü ve biyolojik aerosol parçacıkları tarafından sağlanır. PM_{2.5}'in antropojenik kaynakları (insanlar tarafından üretilen veya insan kaynaklı kirletici kaynakları) arasında araç emisyonları, katı yakıt yakma, endüstriyel deşarj, tarımsal faaliyetler ve evsel biyokütle yakma bulunur. PM_{2.5}'in kaynağı zamana ve yere bağlı olarak değişir ve çeşitli bir PM_{2.5} bileşimiyle sonuçlanır. PM_{2.5}'in zehirliliği; kütle konsantrasyonu, tane boyutu ve en önemlisi kimyasal kompozisyonu gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. İnce partiküller, çok küçük ve hafif olduğundan, daha büyük parçacıklara kıyasla, havada daha uzun süre asılı kalma özelliği gösterir. Bu durum, insanlar ve hayvanlar için bu partiküllerin solunum yoluyla vücuda alınma riskini artırmaktadır. Boyutlarının küçük olması nedeniyle (2.5 mikrondan daha küçük), bu partiküller burun ve boğazdan kolayca geçip akciğerlere ulaşabilir ve bazıları dolaşım sistemine dahi girebilir. Çalışmalar, hava kirliliğinin özellikle de bu küçük partiküllere maruz kalmanın kalp ve akciğer rahatsızlıkları ile erken ölüm arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Özellikle PM_{2.5}'in hipertansiyon ve damar sertliği gelişimini desteklediği, kalp krizi, felç, kalp yetmezliği ve aritmiler dahil olmak üzere kardiyovasküler hastalık (kalp ve kan damarlarını etkileyen sağlık sorunları) riskinin artmasıyla ilişkili olduğu görülmektedir. Bir dizi çalışmaya göre PM_{2.5}'in, astım, bronşit, solunum yolu iltihabı, zatürre, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) gibi solunum sistemi hasarıyla ilişkili olduğu, kalp krizi ve diğer solunum rahatsızlıkları gibi kronik hastalıkları tetikleyebileceği ya da şiddetlendirebileceği bilinmektedir. Wan Mahiuddin vd. (2023) PM_{2.5} ile kardiyovasküler ve solunum yolu hastalıklarının belirli sağlık sonuçları arasındaki ilişkiyi araştırmak için zaman serisi tasarımlarını kullanarak mevcut literatüre genel bir bakış sağlamıştır. Bulgular, kısa vadeli çalışmaların solunum yolu hastalıkları için daha yüksek riskler gösterdiğini, uzun vadeli çalışmaların ise kardiyovasküler hastalıklar için daha yüksek riskler gösterdiğini ortaya koymuştur (Gerçekoğlu, 2018; Krittanawong vd., 2023; Nan vd., 2023; Wan Mahiuddin vd., 2023; Utku ve Can, 2024). Partikül madde ayrıca hava, toprak ve su kirliliğine neden olarak ekosistemlere zarar verir. Partikül madde gölleri ve akarsuları asidik hale getirir, kıyı suyunu ve toprak besinlerini değiştirir veya azaltır ve ormanlara ve çiftlik ürünlerine zarar verir. PM'nin bir hava kirleticisi olarak ürün verimi ve gıda verimliliği üzerindeki etkisi bildirilmiştir. Sulak alanlar üzerindeki etkisi canlı organizmaların ve balıkların hayatta kalması ve verimlilik potansiyelleri ile ilişkilidir. PM'nin hem doğal hem de yönetilen ekosistemler üzerinde bilinen etkileri vardır. Partikül maddenin en uzun etkisinin, biyolojik çeşitliliğe müdahale ettiği ve sonunda ekosistem mal ve hizmetlerinin kaybına yol açtığı zaman gözlemlendiği belirtilmektedir. Partikül maddenin, bitkisel yüzeylerde biriktiği veya toprağın daha

derinlerine nüfuz ettiği bilinmektedir. Partikül madde çok küçük boyutta olduğundan, rotalarını kesin olarak bilmek zordur. Ancak, hem havza hem de bölgesel düzeylerde bilinen etkileri vardır. Partikül madde birikimi nedeniyle birçok sorun olabilir; örneğin rekabetteki değişiklikler nedeniyle tür çeşitliliğindeki değişiklikler, biyojeokimyasal döngülerin bozulması, kendini düzenleme yeteneğinde düşüş vb. Atmosferik partikül maddenin içinde bulunan kimyasal bileşenlerin kütle yüklenmesi nedeniyle bitki örtüsünü ve ekosistemleri aşırı bir aralıkta etkilediği bilinmektedir (Grantz vd., 2003; Aydın ve İlkılıç, 2017; Zuhara ve Isaifan, 2018; Manisalidis vd., 2020).

PM_{2.5}, birden fazla kimyasal bileşimden oluşan karmaşık bir karışımdır. PM_{2.5}'in bileşimi, emisyon kaynağı tarafından belirlenir ve çeşitli bölgesel özellikler gösterir. PM_{2.5} bileşenlerinin toksisitesi ve zararlı kaynakları açıklığa kavuşturulmalı ve kesin kontrol politikaları geliştirilmelidir (Nan vd., 2023).

Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (Exponentially Weighted Moving Average/EWMA) kontrol kartı, süreç ortalamasındaki küçük, orta ve büyük büyüklükteki kaymaları incelemede avantajlıdır; çünkü EWMA istatistiği, mevcut gözlem ve önceki gözlemlerden oluşan veri kümesine dayalı olarak hesaplanır. Literatürü incelediğimizde PM_{2.5} konsantrasyonlarının EWMA kontrol kartları ile incelendiği 2 önemli çalışma özellikle dikkatimizi çekmiştir. Saithanu ve Mekparyup (2022) çalışmasında, Chonburi Eyaleti'ndeki PM_{2.5} konsantrasyonlarının son dönemdeki durumunu ve değişimlerini incelemeyi amaçlamıştır. Amaç, süreç değişiminin Tayland'ın günlük ulusal hava kalitesi standardına uyup uymadığını değerlendirmektir. Bu hedef, temel özelliklerin belirlenmesi ve ardından 2020 yılına ait PM_{2.5} konsantrasyonlarının süreç ortalamasının EWMA kontrol kartları ile izlenmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Saithanu (2023) esas olarak Tayland'ın doğusunda bulunan Chachoengsao Eyaletinde PM_{2.5} olarak bilinen ince partikül maddenin mevcut durumunu belirlemeye odaklanarak, bu maddenin süreç değişiminin günlük Tayland ulusal hava kalitesi standardını karşılayıp karşılamadığını kontrol etmiştir. Amacını, betimleyici istatistik ve kümeleme analiziyle bir yıl boyunca (Kasım 2020'den Ekim 2021'e kadar) PM_{2.5} konsantrasyonlarının önemli özelliklerini araştırarak gerçekleştirmiştir. Ayrıca 5 ay için (Kasım 2021'den Mart 2022'ye kadar) PM_{2.5} konsantrasyonlarının süreç ortalamalarını EWMA kartı ile incelemiştir. Kümeleme analizinin sonuçları, PM_{2.5} konsantrasyonlarının yalnızca bir mevsimden değil, aynı zamanda bir gün içindeki bir zaman periyodundan da etkilendiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada, Ankara ilindeki 6 farklı hava kirliliği izleme istasyonundan elde edilen PM_{2.5} konsantrasyon seviyelerindeki değişimler ve hangi mevsim dönemlerinde bu değişimlerin görüldüğü, istasyonlar arasında farklılık olup olmadığı çeşitli betimleyici istatistikler veya grafikler ve EWMA kartları kullanılarak incelenmektedir. EWMA kartları kullanılarak partikül

madde konsantrasyonlarının dolayısıyla hava kalitesinin kontrol edilip izlenmesi, hava kirliliği önleyici stratejilerin geliştirilmesi açısından önemlidir. Ankara ilindeki hava kalitesinin izlendiği 6 istasyona ilişkin PM_{2.5} ölçümlerinin kontrol kartları ile ilk kez incelenmesi çalışmamızın dikkat çekici yanısıdır.

2. Materyal ve Yöntem

İstatistiksel süreç kontrolü, süreç değişikliğini izlemek ve kontrol etmek için istatistiksel yöntemlerin uygulanmasına yönelik bir kalite kontrol yaklaşımıdır. Özellikle, kontrol kartı, süreçleri izlemek ve süreçlerdeki değişiklikleri tespit etmek için yaygın olarak kullanılan bir araçtır ve bu sayede hataların oluşmasını önler. EWMA kontrol grafiği, Roberts (1959) tarafından sunulan istatistiksel bir süreç kontrol grafiğidir; süreç parametrelerindeki zamanla meydana gelen değişimleri tespit etmek için kullanılan, köklü ve iyi bilinen bir yöntemdir. Süreç ortalamalarındaki, küçük fakat sürekli sapmalara karşı daha duyarlı olduğu için Shewhart kontrol kartlarına seçenек olarak geliştirilmiştir. Bu kontrol kartları, zaman serilerinin analizinde de kullanılmaktadır. EWMA istatistiği geçmiş ve yakın tarihli tüm gözlemlerin ağırlıklı ortalaması olarak kabul edilebilir, dolayısıyla normallik varsayımına duyarlıdır. Alt örneklem boyutu 1 olduğunda bu yöntem uygulanmak için idealdir (Ege, 2000; Mahmood vd., 2021; Waqas vd., 2023; Aydın, 2024; Polat, 2024). x_i rasgel değişkeni gözlemleri temsil etsin. λ bir düzeltme (düzgünleştirme) sabiti olsun; $0 < \lambda \leq 1$. Daha sonra EWMA istatistiği aşağıdaki şekilde tanımlanır (eşitlik 1) (Mahmood vd., 2021; Waqas vd., 2023; Polat, 2024).

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)Z_{i-1}, i = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Burada Z_{i-1} önceki EWMA istatistiğidir. Dolayısıyla Z_i , daha yakın tarihli gözlemlere daha fazla ağırlık verilen, geçmiş ve yakın tarihli tüm PM_{2.5} ölçümlerinin ağırlıklı ortalamasıdır. λ sabiti 1'e yaklaştığında, mevcut değerin EWMA'daki ağırlığı artar, eski değerin EWMA'daki ağırlığı azalır (Lu ve Zhen, 2015). Kartın kontrol limitlerini hesaplamak için kontrol altında olan sürecin ortalaması olan μ_0 başlangıç değeri tanımlanmalıdır. Bazı

durumlarda önceki verilerin ortalaması EWMA'nın başlangıç değeri olarak kullanılır ($z_0 = \bar{x}$). Bu durumda kontrol limitlerinde de $\bar{x}$ kullanılır (Ege, 2000). x_i bağımsız gözlemlerinin standart sapması (σ) tahmin edilmelidir. En son olarak genel olarak 3 olarak alınan kontrol limitlerinin genişliği L belirtilmelidir. EWMA kartı seçilen λ değerine bağlıdır, daha küçük bir λ değeri küçük kaymaların daha hızlı tespit edilmesini sağlar. EWMA kartı, özellikle λ küçük olduğunda, ortalamadaki küçük kaymaları tespit etmek için kullanışlıdır. Eğer Z_i EWMA istatistiği bu kontrol limitlerinin dışına düşerse, süreç ortalamasında bir kayma olduğu anlamına gelir. Çalışmamızda, desenlerin ve kontrol dışı durumların izlenmesinde en iyi sonucu veren düzeltme parametresi $\lambda=0.25$ olan EWMA grafiği kullanılmıştır (Mahmood vd., 2021; Waqas vd., 2023; Polat, 2024). EWMA grafiğinin kontrol limitleri eşitlik 2'de verilmiştir (Mahmood vd., 2021; Waqas vd., 2023; Polat, 2024).

$$\begin{aligned} \bar{U}KL &= \mu_0 + L\sigma\sqrt{\lambda(2-\lambda)^{-1}[1-(1-\lambda)^{2i}]} \\ M\bar{C} &= \mu_0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$KL = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\lambda(2-\lambda)^{-1}[1-(1-\lambda)^{2i}]}$$

Eğer $i \rightarrow \infty$ olursa $[1-(1-\lambda)^{2i}]$ değeri 1'e yakınsar, bu durumda, zamanla değişen limitler asimptotik limitlere dönüştürülür ve eşitlik 3'deki gibi tanımlanır (Lu ve Zhen, 2015; Mahmood vd., 2021; Waqas vd., 2023; Polat, 2024):

$$\begin{aligned} \bar{U}KL &= \mu_0 + L\sigma\sqrt{\lambda(2-\lambda)^{-1}} \\ M\bar{C} &= \mu_0 \\ KL &= \mu_0 - L\sigma\sqrt{\lambda(2-\lambda)^{-1}} \end{aligned} \quad (3)$$

3. Bulgular

Veriler T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın web sayfasından Hava Kalitesi Veri Bankası'ndan alınmıştır. 1.01.2024-31.03.2025 tarihleri arasında Ankara ili için 6 istasyon verisi (Çankaya, Etimesgut, Keçiören Sanatoryum, Ostim, Törekent, Yaşamkent) incelenmiştir. Bu istasyonlar Ankara'nın çeşitli yerleşim ve sanayi bölgelerindedir.

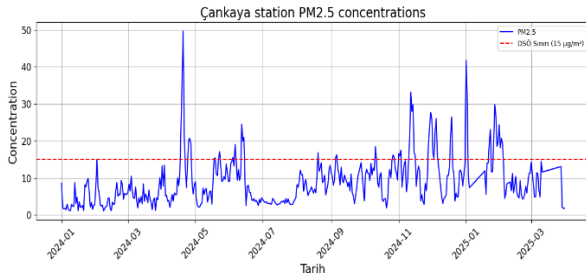
Tablo 1. Günlük PM_{2.5} ölçümlerine ilişkin betimleyici istatistikler (01.01.2024-31.03.2025)

İstasyon	Gözlem Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Çankaya	405	8,99	6,62	1,10	49,65
Etimesgut	453	9,54	9,31	0,44	50,86
Keçiören Sanatoryum	448	11,58	11,19	0,54	72,50
Ostim	420	10,45	11,69	0,17	70,30
Törekent	443	8,07	7,73	0,55	58,02
Yaşamkent	410	7,94	5,20	0,83	36,69

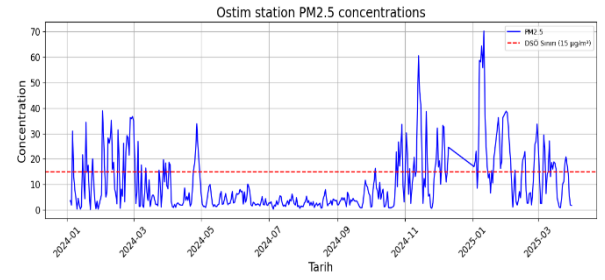
Tablo 1’de 6 istasyondan ölçülen değerlere ilişkin betimleyici istatistikler verilmiştir. Buna göre PM_{2.5}’in günlük konsantrasyonlarının ortalaması, en yüksek olan istasyon Keçiören Sanatoryum, en düşük olan ise Yaşamkent’tir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), hava kirliliği kaynaklı milyonlarca ölümü önlemek için hava kirliliği kılavuz değerlerini güncellemiştir. DSÖ, 2021 yılında halk sağlığını korumak için belirlediği güncel sınır değerleri için, PM_{2.5} için kısa vadeli standardın (günlük ortalama) 15 µg/m³ ve uzun vadeli standardın (yıllık ortalama) 5 µg/m³ olduğunu ifade etmiştir (World Health Organization, 2021). Tüm istasyonların ortalama değerleri günlük 15 µg/m³ sınırının altında kalıyor; ancak maksimum değerler birçok noktada bu eşiği ciddi şekilde aşıyor (örneğin; Keçiören Sanatoryum: 72,50;

Ostim: 70,30, Törekent: 58,02). Bu, kısa süreli “zirve” kirliliği olaylarının özellikle sanayi veya yoğun trafik bölgelerinde yaşandığını gösteriyor. En yüksek standart sapma Ostim (11,69) ve Keçiören Sanatoryum’da (11,19) görülmüştür. Bu iki bölgede hem çok temiz hem de çok kirli günler gözleniyor; dolayısıyla hava kalitesindeki dalgalanma diğer istasyonlara göre çok daha fazladır. En düşük standart sapma Yaşamkent’te (5,20) – hem daha stabil hem de en düşük “zirve” değer görülen bir yerleşim bölgesidir.

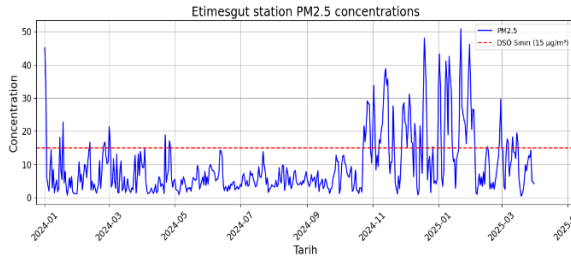
Şekil 1’de her bir istasyon için PM_{2.5} ölçümlerinin zaman içindeki değişimlerini gösteren grafikler verilmiştir. Grafiklerdeki kırmızı düz çizgi DSÖ’nün verdiği günlük 15 µg/m³ eşik değerini göstermektedir.



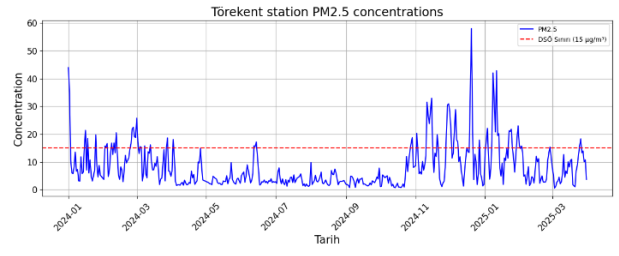
Çankaya İstasyonu



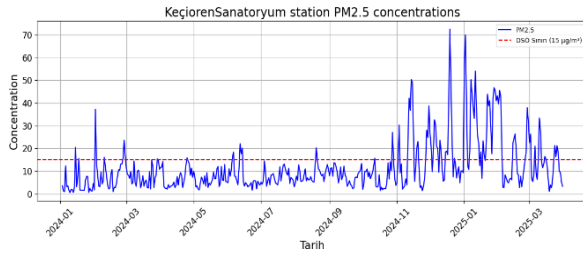
Ostim İstasyonu



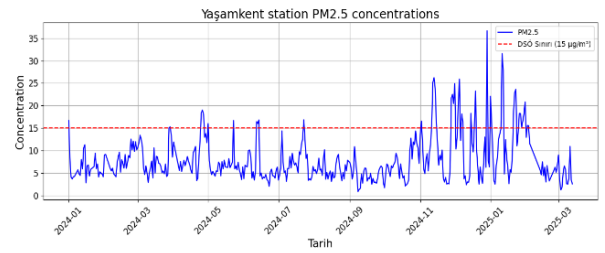
Etimesgut İstasyonu



Törekent İstasyonu



Keçiören Sanatoryum İstasyonu

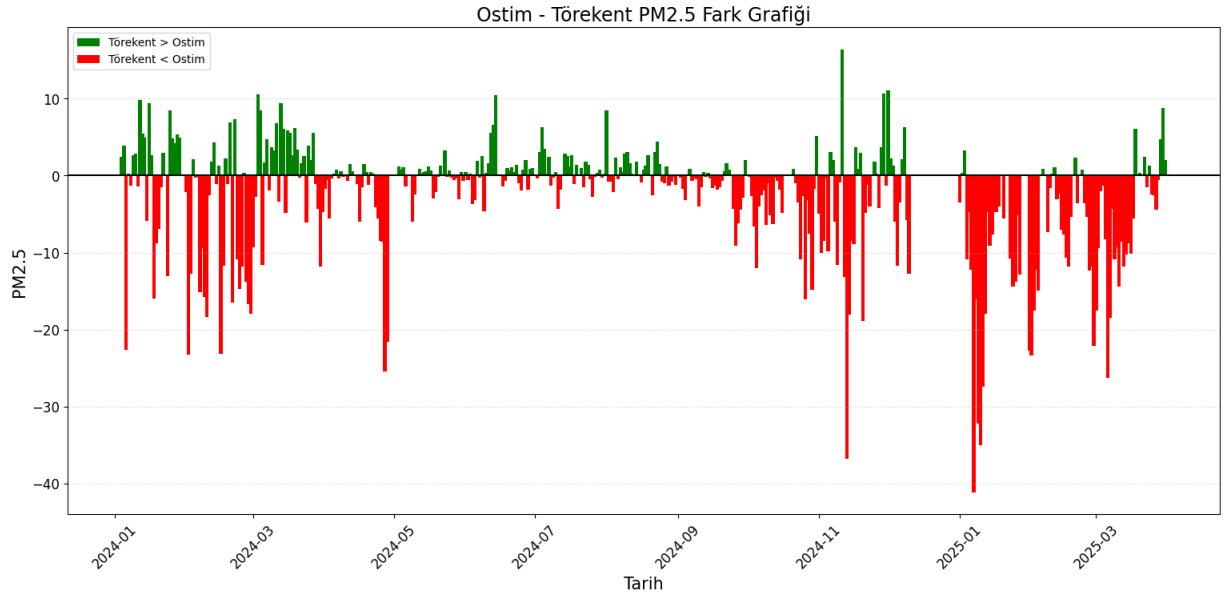


Yaşamkent İstasyonu

Şekil 1. PM_{2.5} ölçümlerinin zaman içindeki değişimlerini gösteren çizgi grafikleri (01.01.2024-31.03.2025).

Şekil 1 incelendiğinde altı istasyondan elde edilen PM_{2.5} ölçümlerinin ilkbahar ve yaz mevsimlerinde genel olarak daha düşük seviyelerde olduğunu ve çoğunlukla DSÖ sınırının altında kaldığını, ancak özellikle 2024 yılı Kasım ayı ile 2025 yılı kış aylarında (Ocak-Şubat) bazı günler bu sınırın çok üzerine çıktığını söyleyebiliriz. Ancak, Çankaya istasyonunda 2024 yılı Nisan ayı içinde ani bir çıkış olduğu da görülmüştür. Ostim istasyonu için ise 2024 yılı Ocak-Şubat-Mart aylarında DSÖ sınırını aşan yüksek kirlilik artışının olduğunu bunun da özellikle

Şubat ayında yoğunlaştığını söyleyebiliriz. Ostim gibi sanayi bölgelerinde yoğun sanayi ve inşaat faaliyetleri, partikül madde salınımını artırarak PM_{2.5} seviyelerinin yükselmesine neden olmuştur. Son yıllarda artan sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve düzensiz kentleşme, özellikle kış aylarında hava kirliliğinin ciddi boyutlara ulaşmasına neden olmuştur. Araştırmalara göre, Ankara’da araç kullanımındaki artış da hava kalitesinin düşmesinde etkilidir (Dundar vd., 2020; Ünal ve Özel, 2023).

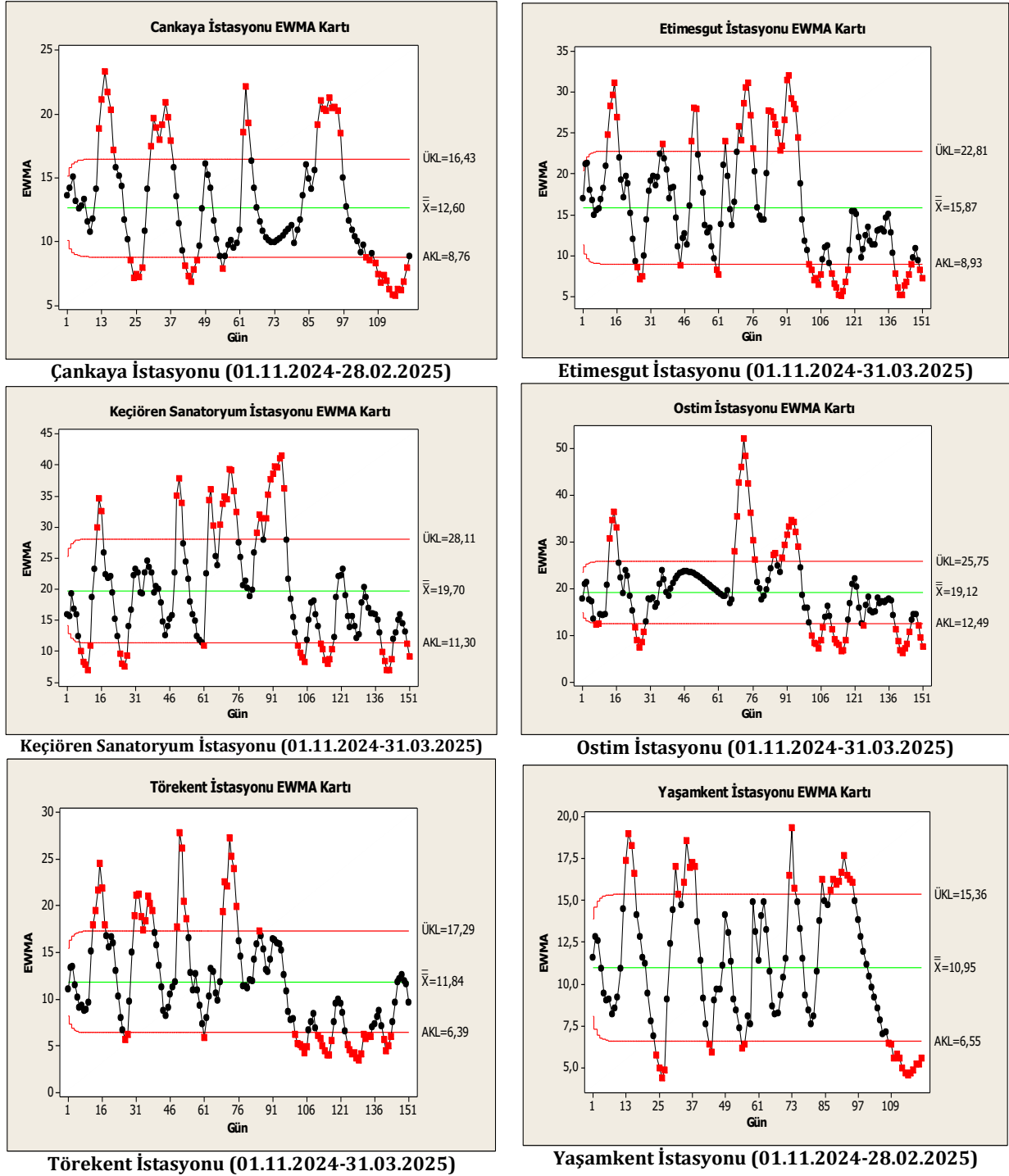


Şekil 2. Ostim-Törekent istasyonları günlük PM_{2.5} ölçümleri için farklar grafikleri (01.01.2024-31.03.2025).

Ostim, Ankara'nın Yenimahalle ilçesinde yer alan ve Türkiye'nin en büyük organize sanayi bölgelerinden biridir. Törekent de, Ankara'nın Sincan ilçesinde bulunan sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu ve organize sanayi bölgelerine yakınlığıyla bilinen bir bölgedir. Bu iki istasyondan elde edilen PM_{2.5} ölçümleri karşılaştırıldığında Şekil 2'den de görüldüğü üzere Ostim'in hava kirlilik seviyesinin çoğunlukla Törekent'den daha yüksek olduğu özellikle de kış aylarında bu farkın belirgin olduğu görülmektedir. Ostim, Ankara'nın en büyük organize sanayi bölgelerinden biri olup, çok sayıda küçük ve orta ölçekli işletmeye ev sahipliği yapmaktadır. Bu yoğun sanayi faaliyetleri, özellikle filtreleme sistemleri yetersiz olan tesislerde, PM_{2.5} gibi ince partikül maddelerin atmosfere salınımını artırmaktadır. Törekent, Ankara'nın Sincan ilçesinde yer almakta olup, Ostim'e kıyasla daha az sanayi faaliyetine sahiptir. Bu durum, bölgedeki PM_{2.5} seviyelerinin Ostim'e göre daha düşük olmasına katkıda bulunmaktadır.

Altı istasyon için hava kirlilik seviyesinin özellikle yükseldiği kış ayları için (2024 Kasım-2025 Mart) EWMA kontrol kartlarını oluşturmadan önce, eksik veriler Stineman interpolasyonu ile doldurulur. Russell W. Stineman tarafından 1980 yılında geliştirilen ve eksik veri noktalarını doldurmak için kullanılan bir interpolasyon (interpolation) yöntemidir (Stineman, 1980). Stineman interpolasyonunda, eksik değerler parça parça rasyonel interpolasyon yöntemiyle

doldurulur ve varsayılan olarak her bir benzersiz nesneyle ilişkili zaman indeksi interpolasyon için kullanılır. Stineman'a göre, interpolasyon işlemi şu özelliklere sahiptir: (1) Belirtilen noktaların koordinatlarının değerleri monoton bir şekilde değişiyorsa ve bu noktaları birleştiren doğru parçalarının eğimleri de monoton bir şekilde değişiyorsa, o zaman interpolasyon eğrisi ve onun eğimi de monoton olarak değişir. (2) Eğer belirtilen noktaları birleştiren doğru parçalarının eğimleri monoton bir şekilde değişiyorsa, o zaman interpolasyon eğrisinin eğimleri de monoton bir şekilde değişecektir. Son olarak, ilk (1) ve ikinci (2) koşulların bir nokta kümesi tarafından sağlandığını, ancak bu noktalardan birinde ordinatta (dikey eksen) ya da eğimde yapılacak küçük bir değişikliğin, daha önce belirtilen koşulların artık sağlanmamasına yol açacağı varsayılabilir. Bu durumda, ilgili noktadaki ordinat ya da eğimde yapılan bu küçük değişiklik, interpolasyon eğrisinde de yalnızca küçük bir değişikliğe neden olur (Kontos ve Karlis, 2023). Bu yöntem, özellikle uzun ardışık eksik veri bloklarının bulunduğu zaman serilerinde tercih edilir. İstasyonlar için eksik gözlemler bu yöntemle ImputeTS R programı paketini (Moritz, 2022) kullanarak doldurulmuştur. Çankaya ve Yaşamkent istasyonları için Mart ayı verilerinin büyük bir çoğunluğu olmadığı için Kasım 2024-Şubat 2025 verileri ile çalışılmıştır. Diğer istasyonlarda Mart 2025 verileri de incelenmiştir.



Şekil 3. Günlük PM_{2.5} ölçümleri için EWMA kontrol kartları.

Şekil 3'teki altı istasyon için oluşturulan EWMA kontrol kartları incelendiğinde süreç ortalamasının kontrol dışında olduğunu söyleyebiliriz. PM_{2.5}'deki artış hava kirliliğinin göstergesi olduğu için özellikle ÜKL'yi aşan noktalar üzerinde durulmuştur. Çankaya istasyonu için Kasım'da (7 nokta), Aralık'ta (7 nokta), Ocak'ta (8 nokta), Şubat'ta (4 nokta) olmak üzere toplam 26 nokta ÜKL'nin dışına çıkmıştır. Bu noktalara ilişkin PM_{2.5} değerleri incelendiğinde 22 tanesinin DSÖ sınırı 15 µg/m³'ü aştığı görülmüştür. Etimesgut istasyonu için ise Kasım'da (5 nokta), Aralık'ta (4 nokta), Ocak'ta (18 nokta), Şubat'ta (4 nokta) olmak üzere toplam 31 nokta ÜKL'nin dışına çıkmıştır. Bu noktalara ilişkin PM_{2.5} değerleri

incelendiğinde 28 tanesinin DSÖ sınırı 15 µg/m³'ü aştığı görülmüştür. Keçiören Sanatoryum istasyonu için Kasım'da (3 nokta), Aralık'ta (3 nokta), Ocak'ta (19 nokta), Şubat'ta (4 nokta) olmak üzere toplam 29 nokta ÜKL'nin dışına çıkmıştır. Bu noktalara ilişkin PM_{2.5} değerleri incelendiğinde 28 tanesinin DSÖ sınırı 15 µg/m³'ü aştığı görülmüştür. Ostim istasyonu için Kasım'da (4 nokta), Ocak'ta (16 nokta), Şubat'ta (4 nokta) olmak üzere toplam 24 nokta ÜKL'nin dışına çıkmıştır. Bu noktalara ilişkin PM_{2.5} değerleri incelendiğinde 22 tanesinin DSÖ sınırı 15 µg/m³'ü aştığı görülmüştür. Törekent istasyonu için Kasım'da (7 nokta), Aralık'ta (13 nokta), Ocak'ta (8 nokta) olmak üzere toplam 28 nokta

ÜKL'nin dışına çıkmıştır. Bu noktalara ilişkin $PM_{2.5}$ değerleri incelendiğinde 21 tanesinin DSÖ sınırı $15 \mu g/m^3$ 'ü aştığı görülmüştür. Yaşamkent istasyonu için Kasım'da (4 nokta), Aralık'ta (7 nokta), Ocak'ta (10 nokta), Şubat'ta (3 nokta) olmak üzere toplam 24 nokta ÜKL'nin dışına çıkmıştır. Bu noktalara ilişkin $PM_{2.5}$ değerleri incelendiğinde 19 tanesinin DSÖ sınırı $15 \mu g/m^3$ 'ü aştığı görülmüştür.

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada hava kalitesini izlemek için Ankara ilindeki 6 istasyondan elde edilen $PM_{2.5}$ ölçümlerinin günlük değerleri incelenmiştir. Çalışmamızın özgün yanı ilk defa Ankara ili için elde edilen $PM_{2.5}$ verilerinin kalite kontrol kartlarından EWMA kartları ile izlenmesidir. Saithanu ve Mekparıyup (2022) çalışmasında Tayland'ın günlük ulusal hava kalitesi standardından yüksek $PM_{2.5}$ değerlerinin çoğunlukla Aralık'tan Mart'a kadarki dönemde (kış aylarında) görülmüş olması, Nisan'dan Kasım'a kadarki dönemde (ilkbahar, yaz, sonbahar) Tayland sınırını aşmaması, $PM_{2.5}$ konsantrasyonları üzerinde mevsimsel bir etki olabileceğini düşündürmüştür. Saithanu (2023) da çalışmasında aynı şekilde $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının günlük maksimum değerinin Aralık, Ocak ve Şubat aylarında yüksek olduğunu, Nisan ve Mayıs aylarında kademeli olarak orta seviyeye düştüğünü ve son olarak Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında düşük seviyeye kaydığını bulmuştur. Çalışmamız sonucunda da Ankara'da özellikle 2025 yılı kış aylarında hava kirliliği seviyesinde artışlar olduğu, bazı günler $PM_{2.5}$ ölçümlerinin DSÖ eşik değerini aştığı görülmüştür. Genel olarak, Ankara için de Aralık, Ocak ve Şubat gibi kış aylarında hava kirliliğinin arttığını söyleyebiliriz. Bunun öngörülen makul nedenlerini sıralamak mümkündür. Kış aylarında konutlarda ve bazı işletmelerde kalitesiz kömür ve fosil yakıt kullanımı artmaktadır. Bu yakıtlar yüksek miktarda $PM_{2.5}$ parçacığı üretmektedir. Kışın soğuk hava yere çöker ve üstüne sıcak hava tabakası gelir. Bu da havayı adeta bir kapak gibi bastırır ve kirliliğin dağılmasını engeller. Sonuç olarak $PM_{2.5}$ birikir ve konsantrasyonu artar. Ayrıca kış aylarında Ankara'da bazen rüzgârsız ve durgun hava olduğundan temiz hava akımı olmadığı için kirleticiler ortamda birikir. Bir başka neden olarak soğuk havalarda araçlar çalıştırılırken daha fazla egzoz emisyonu salmalarındır.

İstasyonlardan Yaşamkent daha stabil ve düşük seviyelerde ölçümlerin görüldüğü bir istasyondur. Bunun sebebi yeni bir yerleşim yeri olmasından nüfusun çok kalabalık olmamasından kaynaklanmaktadır. Nüfusu son yıllarda artmaya başlamıştır. Ostim gibi sanayi bölgelerinde sanayi faaliyetlerinin yanı sıra, yoğun araç trafiği de olmaktadır. Sanayi bölgeleri ve trafiğin yoğun olduğu bölgeler riskin yüksek olduğu alanlardır. Özellikle dizel yakıt kullanan ağır vasıtalar ve servis araçları, egzoz emisyonlarıyla $PM_{2.5}$ seviyelerinin artmasına katkıda bulunmaktadır. Trafikten kaynaklı hava kirliliği, özellikle kış aylarında özellikle yüksek basınç sistemlerinin etkisiyle oluşan sıcaklık terselmesi (inversiyon) olayları

gibi meteorolojik olaylarla birleştiğinde, kirleticilerin atmosferde birikmesine neden olmaktadır. Ayrıca kışın Ankara'da sanayi alanları ısınma ve üretim faaliyetleri sebebiyle daha çok partikül madde üretmektedir. Bu nedenlerden ötürü Ostim ve Törekent gibi bölgeler de kış aylarında havadaki kirlilik seviyesi artış göstermiş olabilir.

Analizlerimiz EWMA kartının hava kirlilik seviyesindeki ani değişimleri yakalamak için iyi bir araç olduğunu göstermektedir. Bu kart süreçteki küçük kaymaları ve değişimleri iyi takip eden bir karttır. Böylelikle EWMA kartı ile $PM_{2.5}$ seviyesindeki ani değişimler izlenebilir ve gerekli önlemler alınabilir. Tüm istasyonlar için EWMA kartları partikül maddenin kış aylarında dalgalı bir seyir gösterdiğini ve ani yükselişleri/düşüşleri ortaya koymuştur. Mart ayında ilgili istasyonlar için havadaki partikül miktarındaki düşüş trendi de kartlardan izlenmiştir. Daha sonraki çalışmalarda bu kart kullanılarak belli periyotlarda $PM_{2.5}$ ya da hava kirliliğine sebep olan diğer kirleticiler izlenebilir, böylece yetkililer gerekli önlemleri ve müdahaleleri ve ilgili politikaları daha hızlı bir şekilde hayata geçirebilirler. İnsan sağlığını tehdit eden bu kirliliğe müdahale etmek için alınabilecek önlemler ve politikalar: örneğin; halkın kömür kullanımını azaltıp doğalgaz, elektrikli ısıtma gibi daha temiz enerji kaynaklarına geçişi teşvik edilebilir. Düşük kaliteli kömür kullanımına yasak veya sıkı kalite denetimleri getirilebilir. Binalarda enerji verimliliği artırılarak yakıt tüketimi azaltılabilir (örneğin, yalıtım teşvikleri vb). Toplu taşıma sistemleri (metro, otobüs) güçlendirilebilir ve cazip hale getirilebilir. Elektrikli araç kullanımı teşvik edilebilir, şarj istasyonları yaygınlaştırılabilir. Araç emisyon standartları sıkılaştırılabilir. Ostim gibi organize sanayi bölgelerinde filtre ve baca gazı arıtma sistemlerinin kullanımı zorunlu hale getirilebilir. Düzenli hava emisyon ölçümleri yapılarak limit aşımı yapan tesislere ceza uygulanabilir. Sanayi tesislerinde temiz üretim teknolojilerine geçiş desteklenebilir. Yerleşim yerlerinde ve sanayi bölgelerinde yeni ağaçlandırmalar ve yeşil koridorlar oluşturulabilir. Mevcut park ve yeşil alanların korunması sağlanabilir. Halka yönelik hava kirliliği, $PM_{2.5}$ tehlikeleri ve alınabilecek bireysel önlemler hakkında bilgilendirme kampanyaları yapılabilir. Dışarıda maske takmak gibi kişisel önlemler teşvik edilebilir, kuruluşlar tarafından üretilen $PM_{2.5}$ miktarını kısıtlayan hükümet politikaları uygulamaya konulabilir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.P.	B.C.	R.P.
K	50	20	30
T	50	25	25
Y	60	15	25
VTI	20	70	10
VAY	50	30	20
KT	50	20	30
YZ	50	20	30
KI	60	10	30
GR	60	15	25
PY	50	25	25

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Aydın H, İlkılıç C. 2017. Air pollution, pollutant emissions and harmful effects. *J Eng Technol*, 1(1): 8-15.
- Aydın ZB. 2024. Cusum, Ewma kontrol grafiklerinin karşılaştırılması: aydınlatma sektöründe bir uygulama. *İstatistik Araş Derg*, 14(1): 36-45.
- Dundar E, Dursun Ş, Toros H. 2020. Air pollution in Ankara during COVID-19. *J Res Atmos Sci*, 2(1): 24-30.
- Ege Ö. 2000. EWMA kontrol kartının Shewhart ve Cusum kontrol kartları ile karşılaştırılması- simulasyon denemesi. *DEÜ İİBF Derg*, 15(1): 125-132.
- Gerçekoğlu H. 2018. PM_{2.5} nedir? Neden tehlikelidir? URL: <https://drhakangercekoglu.com/genel/pm2-5-nedir-neden-tehlikelidir.html> (accessed date: April 25, 2025).
- Grantz DA, Garner JHB, Johnson DW. 2003. Ecological effects of particulate matter. *Environ Int*, 29: 213-239.
- Kontos C, Karlis D. 2023. Football analytics based on player tracking data using interpolation techniques for the prediction of missing coordinates. *Ital J Appl Stat*, 35(2): 1-19.
- Krittanawong C, Qadeer YK, Hayes RB, Wang Z, Thurston GD, Virani S, Lavie CJ. 2023. PM_{2.5} and cardiovascular diseases:

state-of-the-art review. *Int J Cardiol Cardiovasc Risk Prev*, 19: 200217.

- Lu H, Zhen J. 2015. EWMA control chart of NO_x atmospheric environmental monitoring system. In: Qi E, Shen J, Dou R (eds), *Proc 21st Int Conf Ind Eng Eng Manag* 2014. Atlantis Press, Paris, France, pp: 403-406.
- Mahmood Y, Ishtiaq S, Khoo MBC, Teh SY, Khan H. 2021. Monitoring of three-phase variations in the mortality of COVID-19 pandemic using control charts: where does Pakistan stand? *Int J Qual Health Care*, 33(2): 1-8.
- Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. 2020. Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Front Public Health*, 8(14): 1-13.
- Moritz S. 2022. Package imputeTS. URL: <http://cran.r-project.org/web/packages/imputeTS/imputeTS.pdf> (accessed date: April 25, 2025).
- Nan N, Yan Z, Zhang Y, Chen R, Qin G, Sang N. 2023. Overview of PM_{2.5} and health outcomes: focusing on components, sources, and pollutant mixture co-exposure. *Chemosphere*, 323: 138181.
- Polat E. 2024. Using quality control charts for monitoring COVID-19 daily cases and deaths in Türkiye. *Bitlis Eren Univ J Sci*, 13(1): 134-152.
- Roberts SW. 1959. Control chart tests based on geometric moving averages. *Technometrics*, 1(3): 239-250.
- Saithanu K, Mekpariyup J. 2022. Investigation of recent PM_{2.5} changes in Chonburi province using Ewma charts. *Poll Res*, 41(3): 884-888.
- Saithanu K. 2023. Determining current situation of fine particulate matter in Chachoengsao province. *Int J Innov Sci Res Rev*, 5(6): 4698-4701.
- Stineman RW. 1980. A consistently well behaved method of interpolation. *Creative Comput*, 6(7): 54-57.
- Utku A, Can Ü. 2024. An effective hybrid model for predicting air quality of Ankara. *Malatya Turgut Ozal Univ J Eng Nat Sci*, 5(1): 1-8.
- Ünal C, Özel G. 2023. Ankara ili meteoroloji parametrelerinin hava kirliliği üzerindeki etkilerinin regresyon analizi ile incelenmesi. *Nicel Bilim Derg*, 5(2): 135-150.
- Wan Mahiyuddin WR, Ismail R, Mohammad Sham N, Ahmad NI, Nik Hassan NMN. 2023. Cardiovascular and respiratory health effects of fine particulate matters (PM_{2.5}): a review on time series studies. *Atmosphere*, 14(5): 856.
- Waqas M, Xu SH, Anwar SM, Rasheed Z, Shabbir J. 2023. The optimal control chart selection for monitoring COVID-19 phases: a case study of daily deaths in the USA. *Int J Qual Health Care*, 35(3): 1-9.
- World Health Organization. 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf> (accessed date: April 25, 2025).
- Zuhara S, Isaifan R. 2018. The impact of criteria air pollutants on soil and water: a review. *J Environ Sci Pollut Res*, 4(2): 278-284.