

ŞÛRA AKADEMİ

KENT ARAŞTIRMALARI DERGİSİ

SAYI:9 | 2025 | ISSN: 2791-8424





ŞURA AKADEMİ

Kent Araştırmaları Dergisi

Uluslararası Süreli Yayın

ISSN: 2791-8424

Yıl: 2025 Sayı:9

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Adına İmtiyaz Sahibi

Doç. Dr. Tahir BÜYÜKAKIN

Genel Koordinatör

Dr. Hayri BARAÇLI

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Ayhan VAROL

Yönetici Editör

Doç. Dr. Ali YEŞİLDAL

Yayın Danışmanı

Dr. Kemal Taha HÜLAGÜ

Düzenleme ve Editör Kurulu

Hasan YILMAZ

Menekşe SÖZEN

Dr. Burcu CİNER

Sami TÜMÜÇ

Ömer Bora NAMLI

Dilara AKKAYA

Bilim ve Danışma Kurulu

Prof. Dr. Ayla Berkiten ERGİN, Kocaeli Üniversitesi	Prof. Dr. Nihat ERDOĞMUŞ, Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Bilsen BİLGİLİ, Kocaeli Üniversitesi	Prof. Dr. Oktay KOÇ, Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Prof. Dr. Elif KARAGÜN, Kocaeli Üniversitesi	Prof. Dr. İsmail ÖZBAY, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Elif ÖĞÜT, Kocaeli Üniversitesi	Prof. Dr. Rabia TERZİ, Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi
Prof. Dr. Elif Özlem AYDIN ORAL, Gebze Teknik Üniversitesi	Prof. Dr. Saadettin Haluk ÇİTÇİ, Gebze Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ercüment ÇİFTÇİ, Kocaeli Üniversitesi	Prof. Dr. Şeref DEMİRAYAK, Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi
Prof. Dr. Firdevs KARAHAN, Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi	Prof. Dr. Yılmaz BİNGÖL, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Prof. Dr. Haluk SELVİ, Sakarya Üniversitesi	Prof. Dr. Zeynep Gamze MERT, Gebze Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. İbrahim KILIÇASLAN, Kocaeli Üniversitesi	Doç. Dr. Tayfun SALİHOĞLU, Pamukkale Üniversitesi
Prof. Dr. Kerem KÜÇÜK, Kocaeli Üniversitesi	Dr. M. Cemil ARSLAN, Marmara Belediyeler Birliği Genel Sekreteri
Prof. Dr. Levent ATALI, Kocaeli Üniversitesi	Dr. Öğr. Üyesi Murat YILDIZ, Gebze Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Meral ELÇİ, Gebze Teknik Üniversitesi	Öğr. Gör. Ramazan AYBEY, Gebze Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Nevcihan DURU, Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi	

Şura Akademi uluslararası hakemli dergidir. 4 ayda bir yayınlanır. Ücretsizdir. Makalelerin hukuki ve bilimsel sorumluluğu yazarlarına aittir. Şura Akademi ve yazarın adı kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz. Dergiye gönderilen yazılar hakem onayından geçmiştir.

Kapak Tasarım

Enes Fehim OCAKLI

Tasarım

Graffiti

Adres

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Şura Kent Araştırmaları Merkezi, Kozluk Mahallesi, Mehmet Ali Kağıtçı Sokak, No: 71 İzmit / KOCAELİ

İletişim

+90 262 270 01 01 | bilgi@suraakademi.org.tr

Web

www.suraakademi.org.tr

Dergimiz, DergiPark üyesidir.

İçindekiler / Contents

005	Önsöz / Introduction Doç. Dr. Tahir BÜYÜKAKIN
007	Sunuş / Foreword Doç. Dr. Ali YEŞİLDAL
009	Ozon Konsantrasyonunun Marmara Bölgesi İstasyonlarındaki Hava Kirliliği ve Meteorolojik Ölçümler Kullanılarak Makine Öğrenmesi Modelleriyle Tahmini / <i>Prediction of Ozone Concentration Using Machine Learning Models Based on Air Pollutants and Meteorological Variables in the Marmara Region</i> Prof. Dr. Pinar ERGENEKON, Arş. Gör. Gizem ÇELİK, Şeymanur SÜLÜN, Serhat KEÇECİ
025	Samsun İli İlkadım İlçesi Kalkancı Bölgesinde Sürdürülebilir Atık Yönetiminin Ağ Analizi ile Değerlendirilmesi / <i>Evaluation of Sustainable Waste Management in the Kalkancı Region of İlkadım District, Samsun Province, with Network Analysis</i> Prof. Dr. Ayşe KULEYİN, Yasin ASLAN
035	Boyar Madde Gideriminde Çam Kozalaklarının Adsorban Olarak Kullanımının Araştırılması / <i>Investigation of the Use of Pine Cones as Adsorbents for Dye Removal in Wastewater Treatment</i> Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ, Sema DİDİNÇ, Petek Elif FİDAN, Selen Öksüz, Arş. Gör. Eda CEYLAN
045	Türkiye’de Hava Kalitesinin Korunmasına Yönelik Yasal Düzenlemeler / <i>Legal Regulations for the Protection of Air Quality in Turkey</i> Doç. Dr. Hayrettin ŞAHİN
055	Çevresel Sürdürülebilirlik Bağlamında Sağlık Yönetimi / <i>Health Management in the Context of Environmental Sustainability</i> Prof. Dr. Yeter USLU, Dr. Öğr. Üyesi Meryem DEMİRTAŞ
067	İklim Değişikliği Karşısında Sağlıklı ve Sürdürülebilir Şehirlerin Teşvik Edilmesinde Yerel Yönetimlerin Rolü: Kocaeli Örneği / <i>The Role of Local Governments in Promoting Healthy and Sustainable Cities in the Face of Climate Change: The Case of Kocaeli</i> Prof. Dr. Yeter USLU, Öğr. Gör. Dr. Ersin KOCAMAN



Hereke Sahili, Kocaeli

Önsöz / Introduction

ŞURA Akademi Kent Araştırmaları Dergisi'nin bu sayısı, günümüzün en kritik meselelerinden olan çevre kirliliği ve sürdürülebilirlik konularını derinlemesine inceleyen güçlü bilimsel çalışmalara ev sahipliği yapıyor. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin önceden gerçekleştirdiği çalıştaylara ek olarak, bu sayı ilgili birçok konuyu ele alarak bilimsel çözüm önerileri geliştirmeye zemin hazırlıyor. Derginin mevcut sayısında, alanında uzman isimler bir araya gelerek iklim değişikliği, çevresel sürdürülebilirlik, sürdürülebilir atık yönetimi, hava kirliliği ve sağlıklı ve sürdürülebilir şehirlerin teşvik edilmesi gibi başlıklar altında kapsamlı araştırmaları bir araya getirdi.

Son yıllarda iklim değişikliği, doğal kaynakların tükenmesi ve küresel ısınma gibi meseleler, insanlık için önemli bir kırılma noktası haline geldi. Teknolojik gelişmeler, artan çevresel duyarlılık ve baskı gruplarının etkisiyle çevre koruma ve sürdürülebilirlik konularında önemli bir ivme yakalandığı gözlemleniyor. Ancak bu çabaların artarak devam etmesi büyük önem taşıyor. Zira insan, içinde yaşadığı çevrenin niteliğiyle doğrudan ilişkili olarak kendi yaşam kalitesini belirler. Çevrenin bozulması, kaçınılmaz olarak insan yaşamının da niteliğini düşürmektedir. Bu nedenle, mevcut olanakları azaltmadan ve gelecek nesillerin yaşamlarını sürdürebilmelerini sağlamak adına çevrenin hassasiyetle ele alınması, korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması elzemdir.

ŞURA Akademi Dergisi insanlığın bu önemli meselelerinden biri olan çevre ve sorunlarını bu sayıdaki nitelikli bilimsel çalışmalarla ele almıştır. Bu anlamda ilgili taraflara yeni bir hareket alanı sağlamış ve bir anlamda öncülük etmiştir.

Bu anlayışla oluşturulan ŞURA Akademi Kent Araştırmaları Dergisi'nde sunulan tüm eserler, bilim insanları tarafından özenle üretilmiş, hakem değerlendirmelerinden geçmiş ve titiz bir süreç sonunda yayıma kabul edilmiştir. Çevre sorunları kapsamında hacimli ve nitelikli bir eser olarak ortaya çıkan bu dergi, önemli bir fonksiyon üstlenerek bilgiye dayalı çözümlerin üretilmesine katkıda bulunacaktır.

ŞURA Kent Araştırmaları Dergisi'nin başta milletimiz olmak üzere tüm ilgililere yararlı olmasını dileriz.

This issue of ŞURA Akademi hosts powerful scientific studies that delve into environmental pollution and sustainability, which are among the most critical issues of our time. In addition to previous workshops conducted by Kocaeli Metropolitan Municipality, this issue addresses many related topics, paving the way for the development of scientific solution proposals. In the current issue of the journal, experts in the field have come together to compile comprehensive research under headings such as climate change, environmental sustainability, sustainable waste management, air pollution, and the promotion of healthy and sustainable cities.

In recent years, issues such as climate change, the depletion of natural resources, and global warming have become a significant turning point for humanity. With technological advancements, increasing environmental sensitivity, and the influence of pressure groups, a significant momentum has been gained in environmental protection and sustainability. However, it is of great importance that these efforts continue to increase, as humans directly determine their quality of life in relation to the quality of the environment they live in. The deterioration of the environment inevitably lowers the quality of human life. Therefore, it is essential to address, protect, and ensure the sustainability of the environment with sensitivity, without diminishing current resources and to enable future generations to sustain their lives.

ŞURA Akademi has addressed environmental issues, one of humanity's significant challenges, with the qualified scientific studies in this issue. In this sense, it has provided a new scope of action for relevant parties and, in a way, has taken the lead.

All works presented in the ŞURA Akademi, created with this understanding, have been carefully produced by scientists, have undergone peer reviews, and have been accepted for publication after a meticulous process. This journal, emerging as a voluminous and qualified work within the scope of environmental problems, will assume an important function and contribute to the production of knowledge-based solutions.

We hope that the ŞURA Akademi will be beneficial to all stakeholders, especially our nation.

Doç. Dr. Tahir BÜYÜKAKIN

Kocaeli Büyükşehir Belediye Başkanı
Mayor of Kocaeli Metropolitan Municipality

Sunuş / Foreword

Bu sayımızda, günümüzün en kritik konularından çevre ve sürdürülebilirlik üzerine odaklanan altı değerli bilimsel makaleyi sizlere sunmaktan mutluluk duyuyoruz. İklim değişikliğinin etkilerinin her geçen gün daha somut hissedildiği, doğal kaynakların korunması ve hava kalitesinin iyileştirilmesinin hayati önem taşıdığı bir dönemde, bu çalışmaların bilim dünyasına ve kamuoyuna önemli katkılar sağlayacağına inanıyoruz.

“Ozon Konsantrasyonunun Marmara Bölgesi İstasyonlarındaki Hava Kirliliği ve Meteorolojik Ölçümler Kullanılarak Makine Öğrenmesi Modelleriyle Tahmini” başlıklı çalışmada Prof. Dr. Pınar ERGENEKON, Arş. Gör. Gizem ÇELİK, Şeymanur SÜLÜN ve Serhat KEÇECİ, makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak hava kalitesi tahmininde yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışma, özellikle Marmara Bölgesi gibi yoğun nüfuslu ve sanayileşmiş bir bölgede ozon kirliliğinin anlaşılması ve yönetilmesi için kritik veriler sağlamaktadır.

Prof. Dr. Ayşe KULEYİN ve Yasin ASLAN’ın “Samsun İli İlkadım İlçesi Kalkancı Bölgesinde Sürdürülebilir Atık Yönetiminin Ağ Analizi ile Değerlendirilmesi” makalesi, atık yönetimi sistemlerinin karmaşık yapısını ağ analizi yöntemiyle çözümleyerek sürdürülebilirliğe yönelik önemli bir perspektif sunmaktadır. Bu tür çalışmalar, atık yönetiminde daha etkin ve entegre çözümlerin geliştirilmesi için yol göstericidir.

Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ, Sema DİDİNÇ, Petek Elif FİDAN, Selen ÖKSÜZ ve Arş. Gör. Eda CEYLAN tarafından kaleme alınan “Boyar Madde Gideriminde Çam Kozalaklarının Adsorban Olarak Kullanımının Araştırılması” adlı araştırma, doğal ve uygun maliyetli materyallerin atık su arıtımındaki potansiyeli ni gözler önüne sermektedir. Bu çalışma, çevresel sürdürülebilirlik

ilkeleriyle uyumlu, pratik ve yenilikçi çözümlere bir örnektir.

Doç. Dr. Hayrettin ŞAHİN’in “Türkiye’de Hava Kalitesinin Korunmasına Yönelik Yasal Düzenlemeler” başlıklı analizi, ülkemizdeki mevcut yasal çerçeveyi değerlendirerek hava kirliliğiyle mücadelede hukuki zeminin önemine dikkat çekmektedir. Bu tür değerlendirmeler, politika yapıcılar için değerli bir kaynak niteliğindedir.

Prof. Dr. Yeter USLU ve Dr. Öğr. Üyesi Meryem DEMİRTAŞ’ın “Çevresel Sürdürülebilirlik Bağlamında Sağlık Yönetimi” adlı makalesi, sağlık ve çevre arasındaki güçlü ilişkiyi vurgulayarak sürdürülebilir bir gelecek için entegre yönetim yaklaşımlarının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Son olarak, Prof. Dr. Yeter USLU ve Öğr. Gör. Dr. Ersin KOCAMAN’ın “İklim Değişikliği Karşısında Sağlıklı ve Sürdürülebilir Şehirlerin Teşvik Edilmesinde Yerel Yönetimlerin Rolü: Kocaeli Örneği” başlıklı çalışması, yerel yönetimlerin iklim değişikliğiyle mücadelede ve sürdürülebilir şehirlerin inşasındaki kritik rolünü Kocaeli örneği üzerinden somutlaştırmaktadır.

Bu sayıda yer alan her bir makale, kendi alanında derinlemesine bir bakış açısı sunarken, aynı zamanda çevre sorunlarına disiplinlerarası çözümler üretmenin önemini de vurgulamaktadır. Bilimsel bilgi birikiminin artırılması ve bu bilgilerin topluma aktarılması adına ŞURA Akademi Kent Araştırmaları dergimiz, bu değerli araştırmalara ev sahipliği yapmaktan gurur duymaktadır.

Umarız bu sayımız, hem araştırmacılar hem de çevre ve sürdürülebilirlik konularına ilgi duyan tüm okuyucularımız için ilham verici ve faydalı bir kaynak olur.

We are delighted to present six valuable scientific articles focusing on environment and sustainability, some of the most critical issues of our time, in this issue. In an era where the effects of climate change are felt more concretely every day, and the conservation of natural resources and improvement of air quality are of vital importance, we believe these studies will make significant contributions to the scientific community and the public.

In the study titled “Estimation of Ozone Concentration at Marmara Region Stations Using Machine Learning Models with Air Pollution and Meteorological Measurements,” Prof. Dr. Pınar ERGENEKON, Research Assistant Gizem ÇELİK, Şeymanur SÜLÜN, and Serhat KEÇECİ offer an innovative approach to air quality prediction using machine learning techniques. This work provides critical data for understanding and managing ozone pollution, especially in a densely populated and industrialized region like the Marmara Region.

The article “Evaluation of Sustainable Waste Management in the Kalkanci Region of İlkadim District, Samsun Province, with Network Analysis” by Prof. Dr. Ayşe KULEYİN and Yasin ASLAN presents an important perspective on sustainability by analyzing the complex structure of waste management systems using the network analysis method. Such studies are guiding for developing more effective and integrated solutions in waste management.

The research “Investigation of the Use of Pine Cones as Adsorbent in Dye Removal,” authored by Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ, Sema DİDİNÇ, Petek Elif FİDAN, Selen ÖKSÜZ and Research Assistant Eda CEYLAN highlights the potential of natural and cost-effective materials in wastewater treatment. This study exemplifies practical and innovative solutions that align with

environmental sustainability principles.

Associate Professor Dr. Hayrettin ŞAHİN’s analysis titled “Legal Regulations for Air Quality Protection in Turkey” evaluates the existing legal framework in our country and draws attention to the importance of the legal basis in combating air pollution. Such evaluations serve as a valuable resource for policymakers.

The article “Health Management in the Context of Environmental Sustainability” by Prof. Dr. Yeter USLU and Assistant Professor Dr. Meryem DEMİRTAŞ emphasizes the strong relationship between health and the environment, revealing the necessity of integrated management approaches for a sustainable future.

Finally, the study “The Role of Local Governments in Promoting Healthy and Sustainable Cities in the Face of Climate Change: The Kocaeli Example” by Lecturer Prof. Dr. Yeter USLU and Dr. Ersin KOCAMAN concretizes the critical role of local governments in combating climate change and building sustainable cities, using Kocaeli as an example.

Each article in this issue offers an in-depth perspective in its field while also emphasizing the importance of producing interdisciplinary solutions to environmental problems. Our journal, ŞURA Akademi Urban Studies, is proud to host these valuable research papers to increase scientific knowledge and disseminate this information to society.

We hope this issue serves as an inspiring and beneficial resource for both researchers and all our readers interested in environmental and sustainability issues.

Doç. Dr. Ali YEŞİLDAL

Editör / Editor

Ozon Konsantrasyonunun Marmara Bölgesi İstasyonlarındaki Hava Kirliliği ve Meteorolojik Ölçümler Kullanılarak Makine Öğrenmesi Modelleriyle Tahmini

Prediction of Ozone Concentration Using Machine Learning Models Based on Air Pollutants and Meteorological Variables in the Marmara Region

Prof. Dr. Pınar ERGENEKON

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
p.kus@gtu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-0555-5932

Arş. Gör. Gizem ÇELİK

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
g.yaran@gtu.edu.tr
ORCID: 0000-0003-4069-0846

Şeymanur SÜLÜN

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
seymanur-00@hotmail.com

Serhat KEÇECİ

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
serhat.kececi@hotmail.com

Makale Türü:

İNCELEME

Gönderilme Tarihi:

30 Nisan 2025

Kabul Tarihi:

16 Mayıs 2025

Öz

Ozon (O_3), çevresel ve sağlık açısından kritik öneme sahip bir kirlenici olup, bazı hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçümü yapılmamakta ya da ölçüm verileri eksik olabilmektedir. Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'ndeki seçili hava kalitesi izleme istasyonlarındaki ozon konsantrasyonlarının makine öğrenmesi yöntemleriyle tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Marmara Bölgesinde İstanbul, Sakarya ve Edirne illerinde bulunan seçili üç istasyon için beş yıllık diğer hava kalitesi parametreleri ve meteorolojik veriler elde edilerek, kullanıma hazır hale getirilmiştir. Ardından, ozon konsantrasyonları farklı makine öğrenmesi tabanlı regresyon modelleri kullanılarak tahmin edilmiş ve model performansları karşılaştırılmıştır. En başarılı sonuçlar Random Forest ($R^2=0.70-0.78$) ve DART ($R^2=0.69-0.77$) algoritmaları ile elde edilmiştir. Modellerin değerlendirilmesinde sıcaklık, nem gibi meteorolojik verilerin yanı sıra, azot oksit bileşiklerinin (NO , NO_2 , NOX) en önemli model değişkenleri olduğu görülmüştür. Çalışma, ozon ölçümü yapılmayan veya eksik veri içeren bölgelerde, makine öğrenmesi yöntemleri ile güvenilir tahmin yapılabileceğini göstermektedir. Trafik verilerinin de modele entegre edilmesiyle daha iyi tahmin etme modelleri oluşturularak, hava kalitesi yönetiminde maliyetleri azaltma ve karar destek sistemi olarak kullanılabilecek önemli bir potansiyel sunması öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ozon Tahmini, Hava Kalitesi, Makine Öğrenmesi, Regresyon Modeli, Marmara Bölgesi.

Abstract

Ozone (O_3) is a pollutant of critical importance for both environmental and health concerns; however, it is not measured at some air quality monitoring stations, or measurement data may be incomplete. In this study, the aim is to predict ozone concentrations at selected air quality monitoring stations in the Marmara Region using machine learning methods. For this purpose, five years of other air quality parameters and meteorological data were collected and prepared for use for three selected stations located in Istanbul, Sakarya, and Edirne provinces within the Marmara Region. Subsequently, ozone concentrations were predicted using different machine learning-based regression models, and the model performances were compared. The best results were obtained with the Random Forest ($R^2 = 0.70-0.78$) and DART ($R^2 = 0.69-0.77$) algorithms. It was observed that, in addition to meteorological variables such as temperature and humidity, nitrogen oxide compounds (NO , NO_2 or NOX) were the most important variables in the models. This study demonstrates that reliable predictions can be made in areas where ozone measurements are unavailable or incomplete by using machine learning methods. It is anticipated that integrating traffic data into the models could lead to the development of even more accurate prediction models, offering significant potential for reducing costs in air quality management and serving as a decision support system.

Keywords: Ozone Prediction, Air Quality, Machine Learning, Regression Model, Marmara Region.

1.Giriş

Hava kalitesi, toplum sağlığı ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir. Yer seviyesi ozon (O_3), troposferde fotokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ve hem insan sağlığı hem de ekosistemler üzerinde önemli olumsuz etkilere yol açan bir ikincil kirleticidir. Azot oksitler (NOX) ve uçucu organik bileşiklerin (VOC) güneş ışığı altında gerçekleştirdiği reaksiyonlarla oluşan ozon, solunum yolu hastalıklarından tarımsal verim kayıplarına, iklim değişikliği etkilerinden malzeme aşınmasına kadar geniş bir yelpazede zararlı sonuçlar doğurabilmektedir (Jiménez-Navarro, Martínez-Ballesteros, Martínez-Álvarez, & Asencio-Cortés, 2024). Özellikle şehir merkezlerinde, trafik kaynaklı emisyonların yoğunluğu ve artan güneşlenme süresi, ozon oluşum süreçlerini daha da hızlandırmaktadır (Cao, Zhao, Su, Cheng, & Ren, 2023; Jiménez-Navarro vd., 2024). Günümüzde şehirleşmenin ve sanayileşmenin hızla artması, özellikle yoğun trafik, enerji üretimi ve sanayi faaliyetleri sonucu atmosfere salınan öncül gazların artmasına sebep olmuş; bu da yer seviyesi ozon problemini daha karmaşık ve yönetilmesi güç bir hale getirmiştir (Cao vd., 2023). Meteorolojik faktörler, özellikle sıcaklık, güneşlenme süresi, rüzgar hızı ve bağıl nem, ozon oluşumu üzerinde doğrudan belirleyici rol oynamaktadır. Yüksek sıcaklıklar ve durağan hava koşulları, ozon birikimini artıran başlıca faktörler arasında yer almaktadır (Du, Qiao, Lu, & Yu, 2022). Nitekim yapılan çalışmalar, düşük rüzgar hızları ve yüksek güneş radyasyonu varlığında ozon seviyelerinin kritik eşikleri aşabildiğini göstermektedir (Cao vd., 2023).

Ozon konsantrasyonlarının tahmin edilmesi, erken uyarı sistemleri kurulması, halk sağlığının korunması ve etkili hava kalitesi yönetim politikalarının geliştirilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Ancak, ozon oluşum süreçleri oldukça karmaşık olup, öncül gazların konsantrasyonları ile meteorolojik değişkenler arasındaki ilişkiler doğrusal olmayan, dinamik ve çok değişkenli yapıdadır (Cheng vd., 2023). Bu karmaşık yapıyı doğru şekilde modelleyebilmek, geleneksel istatistiksel yöntemlerle sınırlı kalmaktadır. Özellikle doğrusal regresyon temelli modeller, ozon oluşumunun ardındaki karmaşık neden-sonuç ilişkilerini tam olarak açıklamada yetersiz kalmaktadır (Du vd., 2022; Wu, He, Song, & Peng, 2022). Bu nedenle son yıllarda makine öğrenmesi (ML) teknikleri, hava kalitesi tahmin çalışmalarında güçlü bir alternatif olarak öne çıkmıştır. Makine öğrenmesi algoritmaları, büyük ve çok boyutlu veri setleri üzerinde karmaşık, doğrusal olmayan ilişkileri öğrenebilme ve yüksek doğrulukta tahminler üretebilme yetenekleri sayesinde hava kirleticilerin dinamiklerini modellemek için sıklıkla tercih edilmektedir (Hosseinpour, Kumar, Tran, & Knipping, 2024). Özellikle Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost gibi ağaç tabanlı regresyon algoritmaları, hem modelleme doğruluğu hem de değişken etkilerinin yorumlanabilirliği açısından başarılı sonuçlar vermektedir (Cheng vd., 2023; Du vd., 2022). Bu algoritmalar, farklı meteorolojik ve hava kirliliği verilerinin birlikte işlendiği çalışmalarda, klasik yöntemlere kıyasla belirgin doğruluk avantajı sunmaktadır (Cheng vd., 2023; Lyu vd., 2022).

Son dönemde yapılan çalışmalar, yalnızca ozon konsantrasyonlarının kısa vadeli tahminini değil, aynı zamanda hangi meteorolojik ve kirleticiler değişkenlerin ozon oluşumuna en çok katkı sağladığının da belirlenebildiğini göstermektedir. Örneğin, Cheng vd. (2023), PMF-SHAP yöntemini kullanarak farklı VOC kaynaklarının ozon üretimi üzerindeki etkilerini makine öğrenmesi ile ayrıntılı biçimde modellemişlerdir (Cheng vd., 2023). Benzer şekilde, Jiménez-Navarro vd. (2024) zaman serisi verilerinde öznitelik seçimi yaparak, derin öğrenme tabanlı modellerin hem performansını hem de yorumlanabilirliğini artırmışlardır (Jiménez-Navarro vd., 2024). Hong vd. (2023), saatlik ozon tahmininde periyodik davranışları tanımlamak için çok dereceli farklılık içeren MDE-LSTM modelini geliştirerek, kısa dönemli ozon dalgalanmalarının daha iyi öngörülebileceğini göstermiştir (Hong, Ji, Rao, Chen, & Sun, 2023). Du vd. (2022), Houston bölgesinde gerçekleştirdikleri çalışmada, trafik verileri ve meteorolojik değişkenler kullanarak makine öğrenmesi algoritmalarıyla yıllık ölçekli saatlik ozon tahmini yapmış ve XGBoost algoritmasının en yüksek doğruluğu sağladığını rapor etmiştir (Du vd., 2022). Ahmad vd. (2022), Meksika Şehri'nde meteorolojik değişkenleri kullanarak makine öğrenmesi modelleriyle başarılı ozon tahminleri gerçekleştirmiş ve özellikle sıcaklık, nem ve rüzgar hızının tahmin başarısında belirleyici rol oynadığını ortaya koymuştur (Ahmad, Rappenglück, Osibanjo, & Retama, 2022). Cheng vd. (2023) ise PMF-SHAP metodunu geliştirerek, VOC emisyon

kaynaklarının ozon oluşumu üzerindeki etkilerini hem açıklayıcı hem de nicel şekilde analiz etmiş, makine öğrenmesi algoritmalarını geleneksel faktör analiz yöntemleriyle entegre ederek önemli bir metodolojik yenilik sunmuşlardır (Cheng vd., 2023). Lyu vd. (2022) tarafından yürütülen bir başka çalışmada, Çin'in Beijing-Tianjin-Hebei bölgesinde Random Forest ve Karar Ağacı modelleri kullanılarak ozonun mekânsal ve zamansal dağılımı başarıyla tahmin edilmiştir. Çalışmada sıcaklık ve güneş radyasyonu gibi meteorolojik değişkenlerin ozon oluşumu üzerindeki etkisi net bir şekilde ortaya konmuştur (Lyu vd., 2022). Benzer şekilde Kuo ve Fu (2023), makine öğrenmesi ile model-measurement fusion (MMF) yaklaşımlarını entegre ederek, emisyonların ozon üzerindeki etkilerini daha doğru modellemiş ve geleneksel CMAQ modellerine kıyasla üstün performans elde etmişlerdir (Kuo & Fu, 2023). Mu vd. (2023), Çin'in Jiangsu Eyaleti için R-ConvLSTM tabanlı bir model geliştirerek, zaman serisi verilerinde uzamsal ve zamansal değişkenliklerin daha doğru tahmin edilebileceğini göstermiştir (Mu, Wang, Jiang, & Wu, 2023). Ozon tahmininde sadece tahmin doğruluğu değil, model açıklanabilirliği de önemli bir araştırma konusu olmuştur. Jiménez-Navarro vd. (2024), Zaman Seçim Katmanı (Time Selection Layer) entegre edilmiş derin öğrenme modelleri kullanarak hem model performansını artırmış hem de tahmin edilen ozon seviyelerine en fazla katkı sağlayan değişkenleri daha şeffaf bir şekilde belirlemişlerdir. Bu yaklaşımlar, hava kalitesi tahmininde sadece “ne” olduğunu değil, aynı zamanda “neden” olduğunu açıklamak açısından da kritik önem taşımaktadır (Jiménez-Navarro vd., 2024). Öte yandan, meteorolojik koşulların ozon oluşumu üzerindeki etkisi de birçok çalışmada vurgulanmıştır. Cao vd. (2023), Çin'in Sichuan bölgesinde meteorolojik parametreleri kullanarak ozon kirliliği seviyelerini sınıflandıran bir BP sinir ağı modeli geliştirmiş ve sıcaklık, nem, sınır tabaka yüksekliği gibi değişkenlerin ozon seviyeleri üzerindeki etkisini başarıyla analiz etmiştir (Cao vd., 2023). Yafouz vd. (2021), farklı derin öğrenme ve makine öğrenmesi algoritmalarını ozon tahmininde karşılaştırmış ve hibrit CNN-LSTM modellerinin standalone modellere göre daha yüksek başarı sağladığını raporlamıştır (Yafouz vd., 2021). Ayus vd. (2023), Çin'deki büyük şehirlerde hava kalitesi tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarını derin öğrenme modelleriyle karşılaştırmış ve XGBoost'un birçok derin öğrenme mimarisinden daha yüksek performans gösterdiğini bulmuştur (Ayus, Natarajan, & Gupta, 2023).

Tüm bu çalışmalar, makine öğrenmesi yöntemlerinin ozon konsantrasyonu tahmininde geleneksel modellere göre daha yüksek doğruluk, esneklik ve yorumlanabilirlik sağladığını göstermektedir. Ancak özellikle bölgesel ölçekli, çok değişkenli veri setleri kullanılarak yapılan ve eksik ölçüm verilerinin bulunduğu alanlarda uygulanan modeller hâlâ sınırlıdır.

Marmara Bölgesi, yoğun sanayileşme, yüksek trafik yoğunluğu ve artan nüfus gibi faktörlerin etkisiyle ciddi hava kalitesi sorunları yaşayan bir bölgedir. Bölgede yer seviyesi ozon konsantrasyonlarının izlenmesi ve tahmin edilmesi, hem kamu sağlığı önlemleri hem de bölgesel çevre yönetimi açısından kritik öneme sahiptir. Ancak bazı izleme istasyonlarında ozon ölçümleri ya hiç yapılmamakta ya da eksik ve düzensiz veri sorunları yaşanmaktadır. Bu nedenle, makine öğrenmesi tabanlı tahmin modelleri, ölçüm altyapısının yetersiz olduğu alanlarda önemli bir çözüm sunmaktadır.

Bu çalışma, Marmara Bölgesi'ndeki seçili hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen ozon konsantrasyonu ve meteorolojik değişkenleri kullanarak makine öğrenmesi modelleri ile tahmin modeli geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada ayrıca PM₁₀, PM_{2.5}, NO, NO₂, SO₂ ve CO gibi diğer hava kirleticiler de modele entegre edilmiştir. Kullanılan modeller arasında Random Forest, Gradient Boosting ve DART gibi yöntemler yer almakta olup, performans değerlendirmeleri regresyon doğruluk metrikleri (R², RMSE, MAE) ile yapılmıştır. Çalışmanın özgün yönü, çok değişkenli veri yapısıyla yüksek doğrulukta tahminler gerçekleştirilmesi ve eksik ölçüm altyapısına sahip alanlarda kullanılabilir modellere katkı sağlanmasıdır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı ve Veri Kaynakları

Proje kapsamında, İstanbul-Başakşehir, Edirne-Karaağaç ve Sakarya-Ozanlar olmak üzere 3 hava kalitesi izleme istasyonu seçilmiştir. Bu istasyonlara ait 5 yıllık veriler, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı

Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) üzerinden temin edilmiştir.

Meteorolojik veriler (sıcaklık, rüzgar yönü, rüzgar hızı, nem ve yağış) Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Seçilen 3 hava kalitesi izleme istasyonuna en yakın meteoroloji istasyonları, bu istasyonların kodları ve harita üzerindeki konumları Şekil 1 ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Hava Kalitesi İzleme İstasyonları ve Meteoroloji İstasyonları.

Hava kalitesi izleme istasyonu	Meteoroloji istasyonu
İstanbul- Başakşehir	İstanbul- Eyüpsultan (18101)
Edirne- Karaağaç	Edirne (17050)
Sakarya- Ozanlar	Sakarya (17069)



Şekil 1. Meteoroloji ve Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Arasındaki Mesafe ve Bunların Harita Üzerindeki Gösterimi.

2.2. Veri Hazırlama ve Ön İşleme

Ham veriler, açık kaynaklı R programlama dili ile analiz edilmiştir. Bu amaçla readxl, openair, lubridate, foqat, padr ve writexl gibi paketlerden yararlanılmıştır.

Veri ön işleme sürecinde izlenen adımlar şu şekildedir:

- Negatif değerler, sıfırlar ve ± 3 standart sapmanın dışında kalan anomaliler filtrelenmiştir.
- Hava kalitesi verilerinde saat veya günlük zaman atlamalarının olduğu görüldüğünden, eksik zamanlar yılın tüm günleri ve saatlerini kapsayacak şekilde düzenlenmiştir.
- Ölçülen parametrelerdeki ardışık olmayan eksik değerler, önceki ve sonraki saatlerin ortalamaları alınarak

tahmin edilmiştir.

- Hava kalitesi ve meteorolojik veriler, istasyon adı, numarası ve tarih bilgileriyle eşleştirilerek tek bir veri setine entegre edilmiştir.

2.3. Zaman Serisi Analizi ve Görselleştirme

- İşlenmiş veriler üzerinden zamana bağlı ozon konsantrasyonu değişimleri analiz edilmiştir. Bu kapsamda:
- `summaryPlot()` fonksiyonu ile genel dağılımlar,
- `timeVariation()` fonksiyonu ile saatlik, haftalık ve mevsimsel değişimler görselleştirilmiştir.
- Bu analizler, istasyon seçiminde ve modelleme öncesi değişken davranışlarının anlaşılmasında önemli rol oynamıştır.

2.4. Makine Öğrenmesi Yaklaşımı

Bu çalışmada, seçilen istasyonların hava kalitesi parametreleri (PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO , NO_2 , SO_2 , CO) ile meteorolojik parametreler (sıcaklık, rüzgar hızı, rüzgar yönü, yağış, nem, basınç) kullanılarak ozon (O_3) konsantrasyonunu tahmin eden bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Model, “siyah kutu” (black-box) özellikli bir öğrenen makine yapısı olup, verilerdeki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri öğrenerek yüksek doğrulukla tahminler üretmektedir.

Oluşturulan modelde makine öğrenmesine dayalı regresyon algoritmaları, yapay sinir ağı prensipleriyle birlikte kullanılmış; böylece verilerden örüntüler çıkarılarak eksik veya ölçülmeyen ozon değerlerinin tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Bu yöntem, geleneksel ölçüm cihazlarının bulunmadığı alanlarda ozon konsantrasyonu tahmini yaparak sürdürülebilir ve düşük maliyetli hava kalitesi izleme çözümleri sunmayı amaçlamaktadır. Modelleme süreci Python programlama dili ve Google Colab platformunda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan temel modeller:

- Decision Tree Regressor
- K-Nearest Neighbors (KNN) Regressor
- Random Forest Regressor
- Gradient Boosting Regressor
- DART (Dropouts meet Multiple Additive Regression Trees)’dir.

Bu modeller, scikit-learn ve xgboost kütüphaneleri kullanılarak geliştirilmiştir. Eğitim ve test verileri %80-%20 oranında ayrılmıştır.

2.5. Model Değerlendirme Metrikleri

Her modelin performansı aşağıdaki metriklerle değerlendirilmiştir:

- R^2 (Belirleme Katsayısı)
- RMSE (Kök Ortalama Kare Hata)
- MAE (Ortalama Mutlak Hata)
- MSE (Ortalama Kare Hata)

Bu metrikler, modelin doğruluk seviyesini, aşırı uyum riskini ve genel genelleme yeteneğini ölçmek için kullanılmıştır.

2.6. Özellik Önemi Analizi

Modellerin, özellikle Random Forest Regressor’ın tahminlerde hangi değişkenlere ne düzeyde ağırlık verdiği `feature_importances_` parametresi ile belirlenmiştir. Bu analiz, ozon konsantrasyonu üzerinde etkili olan başlıca

faktörlerin (NO , NO_2 , sıcaklık, nem vb.) belirlenmesine yardımcı olmuştur.

2.7. Model Transferi ve Genelleme Testi

Oluşturulan modeller, farklı istasyon verileri üzerinde test edilerek genellenebilirlikleri değerlendirilmiştir. Böylece bir bölgede eğitilen modelin başka bir istasyona uygulanabilirliği incelenmiş ve modelin pratik kullanımı test edilmiştir.

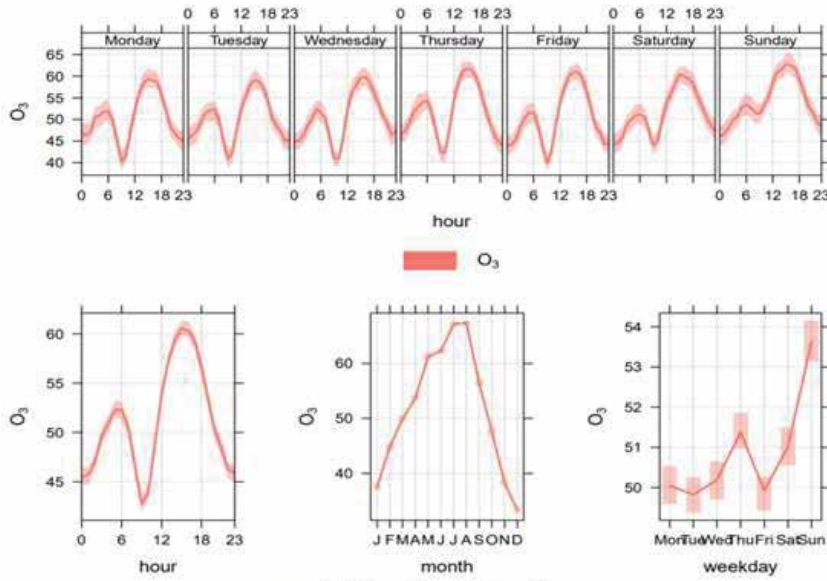
3. Uygulama

Bu çalışmada, ozon konsantrasyonunun zamansal dağılımını incelemek amacıyla Marmara Bölgesi’nden üç hava kalitesi izleme istasyonu seçilmiştir: İstanbul-Başakşehir, Edirne-Karaağaç ve Sakarya-Ozanlar. İstasyon seçiminde iki temel kriter gözetilmiştir: (i) yüksek veri yoğunluğuna sahip olmaları ve (ii) yakın çevrelerinde sıcaklık, nem, rüzgar yönü ve hızı, basınç ve yağış gibi meteorolojik değişkenlerin düzenli olarak ölçüldüğü meteoroloji istasyonlarının bulunması.

Seçilen istasyonlara ait ozon verileri R Studio ortamında openAir paketindeki “summaryPlot” ve “timeVariation” fonksiyonları (Carslaw and Ropkins, 2012) kullanılarak analiz edilmiştir.

3.1. İstasyon Bazlı Ozon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

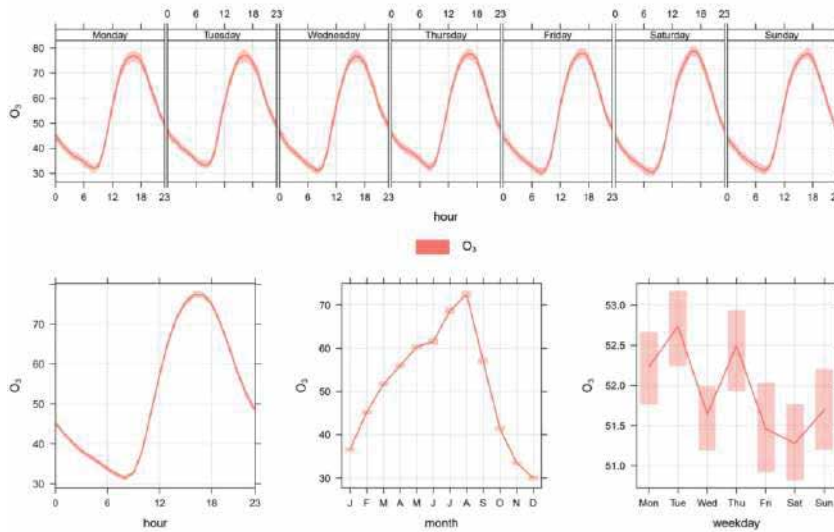
İstanbul-Başakşehir İstasyonu (Şekil 2): Gün içinde ozon konsantrasyonları beklenildiği gibi öğleden sonra 15:00 gibi en yüksek konsantrasyona ulaşmaktadır. İlginç bir şekilde bu istasyonda, ozon seviyesinin sabah 06:00 civarında, öğleden sonra pikinden küçük olmakla beraber bir sabah piki yaptığı gözlemlenmiştir. Birçok çalışmada gece görülen ozon konsantrasyonlarındaki artışın yatay doğrultudaki taşınım, dikey karışma ve taşınım, lokal sirkülasyon gibi fiziksel nedenlere bağlı olduğu belirtilmiştir (An vd., 2024). Çin’de Lanzhou şehrinde 09:00-12:00 arasında bir sabah pikinden bahsedilen çalışmada, pikin ortamdaki petrokimya endüstrisinden kaynaklanan emisyonlardaki farklı VOClerin bulunması ile ilgili olabileceği belirtilmiştir (Guo vd., 2022). Başakşehir’de görülen bu pik için ortamdaki VOC bileşenler ve fiziksel taşınım etkilerinin belirlenerek pikin oluşum mekanizması aydınlatılabilir. Aylık bazda, ozon oluşumunda önemli faktörlerden sıcaklık ve dünyaya ulaşan ışımanın artması ile ozon konsantrasyonları yaz aylarında, özellikle Temmuz ve Ağustos’ta en yüksek değerlere ulaşmıştır. Hafta günleri bazında değişime bakıldığında en yüksek ozon konsantrasyonları Pazar günleri görülmektedir.



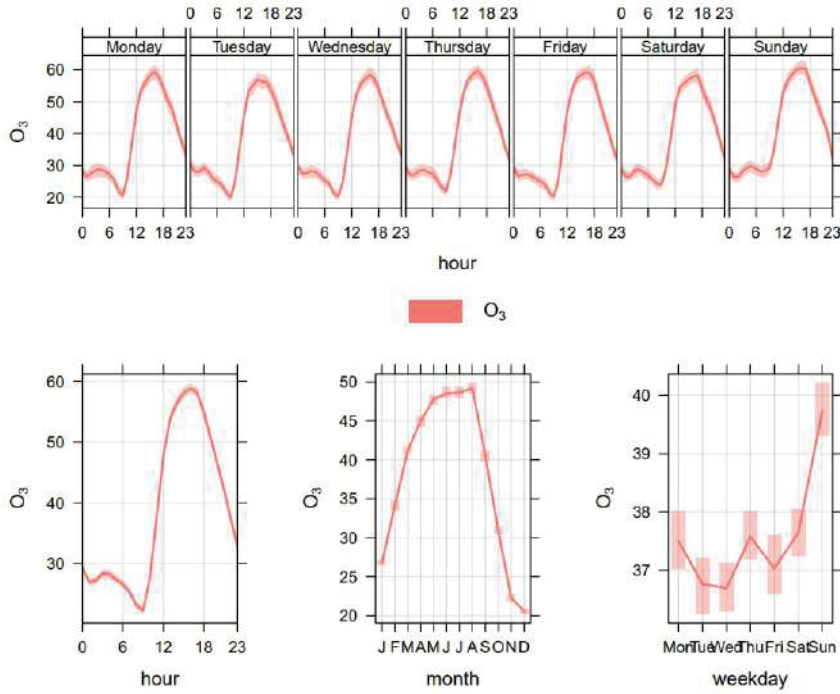
Şekil 2. İstanbul-Başakşehir İstasyonu için Gün, Saat, Ay Bazında Summaryplot ile Çizilmiş Ortalama Ozon Konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Açık renk gölgeler %95 güven aralığını göstermektedir.

Edirne-Karaağaç (Şekil 3) ve Sakarya-Ozanlar (Şekil 4) İstasyonları: Bu iki istasyonda ise klasik belirgin bir öğleden sonra piki gözlenmiştir. Öğleden sonraki ozon pik konsantrasyonu Edirne-Karaağaç'ta $70\text{--}80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, Sakarya-Ozanlar'da ise $50\text{--}60\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında seyretmiştir. Aylık bazda bu iki istasyon için en yüksek değerlerin Ağustos ayında kaydedildiği görülmüştür. Sakarya-Ozanlar istasyonunda İstanbul-Başakşehir istasyonu gibi en yüksek ozon konsantrasyonu belirgin bir şekilde Pazar günleri

görülmürken, Edirne-Karaağaç istasyonunda hafta içi günlerindeki ozon konsantrasyonlarının genelde Pazar günü ozon konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu söylenebilir. Yapılan bir çalışmaya göre A.B.D ve Almanya'da istasyonlardaki hafta içi/hafta sonu ozon farkının % 5 ile % 15 arasında olduğu belirtilmiştir (Sicard vd.,2020). Haftanın günleri bazındaki bu değişim, ozon oluşumuna neden olan öncüllerin miktar ve ortama verildikleri saatlere bağlı değişiminden kaynaklanıyor olabilir.



Şekil 3. Edirne-Karaağaç İstasyonu için Gün, Saat, Ay Bazında Summaryplot ile Çizilmiş Ortalama Ozon Konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Açık renk gölgeler %95 güven aralığını göstermektedir.



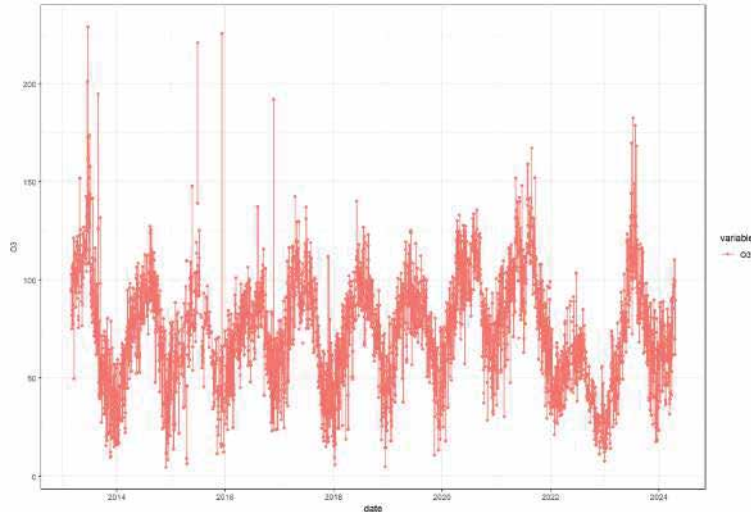
Şekil 4. Sakarya-Ozanlar İstasyon İstasyonu için Gün, Saat, Ay Bazında Summaryplot ile Çizilmiş Ortalama Ozon Konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Açık renk gölgeler %95 güven aralığını göstermektedir.

3.2. Günlük Maksimum 8 Saatlik Ozon Analizi

Seçilen üç hava kalitesi izleme istasyonuna ait O_3 verileri, R Studio ortamında *foqat* kütüphanesindeki *dm8n* fonksiyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Bu yöntem ile, her gün için sekiz saatlik zaman dilimleri içinden en yüksek ortalama değer belirlenmiş ve bu değer günlük maksimum 8 saatlik ortalama olarak kaydedilmiştir. Türkiye Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi yönetmeliğine göre bir yılda

maksimum günlük 8 saatlik ortalama limit değer $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir.

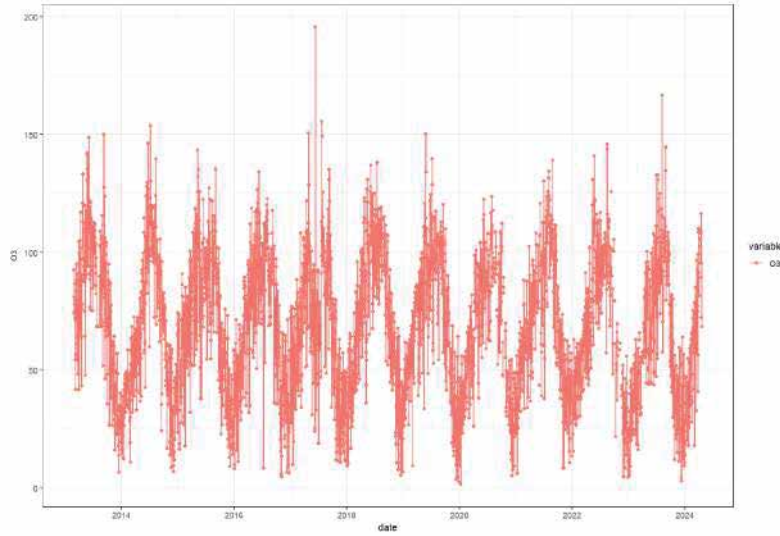
İstanbul-Başakşehir İstasyonu(Şekil 5): Ozon konsantrasyonlarının büyük çoğunluğu $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ altında kalmıştır. Bununla birlikte, sınırlı sayıda veri $100\text{--}150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında ve çok az sayıda örnek ise $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ üzerindedir. Nadir de olsa, $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ün üzerinde değerler de kaydedilmiştir. Sayılı günde limit değerinin üzerinde bir ozon kirliliği olduğu söylenebilir.



Şekil 5. İstanbul-Başakşehir Maksimum Günlük 8 Saatlik Ozon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Sakarya-Ozanlar İstasyonu(Şekil 6): Ölçülen ozon konsantrasyonlarının neredeyse tamamı $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ün altında

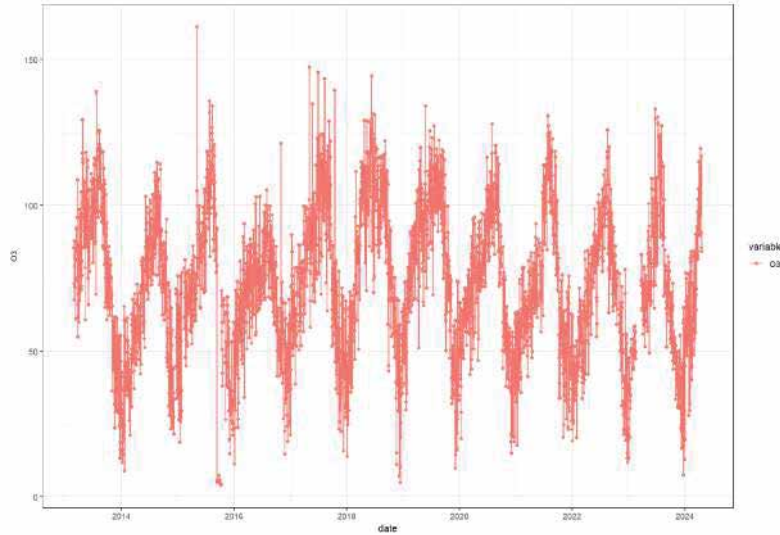
kalmıştır. Bu durum, istasyonun diğerlerine kıyasla daha düşük ozon birikimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 6. Sakarya-Ozanlar Maksimum Günlük 8 Saatlik Ozon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Edirne-Karaağaç İstasyonu(Şekil 7): Sakarya-Ozanlar ile benzer bir profile sahiptir. Verilerin büyük bölümü $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ altındadır; ancak, $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü aşan değerler bulunmaktadır

ki bu istasyonun göz ardı edilemeyecek potansiyel bir ozon kirliliği vakası yaşadığını göstermektedir.



Şekil 7. Edirne-Karaağaç Maksimum Günlük 8 Saatlik Ozon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.3. Makine Öğrenmesi ile Model Geliştirme

Çalışmada, ozon (O_3) konsantrasyonunun tahmini amacıyla birden fazla regresyon tabanlı makine öğrenmesi algoritması uygulanmış ve her modelin doğruluğu karşılaştırılmıştır. Kullanılan algoritmalar arasında Decision Tree, K-Nearest Neighbors (KNN), Random Forest, Gradient Boosting ve DART (Dropouts meet Additive Regression Trees) yer almaktadır. Her bir modele ait performans, dört temel istatistiksel metrikler kullanılarak değerlendirilmiştir.

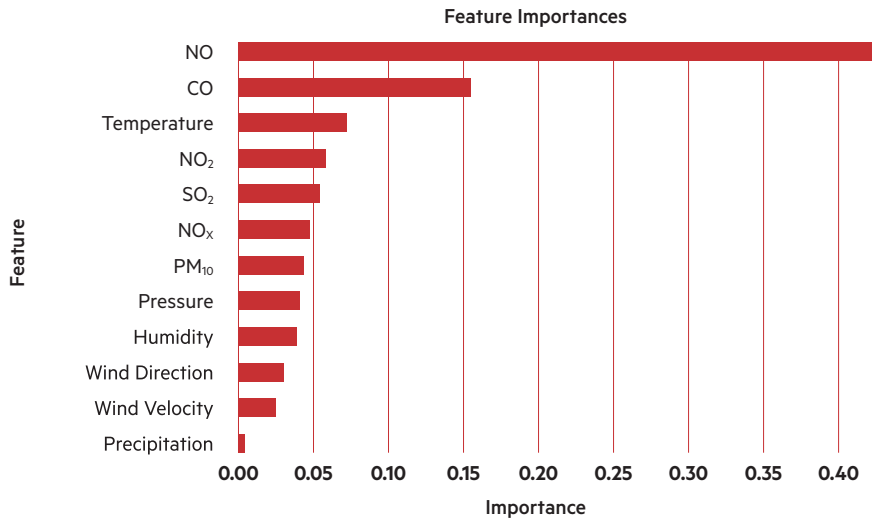
İstanbul-Başakşehir Hava Kalitesi İzleme İstasyonu verileri üzerinde eğitilen regresyon modellerinin sonuçları Tablo II'de özetlenmiştir. İstanbul-Başakşehir İstasyonu verileriyle eğitilen sinir ağı modellerinin sonuçlarına bakıldığında (Tablo II), en iyi modelin Random Forest Regressor olduğu görülmektedir. Random Forest Regressor modeli, en yüksek R^2 (0.7791) ve en düşük RMSE (14.2891), MAE (10.3181) ve MSE (204.1789) değerleriyle en iyi performansı sergilemiştir.

Tablo II: İstanbul-Başakşehir İstasyonu Ozon Tahmin Sonuçları.

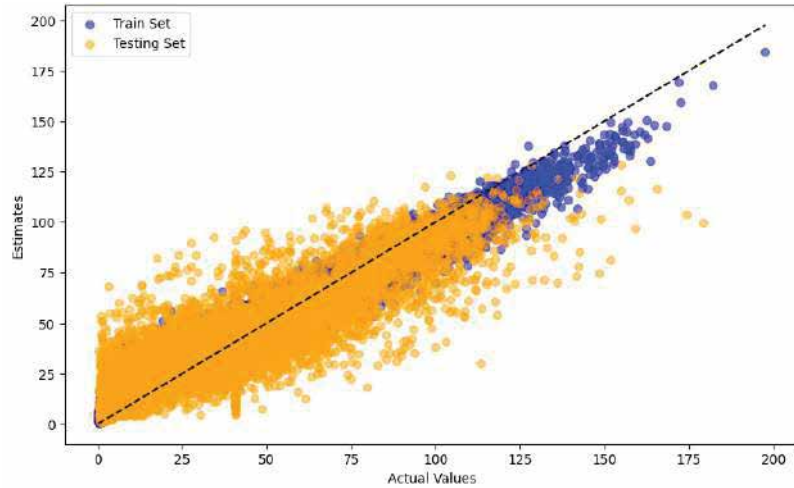
İstanbul-Başakşehir	R^2	RMSE	MAE	MSE
DecisionTreeRegressor	0.5118	21.2442	14.5249	451.3162
KNeighborsRegressor	0.6719	17.4155	12.4201	303.3003
RandomForestRegressor	0.7791	14.2891	10.3181	204.1789
Gradient Boosting	0.7094	16.3909	12.2191	268.6639
DART	0.7677	14.6548	10.7221	214.7651

Oluşturulan model için bağımsız değişkenlerinin önemini gösteren grafik ile gerçek ve tahmin verilerinin doğruluğunu gösteren grafik Şekil 8 ve 9'de verilmiştir. Bu istasyonda ozon tahminlerinin en fazla NO konsantrasyonlarından etkilendiği görülmektedir. Sonrasında ise CO ve meteorolojik parametrelerden sıcaklık en yüksek etkiye sahiptir. İstanbul-Başakşehir İstasyonu verileriyle eğitilen sinir ağı modellerinin sonuçlarına bakıldığında (Tablo II), en iyi modelin Random Forest Regressor olduğu görülmektedir. Random Forest Regressor modeli, en

yüksek R^2 (0.7791) ve en düşük RMSE (14.2891), MAE (10.3181) ve MSE (204.1789) değerleriyle en iyi performansı sergilemiştir. Şekil 9'da eğitim veri seti (mavi noktalar) ve test veri seti (turuncu noktalar) için tahmin edilen değerlerin, gerçek değerlere oldukça yakın konumlandığı görülmektedir. Noktaların kesikli diyagonal çizgi (gerçek = tahmin) etrafında yoğunlaşması, modelin hem eğitim hem de test veri seti üzerinde güçlü bir doğrusal ilişki kurabildiğini ve test verisindeki ozon değerlerini de doğru bir şekilde tahmin ettiğini göstermektedir.



Şekil 8. İstanbul-Başakşehir için Model Parametrelerinin Tartımı ($\mu g/M^3$).



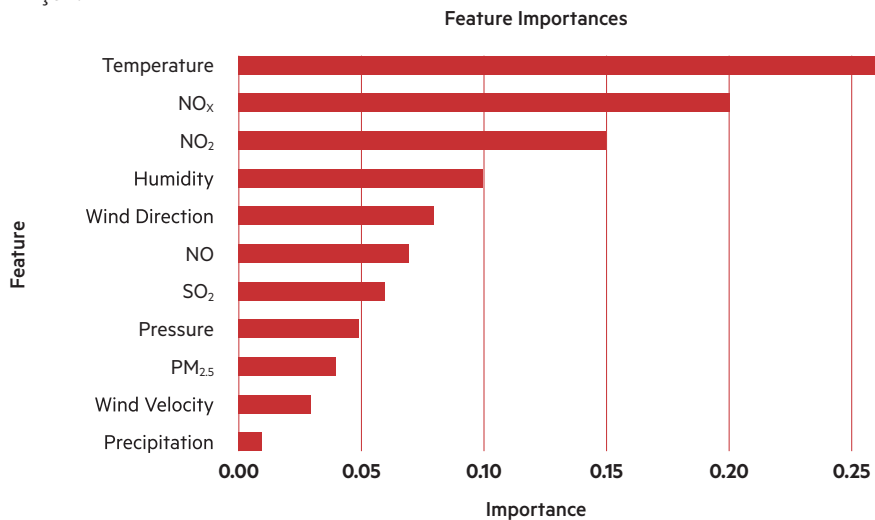
Şekil 9. İstanbul-Başakşehir için Eğitim ve Test Setlerinde Ölçülen Gerçek Değerler ($\mu\text{g}/\text{M}^3$) ile Tahmin Edilen Değerler Arasındaki İlişki.

Edirne-Karaağaç Hava Kalitesi İzleme İstasyonu verileri üzerinde eğitilen yapay zeka modellerinin sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

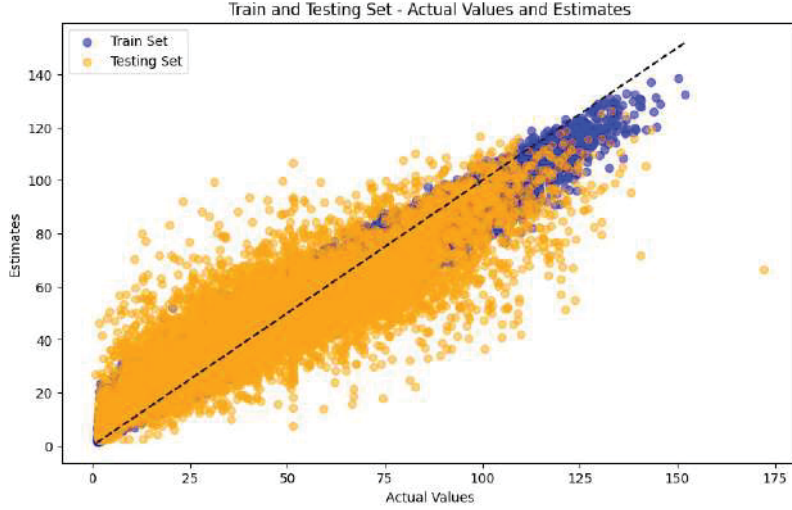
Tablo III: Edirne- Karaağaç İstasyonu Ozon Tahmin Sonuçları.

Edirne- Karaağaç	R^2	RMSE	MAE	MSE
DecisionTreeRegressor	0.3493	21.6042	15.3000	466.7453
KNeighborsRegressor	0.6129	16.6637	12.2556	277.6774
RandomForestRegressor	0.7020	14.6202	10.7106	213.7514
Gradient Boosting	0.6324	6.23732	12.5107	263.6507
DART	0.6910	14.8865	11.0918	221.6094

Oluşturulan model için özellik önemini gösteren grafik ile gerçek ve tahmin verilerinin doğruluğunu gösteren grafik aşağıda verilmiştir.



Şekil 10. Edirne-Karaağaç için Model Parametrelerinin Tartımı ($\mu\text{g}/\text{M}^3$).



Şekil 11. Edirne-Karaağaç için Eğitim ve Test Setlerinde Ölçülen Gerçek değerler ($\mu\text{g}/\text{M}^3$) ile Tahmin Edilen Değerler Arasındaki İlişki.

Edirne-Karaağaç İstasyonu verileriyle eğitilen yapay zeka sinir ağı modellerinin sonuçlarına bakıldığında (Tablo III), en iyi model olan Random Forest Regressor, en yüksek R^2 değeri (0.7020) ile en iyi performansı sergilemiştir. Ayrıca RMSE ve MAE değerlerinin diğer modellere kıyasla daha düşük olması, tahminlerinin daha doğru olduğunu göstermektedir.

Özellikle model değişkenlerinin önem grafiğine (Şekil 10) bakıldığında, sıcaklık önemli özellik olarak belirlenmiş ve bu durum ozon seviyesi tahmininde sıcaklığın büyük rol oynadığını ortaya koymuştur. NO_x ve NO_2 gibi kirleticiler de önemli özellikler arasındadır. Nem ve rüzgar yönü gibi meteorolojik veriler de ozon tahmininde önemli bir

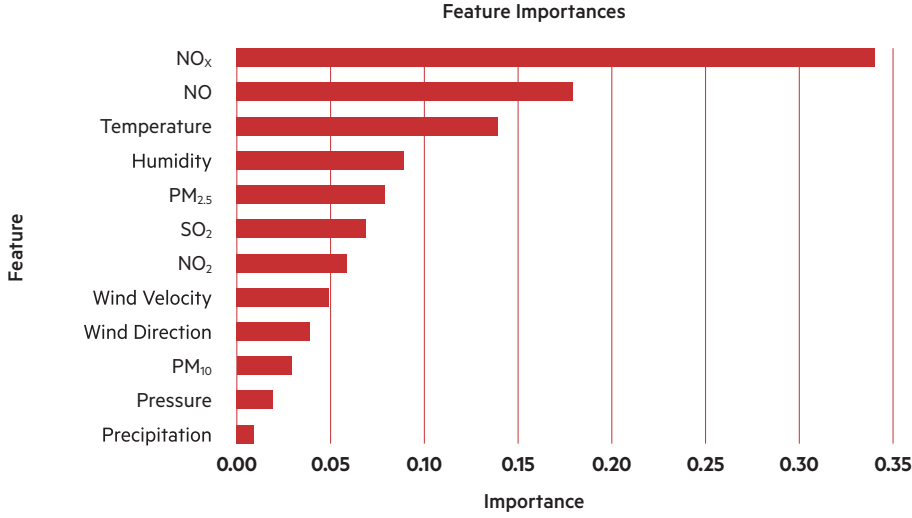
rol üstlenmektedir. Bu analizler sonucunda, ozon tahmini için Random Forest Regressor modelinin en iyi performansı gösterdiği ve azot oksitler ve sıcaklığın en kritik öneme sahip olduğu görülmektedir. Şekil 11 incelendiğinde, eğitim veriseti (mavi noktalar) ve test veriseti (turuncu noktalar) için tahmin edilen değerlerin, gerçek değerlere oldukça yakın konumlandığı görülmektedir. Buradan hareketle model güçlü bir doğrusal ilişkiyi ortaya koymuş ve modelin aşırı öğrenmeden (overfitting) kaçınarak genellenebilir bir başarı elde ettiği söylenebilir.

Sakarya-Ozanlar Hava Kalitesi İzleme İstasyonu verileri üzerinde eğitilen yapay zeka modellerinin sonuçları Tablo IV'de özetlenmiştir.

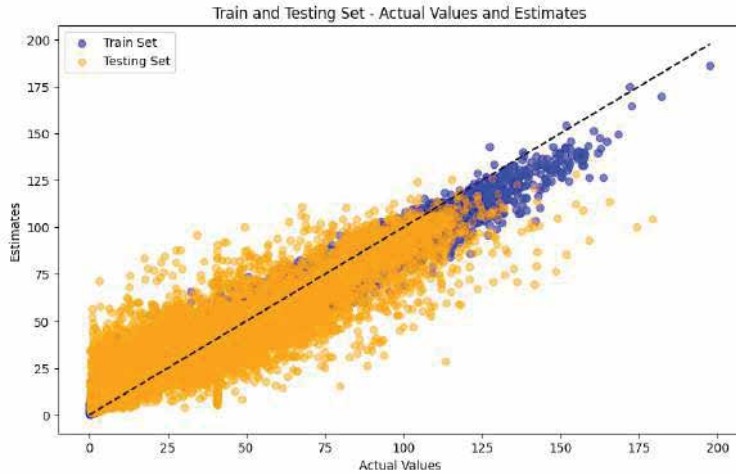
Tablo IV: Sakarya-Ozanlar İstasyonu Ozon Tahmin Sonuçları.

Sakarya- Ozanlar	R^2	RMSE	MAE	MSE
DecisionTreeRegressor	0.5144	21.1887	14.5101	448.96283
KNeighborsRegressor	0.6719	17.4155	12.4201	303.3003
RandomForestRegressor	0.7779	14.3277	10.3337	205.2844
Gradient Boosting	0.7094	16.3909	12.2191	268.6639
DART	0.7677	14.6548	10.7221	214.7651

Oluşturulan model için özellik önemini gösteren grafik ile gerçek ve tahmin verilerinin doğruluğunu gösteren grafik aşağıda verilmiştir.



Şekil 12. Sakarya-Ozanlar için Model Parametrelerinin Tartımı ($\mu\text{g}/\text{M}^3$).



Şekil 13. Sakarya-Ozanlar Gerçek Değer ve Tahmin Sonuçları Grafiği ($\mu\text{g}/\text{M}^3$).

Sakarya-Ozanlar İstasyonu verileriyle eğitilen yapay zeka sinir ağı modellerinin sonuçları incelendiğinde (Tablo IV), en iyi modellerin Random Forest Regressor ve DART olduğu görülmektedir. Her iki modelde de R^2 , RMSE, MAE ve MSE değerleri birbirine oldukça yakındır. Özellik önem grafiğine (Şekil 12) bakıldığında, NO_x ve NO gazlarının ozon tahminindeki en kritik özellikler olduğu anlaşılmaktadır. Sıcaklık ve nem de önemli faktörler arasındadır. Grafik ve tablodaki veriler, doğru özellik seçimi ve model optimizasyonu yapıldığında ozon seviyesinin yüksek doğrulukla tahmin edilebileceğini göstermektedir.

Test setindeki mavi noktalar genellikle kesikli çizgiye yakın konumlanmış ve doğrusal bir eğilim sergilemektedir

(Şekil 13). Bu durum, modelin eğitim sırasında öğrendiği bilgileri test setine başarıyla uyguladığını işaret etmektedir. Yüksek değerlerde (örneğin 150 ve üzeri) bazı noktaların kesikli çizgiden sapması, modelin bu değerlerde tahmin yapmakta zorlandığını veya daha büyük hatalar yaptığını gösterebilir. Düşük ve orta değerlerde (0-125 arası) noktaların çoğu kesikli çizgiye daha yakın ve daha az dağınıktır; bu da modelin bu aralıklarda daha doğru tahminler yaptığını kanıtlamaktadır. Eğitim seti (turuncu) ile test seti (mavi) arasında belirgin bir fark olmaması, modelin genel performansının tutarlı olduğunu ve aşırı uyum (overfitting) göstermediğini ortaya koymaktadır. Modelin iyi bir genelleme yeteneğine sahip olduğu sonucuna varılabilir.

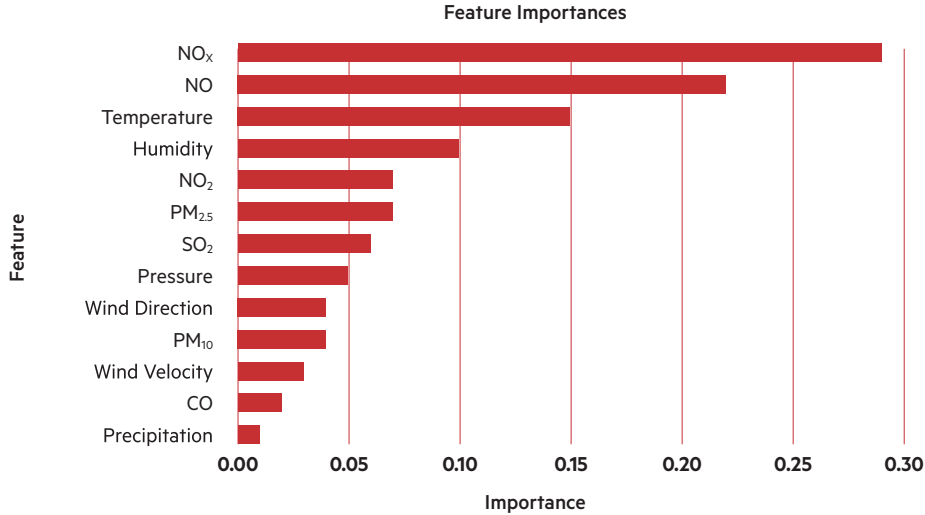
Elde edilen sonuçlara göre, genel olarak Random Forest Regressor algoritması, tüm istasyonlarda en yüksek performansı göstermiştir. Örneğin:

- İstanbul-Başakşehir istasyonu için: $R^2 = 0.7791$, $RMSE = 14.29 \mu g/m^3$
- Edirne-Karaağaç istasyonu için: $R^2 = 0.7020$, $RMSE = 14.62 \mu g/m^3$
- Sakarya-Ozanlar istasyonu için: $R^2 = 0.7779$, $RMSE = 14.33 \mu g/m^3$

Tüm istasyonların birleşik verisiyle oluşturulan genel modelde ise $R^2 = 0.7558$ olarak hesaplanmış ve güçlü bir genelleme başarısı sergilemiştir. Bu sonuçlar, Random Forest modelinin hem bireysel hem de çoklu istasyon verileriyle etkili tahminler yapabileceğini göstermektedir. Tablo 5’de tüm istasyon verileri kullanılarak yapılan modelin farklı algoritmalar için hesaplanan model performans parametreleri verilmiştir.

Tablo V: Eğitim için Tüm İstasyon Verilerinin Kullanılarak Ozon Tahmin Modeli Sonuçları.

Tüm İstasyonlar	R^2	RMSE	MAE	MSE
DecisionTreeRegressor	0.4842	21.5309	15.0181	463.5813
KNeighborsRegressor	0.6626	17.4152	12.7522	303.2892
RandomForestRegressor	0.7558	14.8149	10.8847	219.4837
Gradient Boosting	0.6344	18.1261	13.9375	328.5572
DART	0.7200	15.8629	11.9575	251.6337



Şekil 14. Tüm İstasyonlar için Model Parametrelerinin Tartımı ($\mu g/M^3$).

Ayrıca, değişken önem analizi uygulanarak her bir bağımsız değişkenin model üzerindeki etkisi belirlenmiştir (Şekil 14). Bu analiz sonucunda:

- NO ve NO₂ gibi azot oksit bileşenlerinin,
- Sıcaklık ve nem gibi meteorolojik değişkenlerin,

ozon tahmininde en kritik girdiler olduğu anlaşılmıştır. Buna karşın yağış ve basınç gibi değişkenler daha düşük etkiye sahip bulunmuştur.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'nde seçilen üç hava kalitesi izleme istasyonuna ait O₃ verileri; meteorolojik ve diğer kirlenici parametrelerle birlikte analiz edilerek, ozon konsantrasyonunun zamansal dağılımı ve tahmini üzerine kapsamlı bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir. R Studio ortamında zaman serisi analizleri (*summaryPlot*, *timeVariation*) uygulanmış; saatlik, haftalık ve aylık değişimler incelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Ozon konsantrasyonları, istasyonların çoğunda Temmuz ve Ağustos aylarında artış göstermiştir. Bu artış, sıcaklıkla birlikte fotokimyasal reaksiyonların hızlanmasından kaynaklanmaktadır.
- Haftalık analizler, ozon seviyesinin iki istasyonda özellikle Pazar günleri en yüksek değerlere ulaştığını ortaya koymuştur.
- İstanbul'daki Başakşehir istasyonu gün içinde çift pik davranışı sergilerken; diğer istasyonlarda tek tepe noktası gözlenmiştir.
- *dm8n* fonksiyonu ile hesaplanan günlük maksimum 8 saatlik ortalama ozon değerleri, çoğu istasyonda genel olarak 125 µg/m³ sınırının altında kalmıştır. Ancak İstanbul-Başakşehir ve Edirne-Karaağaç istasyonlarında zaman zaman 150-200 µg/m³'ü aşan değerler de kaydedilmiştir.

Çalışmada makine öğrenmesine ait regresyon modelleri ile ozon konsantrasyonları $0.78=R^2$ değeriyle tahmin edilebilmektedir. Beş farklı regresyon algoritması test edilmiş; özellikle Random Forest Regressor modeli, tüm istasyonlarda en

yüksek performansı göstermiştir ($R^2 > 0.75$). Model, hem bireysel istasyon verileriyle hem de tüm istasyonların birleşik verisiyle genellenebilir tahmin gücüne sahiptir.

Ayrıca yapılan özellik önemi (feature importance) analizi, ozon tahmininde NO, NO₂ ve sıcaklık gibi değişkenlerin kritik rol oynadığını göstermiştir. Bu bulgu, ozon oluşumunun temel bileşenlerine dair bilimsel literatürü destekler niteliktedir. Ancak sabah piki de görülen Başakşehir istasyonunda CO, modeli etkileyen en önemli üç parametreden biri olması, bu nokta için farklı bir UOB bileşiminin varlığından veya hava koşulları, hava kütlelerinin geldiği konumdan kaynaklanabilir. Çin'de 2017 için yapılan bir çalışmada, Ozon ile CO arasındaki korelasyonun farklılık gösterebileceği ve bazı şehirlerde negatif korelasyon bazı şehirlerde ise pozitif korelasyonlar görüldüğü belirtilmiştir (Wang vd., 2019). Başakşehir istasyonu için, UOB türlerinin ölçülmesi, hava kütlelerinin taşınım rotalarının belirlenmesi gibi daha detaylı analizlerle ozon oluşum mekanizması ortaya çıkarılabilir.

Genel olarak çalışma, ozon izleme altyapısının yetersiz olduğu bölgelerde makine öğrenmesi temelli tahmin modellerinin, etkili ve düşük maliyetli bir alternatif sunabileceğini ortaya koymaktadır. Geliştirilen yöntem, hava kalitesi yönetimi, sağlık risk değerlendirmesi ve erken uyarı sistemleri açısından uygulanabilir bir çerçeve sunmaktadır.

Son olarak saatlik ısıma değerleri ve trafik durumu verileri gibi daha fazla parametrenin modele eklenmesiyle ve aşamalı model uygulamalarıyla modelin tahmin etme başarısı artırılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından yürütülen, 2209-A

Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

- Ahmad, M., Rappenglück, B., Osibanjo, O. O., & Retama, A. (2022). A Machine Learning Approach to Investigate The Build-Up of Surface Ozone in Mexico-City. *Journal of Cleaner Production*, 379. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134638>
- An, C., Li, H., Ji, Y., Chu, W., Yan, X., & Chai, F. (2024, April 15). A Review on Nocturnal Surface Ozone Enhancement: Characterization, Formation Causes and Atmospheric Chemical Effects. *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170731>
- Ayus, I., Natarajan, N., & Gupta, D. (2023). Comparison of Machine Learning and Deep Learning Techniques for The Prediction of Air Pollution: A Case Study from China. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 17, 4. Retrieved 28 April 2025 from <https://doi.org/10.1007/s44273-023-00005-w>
- Cao, Y., Zhao, X., Su, D., Cheng, X., & Ren, H. (2023). A Machine-Learning-Based Classification Method for Meteorological Conditions of Ozone Pollution. *Aerosol and Air Quality Research*, 23(1). Retrieved from <https://doi.org/10.4209/aaqr.220239>
- Cheng, Y., Huang, X. F., Peng, Y., Tang, M. X., Zhu, B., Xia, S. Y., & He, L. Y. (2023). A Novel Machine Learning Method for Evaluating The Impact of Emission Sources on Ozone Formation. *Environmental Pollution*, 316. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120685>
- Du, J., Qiao, F., Lu, P., & Yu, L. (2022). Forecasting Ground-Level Ozone Concentration Levels Using Machine Learning. *Resources, Conservation and Recycling*, 184, 106380. Retrieved 17 April 2025 from <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2022.106380>
- Guo, W., Chen, Q., Yang, Y., Zhang, Y., Liu, X., Zhang, R., Zhu, Y., Li, G., Liu, P., Chen M. (2022) Investigating the Mechanism of Morning Ozone Concentration Peaks in a Petrochemical Industrial City Atmos. *Environ.*, 270, Article 118897, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118897>
- Hong, F., Ji, C., Rao, J., Chen, C., & Sun, W. (2023). Hourly Ozone Level Prediction Based on the Characterization of its Periodic Behavior via Deep Learning. *Process Safety and Environmental Protection*, 174, 28–38. Retrieved 17 April 2025 from <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2023.03.059>
- Hosseinpour, F., Kumar, N., Tran, T., & Knipping, E. (2024). Using Machine Learning to Improve the Estimate of U.S. Background Ozone. *Atmospheric Environment*, 316. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120145>
- Jiménez-Navarro, M. J., Martínez-Ballesteros, M., Martínez-Álvarez, F., & Asencio-Cortés, G. (2024). Explaining Deep Learning Models for Ozone Pollution Prediction via Embedded Feature Selection. *Applied Soft Computing*, 157. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.111504>
- Kuo, C. P., & Fu, J. S. (2023). Ozone Response Modeling to NOx and VOC Emissions: Examining Machine Learning Models. *Environment International*, 176. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107969>
- Lyu, Y., Ju, Q., Lv, F., Feng, J., Pang, X., & Li, X. (2022). Spatiotemporal Variations of Air Pollutants and Ozone Prediction Using Machine Learning Algorithms in The Beijing-Tianjin-Hebei Region from 2014 to 2021. *Environmental Pollution*, 306. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119420>
- Mu, X., Wang, S., Jiang, P., & Wu, Y. (2023). Estimation of Surface Ozone Concentration Over Jiangsu Province Using a High-Performance Deep Learning Model. *Journal of Environmental Sciences*, 132, 122–133. Retrieved 17 April 2025 from <https://doi.org/10.1016/J.JES.2022.09.032>
- Sicard P, Paoletti E, Agathokleous E, Araminiené V, Proietti C, Coulibaly F, De Marco A. Ozone Weekend Effect in Cities: Deep Insights for Urban Air Pollution Control. *Environ Res.* 2020 Dec;191:110193. doi: 10.1016/j.envres.2020.110193
- Wang Z.S., Lv J., Tan Y., Guo M., Gu Y., Xu S., Zhou Y. (2019) Temporospatial Variations and Spearman Correlation Analysis of Ozone Concentrations to Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide, Particulate Matters and Carbon Monoxide in Ambient Air, China *Atmospheric Pollution Research* 10 (4), 1203–1210 2019
- Wu, C. lin, He, H. di, Song, R. feng, & Peng, Z. ren. (2022). Prediction of Air Pollutants on Roadside of the Elevated Roads With Combination of Pollutants Periodicity and Deep Learning Method. *Building and Environment*, 207. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108436>
- Yafouz, A., Najah Ahmed, A., Zaini, atiah, Sherif, M., Sefelnasr, A., & El-Shafie, A. (2021). Hybrid Deep Learning Model for Ozone Concentration Prediction: Comprehensive Evaluation and Comparison with Various Machine and Deep Learning Algorithms Hybrid Deep Learning Model for Ozone Concentration Prediction: Comprehensive Evaluation and Comparison with Various Machine and Deep Learning Algorithms, 15(1), 902–933. Retrieved 17 April 2025 from <https://doi.org/10.1080/19942060.2021.1926328>

Samsun İli İlkadım İlçesi Kalkancı Bölgesinde Sürdürülebilir Atık Yönetiminin Ağ Analizi ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Sustainable Waste Management in the Kalkancı Region of İlkadım District, Samsun Province, with Network Analysis

Prof. Dr. Ayşe KULEYİN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye
akuleyin@omu.edu.tr
ORCID: 0000-0001-6825-710X

Yasin ASLAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye
hulyasinaslan@gmail.com
ORCID: 0009-0008-7547-1655

Makale Türü:

ARAŞTIRMA

Gönderilme Tarihi:

28 Nisan 2025

Kabul Tarihi:

21 Mayıs 2025

Öz

Çalışma kapsamında Samsun ili, İlkadım ilçesinde yoğunlukla konutların bulunduğu Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane mahallelerinde üretilen kentsel katı atıkların toplama ve taşıma işlemleri incelenmiş olup kentsel katı atık toplama rotaları ağ analizi yöntemi ile optimize edilmiştir. Optimizasyon işleminde gelişmiş bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ArcGIS Pro kullanılmıştır. Rota optimizasyonunda Samsun ili İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Müdürlüğünden alınan veriler kullanılmıştır. Genel olarak kullanılan rotalar, ilgili bölge aracının GPS kayıtları ile belirlenmiştir. Bu çalışmada mevcut kentsel katı atık toplama taşıma rotalarının kısaltılması, kaynakların daha verimli kullanılması ve toplama işlemi verimliliğini artırmak amacı ile yapılmıştır. Atık toplama işlemi için gereken sürenin, harcanan performansın ve yakıtın azaltılması amacıyla optimize edilmiş sonuçlar, %28,05 ve %37,34'lük bir mesafe azaltma oranına işaret etmektedir. Bu veriler kentsel katı atık toplama işlemlerinde önemli bir maliyet azaltımı gerçekleştirecektir. Bu kapsamda ağ analizi yöntemi ile yapılan çalışmamızda elde edilen yeni rotalarda seyredecek araçların karbondioksit (CO₂) emisyonları da aldıkları yol oranında azalacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Katı Atık Toplama, Atık Yönetimi, Rota Analizi, ArcGIS Yazılımı, Coğrafi Bilgi Sistemleri.

Abstract

Within the scope of the study, the collection and transportation processes of urban solid waste produced in Kalkanca, Karasamsun and Baruthane neighborhoods, which are mostly residential in İlkadım district of Samsun Province, were examined and urban solid waste collection routes were optimized with the network analysis method. ArcGIS Pro, an advanced geographic information system software, was used in the optimization process. Data obtained from the Samsun İlkadım Municipality Cleaning Affairs Directorate were used in the route optimization. The generally used routes were determined with the GPS records of the relevant regional vehicle. This study was conducted with the aim of shortening the existing urban solid waste collection transportation routes, using resources more efficiently and increasing the efficiency of the collection process. The optimized results, which were aimed at reducing the time required for waste collection, the performance spent and the fuel, indicate a distance reduction rate of 28.05% and 37.34%. These data will provide a significant cost reduction in urban solid waste collection operations. In this context, it is evaluated that the carbon dioxide (CO₂) emissions of the vehicles traveling on the new routes obtained in our study conducted with the network analysis method will also decrease in proportion to the distance they travel.

Keywords: Solid Waste Collection, Waste Management, Route Analysis, ArcGIS software, Geographic Information Systems.

1. Giriş

Sürdürülebilir kentsel katı atık yönetimi, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları dikkate alarak atık üretimini azaltmayı, geri dönüşümü teşvik etmeyi, kaynakları verimli bir şekilde kullanmayı ve çevresel etkileri minimize etmeyi hedefler. Sürdürülebilir kentsel katı atık yönetimi, yenilikçi çözümler ve teknolojilerin kullanılmasını teşvik eder. Örneğin, akıllı atık toplama sistemleri, atık miktarını izler ve toplama rotalarını optimize eder. Birçok araştırmacı araç rotalama problemlerini, bir veya daha fazla depodan, belirli bir müşteri grubuna hizmet etmek için kullanılan araç filosunun optimum rotasının belirlenmesi olarak tanımlamıştır ve bu konuyla ilgili ilk çalışma Dantzig vd. tarafından 1954 yılında yapılmıştır (Rego 2001, Toth ve Vigo 2002, Dantzig, vd. 1954).

Araç rotalama problemleri, çeşitli kriterlere göre kendi içinde farklılaşmaktadır. Bu kriterler genellikle kısıtların, araçların, müşterilerin, yolların ve rotaların özelliklerine göre ortaya çıkmaktadır. Araç rotalama problemi bu kriterlere göre şu şekilde sınıflandırılmıştır: dinamik veya statik araç rotalama problemi türleri, rotaların durumuna göre araç rotalama problemi türleri, kısıtlarına göre araç rotalama problemleri türleri, yolların durumuna göre araç rotalama problemleri ve dağıtım ve toplamalı araç rotalama problemleri (Erol, 2006, Kuşçu, 2009, Wassan vd., 2008). Araç rotalama problemlerine uygun çözümler bulmak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Çünkü rotalamada kullanılan kısıtların farklılığı ve fazlalığı araç rotalama problemlerini daha da karmaşık bir hale getirmektedir (Malakahmad vd., 2013). Araç rotalama problemlerini çözmek için geliştirilen yöntemler Tablo I’de listelenmiştir (Erol, 2006). Atık toplama rotalarının iyileştirilmesine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, toplama rotasını optimize etmek için doğrusal programlama, toplama işlemlerini izlemek için Nesnelerin İnterneti ve akıllı çöp kutuları ile küçük bir şehirde atık toplama araçlarının simülasyonunu yapma gibi yöntemler kullanılmaktadır (Rizvanoglu O, Kaya S, 2019, Che Soh v.d., 2019). Ancak, bu tür analizlere coğrafi ve mekânsal yazılımlar da uygulanabilir. ArcGIS Pro, bu tür analizlere olanak tanıyan yazılımlardan biridir ve bu yöntemi ele alan birçok çalışma bulunmaktadır (Lan Vu, vd., 2018, Le Dinh, vd., 2021, Lan Vu vd., 2019 ve Baras and Ziouzos, 2021).

Tablo I: Araç Rotalama Problemleri için Geliştirilen Yöntemler (Erol, 2006).

Sezgisel Algoritmalar	Meta Sezgisel & Algoritmalar
1) İyileştirmeli Sezgisel Algoritmalar	1) Tavlama Benzetme Algoritması
Tek Rota İyileştirmeli Sezgisel Algoritmalar	2) Tabu Arama Yöntemi
Çok Rota İyileştirmeli Sezgisel Algoritmalar	3) Karınca Kolonisi Optimizasyon Yöntemi
2) Yapısal Sezgisel Algoritmalar	4) Genetik Algoritmalar
Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması	5) Yapay Sinir Ağları
Eşleme Tabanlı Tasarruf Algoritması	
Sıralı Ekleme Sezgisel Algoritması	
En Kısa Yol Yöntemi	
3) Çok Aşamalı Sezgisel Algoritmalar	
İlk Grupla Sonra Rotala Yöntemi	
İlk Rotala Sonra Grupla Yöntemi	

Bu çalışma, Samsun ili İlkadım ilçesindeki Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane mahallelerinde üretilen kentsel katı atıkların toplanması ve taşınması süreçlerini incelemekte ve bu süreçlerin optimizasyonunu hedeflemektedir. ArcGIS Pro yazılımının Ağ Analizi aracı kullanılarak mevcut çöp toplama rotaları analiz edilmekte ve iyileştirilmektedir. Çalışmada, Samsun İlkadım Belediyesi’nden alınan veriler ve GPS kayıtlarıyla belirlenen mevcut rotalar üzerinden, atık toplama süresinin, yakıt tüketiminin ve maliyetlerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu çalışma, yerel yönetimlerin sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerini geliştirmelerine katkıda bulunarak, toplumun genel refahını artırmayı amaçlamaktadır.

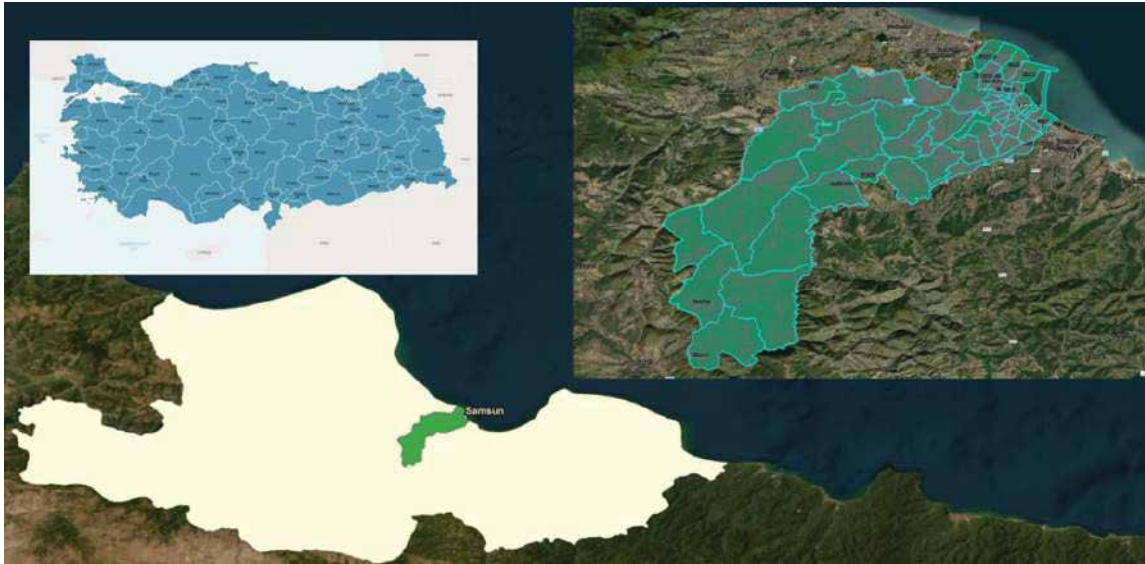
2. Materyal Metot

2.1. Çalışma Alanı

İlkadım Samsun ilinin merkezinde yer alan bir ilçedir. Kürtün çayı ile Mert ırmağı arasında kalan eski Samsun olarak da adlandırılan bir bölgedir. Bu nedenle İlkadım ilçemiz gündüz nüfusu ile gece nüfusu farklıdır. Çalışmada Samsun şehrinin İlkadım ilçesinde yer alan Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane mahalleleri incelenmiştir. Bu

mahallelerin seçilme nedeni Konut Yoğun Mahalle (KYM) olmalarıdır, bir diğer nedeni ise yerleşik nüfusun sabit olmasıdır. İlkadım ilçe nüfusu, 2023 adrese dayalı nüfus kayıt sistemi (ADNKS) verilerine göre 322.228'dir. 2023 yılı nüfus artış hızı ise binde -34,4'tür ve ilçe son yıllarda göç vermektedir.

Şekil 1'de Çalışma Alanının Konumu, Şekil 2'de ise Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane Mahalleleri gösterilmiştir. 2023 nüfus verilerine göre üç mahallenin toplam nüfusu 26.858 kişidir.



Şekil 1. İlkadım İlçesinin Türkiye'deki Konumu.



Şekil 2. Çalışma Alanına Ait Harita.

Tablo II: İlkadım İlçesi 2019-2023 Kentsel Katı Atık Miktarları (Ton).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2023	6.613	5.565	6.425	6.422	6.632	7.658	6.632	6.972	7.501	7.121	7.043	7.469
2022	7.223	7.324	7.324	7.123	7.155	7.714	8.229	8.562	7.822	7.682	7.516	7.798
2021	7.599	7.355	7.668	7.234	7.750	8.567	7.594	7.510	8.503	8.813	7.766	7.615
2020	8.471	7.571	8.323	7.520	7.722	8.581	9.342	8.745	8.410	8.231	7.855	8.016
2019	8.546	7.719	8.328	8.059	8.291	8.797	8.786	9.758	8.523	8.779	8.635	8.613

Kaynak: İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Müdürlüğü

İlkadım İlçesinde atık toplama işlemi mekanik olarak, 5.000 litre ve 3.500 litrelik vinçli sistemli konteynerler ve ortalama 9,5 ton kapasiteli sıkıştırma kapasiteli vinçli kamyonlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Normal hidrolik sıkıştırmalı kentsel katı atık toplama araçları ise büyük, orta ve küçük olarak nitelendirilen 3 sınıftan oluşmaktadır. Araçlardaki ekip, iş sağlığı ve güvenliği gereği kamyonun asla inmeyen bir sürücü ve biri kamyonun hidrolik kaldırma mekanizmasını çalıştırmakla görevli olan çöp kutularını araca yükleyip boşaltan iki işçiden oluşmaktadır. Çöp konteynerlerinin çoğu 1.100 ve 770 litrelik kapasiteli olup tekerlekli sistem kullanılmaktadır, ancak bazı merkezi noktalarda daha büyük olanları da bulunmaktadır. İlkadım özelinde konut ve işyeri sayıları incelendiğinde özellikle site tarzı yapılaşması ve ilçe geneline oranla yüksek katlı konut yapılaşma tarzından dolayı Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane mahallelerin yer aldığı bölge ikili toplama sistemine uygun konut ağırlıklı bir yapıya sahiptir. Bu kapsamda bu üç mahalle Konut Yoğun Mahalleler (KYM) olarak değerlendirilmeye alınmıştır.

2.2. Metodoloji

Çalışma alanında üretilen kentsel katı atıkların toplanmasından sorumlu kurumdan alınan veriler ve saha çalışmasından elde ettiğimiz mekânsal verilerin ekonomik, sosyal ve teknik unsurlarla birleştirilmesinde güçlü bir araç olan Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) analizi ile atık toplama rotasının hangi alanlarda optimize edilebileceği analiz edilmiştir. Metodolojiye değinmeden önce neden bu araçların kullanıldığı açıklanmalıdır. Gezgin Satıcı Problemi olarak da bilinen Araç Rotalama Problemi, rota optimizasyonunu çözmeye yönelik bir matematik problemi ve denklemler dizisidir. Araç Rotalama optimizasyonu, teslimatları, alımları, hizmetleri veya denetimleri içeren tüm taşımacılık tabanlı sektörler için önemlidir. En verimli rotanın hesaplanmasıyla işgücü, zaman, para ve emisyon gibi önemli maliyetlerden tasarruf edilebilir.

Hali hazırda İlkadım ilçesinde araç rotalama işlemleri yapılmamakta araçların toplama güzergahı şoför inisiyatifinde

gitmektedir. Genellikle günlük olarak bölge turlanmakta, dolan konteynerler alınmakta araç kapasitesi ve günlük iki ya da üç döküm yapacak şekilde araçlar doldurulmakta ve amirler tarafından bölgeden verilen notlar ek olarak değerlendirilmektedir.

Günümüzde gerek coğrafi bilgi sistemlerinin gelişmesi gerekse atık toplama taşıma ekipmanlarının yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleri gereği atıkların daha ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde toplanmasını zaruri hale getirmiştir. Çalışma alanındaki konteynerlerde toplanacak olan atıkların hacim ve ağırlık bilgisine net olarak ulaşmak mümkün değildir. Bunun nedeni atık üretim miktarının sürekli olarak değişiklik göstermesidir. Bu değişkenliğin nedenleri ise sırasıyla, atık konteynerini kullanan kişi sayısı, atık çıkartma periyodu, tüketim alışkanlıklarındaki farklılar gibi etmenlerdir. Optimizasyon, sınırlı araç kapasitesi ile belirli bir alanda ya da belirli bir nüfusun ürettiği kentsel katı atıkların toplama ekipmanlarından taşarak çevre kirliliğine ya da etrafa pis koku saçmadan toplanması ve taşınması işinin yapılması olarak nitelendirilebilir. Bu kapsamda gerçek dünya uygulamalarında yaz ve kış aylarında farklı toplama periyotları ve rotaları belirlenebilir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), kentsel katı atık toplama ve taşıma süreçlerinin optimizasyonunda oldukça etkili bir araçtır. CBS'nin kullanımıyla atık toplama rotalarının planlanması ve iyileştirilmesi, maliyetlerin düşürülmesi, zamanın etkin kullanılması ve çevresel etkilerin azaltılması mümkündür. CBS, katı atık yönetiminde atık üretiminden, bertaraf/geri kazanım süreçlerini içerecek bütünsel bir şekilde yönetilmesini sağlar. Bu entegre yaklaşım, atık yönetiminin çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğini artırır.

Bu kapsamda, CBS'nin farklı atık yönetim teknolojileri ile nasıl entegre edildiği ve optimum çözümler sunduğu üzerine birçok çalışma bulunmaktadır (Şahin, 2014, Kuru, 2018, Apaydın, 2004). CBS ve Nesnelerin İnterneti teknolojilerinin birleşimi, atık toplama rotalarının optimizasyonunda yeni yöntemler sunar. Bu yaklaşımla, atık toplama

araçları için en uygun rotalar belirlenir ve atık toplama için kat edilen yol ve süre minimize edilir.

Çalışma da yazılım olarak Esri firmasının Lisanslı ArcGIS Pro 3.3 kullanılmıştır. Coğrafi verileri oluşturan, görüntüleyen ve analiz eden, atık toplama taşıma ve transfer süreci için araç rotalama problemlerini çözen ve sonuçları gösteren bir yazılımdır. ArcGIS Pro 3.3 Ağ Analisti Fonksiyonu, her rotayla ilişkili araçların seyahat mesafeleri ve çalışma sürelerine göre en uygun rotaları belirlemek için kullanılır. CBS, kentsel katı atık toplama işinin optimize edilmesi de dahil olmak üzere birçok kentsel katı atık yönetimi çalışmasında kullanılmaktadır (K. Nguyen-Trong vd., 2017).

3. Senaryo ve Analiz

İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Müdürlüğünden ve saha çalışması ile elde edilen verilerden yola çıkılarak Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane Mahallelerini kapsayan alanda konumlarının yakınlığı nedeniyle birlikte analiz edilmesine karar verilmiştir. Bölgede değişik kapasitelerde 2 tip atık toplama konteyneri (vinçli ve standart) ile sokaklardan, kaldırım kenarından yer çöpü de toplanmaktadır. Bu kapsamda İlkadım ilçesinin kentsel katı atıklarını en optimum rotayı kullanarak yakıt ve emisyon gibi mesafeye dayalı maliyetlerden tasarruf etmenin yanı sıra konteynerlere zamanında müdahale ederek kentsel katı atık kaynaklı çevre kirliliğinin de önüne geçilmesi planlanmaktadır. 3.500 litrelik yer üstü vinçli ve 770 litrelik normal kentsel katı atık konteynerlerinin toplama işlemlerinin yapılacağı rotalarının belirlenmesi ve ağ analiz ile analiz edilmesi

mevcut rota ile karşılaştırılması yapılacaktır. Çalışma alanında normalde 3 rotaya bölünmüş ve 285 toplama noktası mevcuttur ve operasyon için her rotayı farklı bir kamyonla yöneterek biri vinçli olmak üzere toplam 2 kamyon olacak şekilde optimize çalışması yürütülmüştür.

Kurumdan ve saha çalışması ile elde edilen veriler Esri firmasına ait ArcGIS Pro yazılımında yer alan VRP (Vehicle Routing Problem) çözümleyicisini kullanarak mevcut veriler ile optimize rotalar oluşturularak mevcut rotaların optimize edilmesini sağlanmıştır. Şekil 3'te yer alan akış diyagramında görüldüğü gibi, yeni bir ArcGIS Pro projesinde, Analysis sekmesinden Workflows grubu içerisinde Network Analiz Sekmesini seçilir ve açılan pencerede Vehicle Routing Problem Sekmesi seçilir. Bu şekilde yeni bir analiz katmanı oluşturulur.

Ağ Analisti VRP sekmesi ile "Giriş Verileri" bölümünde "Konteyner Noktaları", "Garaj", transfer istasyon ve yeni rotalar (araçlar için) oluşturabilir. Bu seçenekler senaryo özelleştirilmesine olanak tanımaktadır. Atık toplama nokta verilerinin toplu olarak içe aktarılması seçenekleri gibi, bazı seçenekler ArcGIS Pro projesine daha önceden oluşturulan mevcut özelliklerin getirilmesine olanak tanır. Alternatif olarak, "Özellik Oluştur" seçeneği, Araç Rotalama Probleminin tüm parçalarını önceden var olan herhangi bir veriye ihtiyaç duymadan oluşturulmasına olanak tanır. Basit bir Kentsel Katı Atık Aracı Rotalama Probleminde bir garaja, toplama ekipmanlarına ve lokasyonlarına, kapasitelerine, bir rotaya ve aktarma istasyonuna ihtiyaç vardır. Ayrıntılı olarak araç rotalama probleminde ihtiyaç duyulan veriler aşağıda verilmiştir.

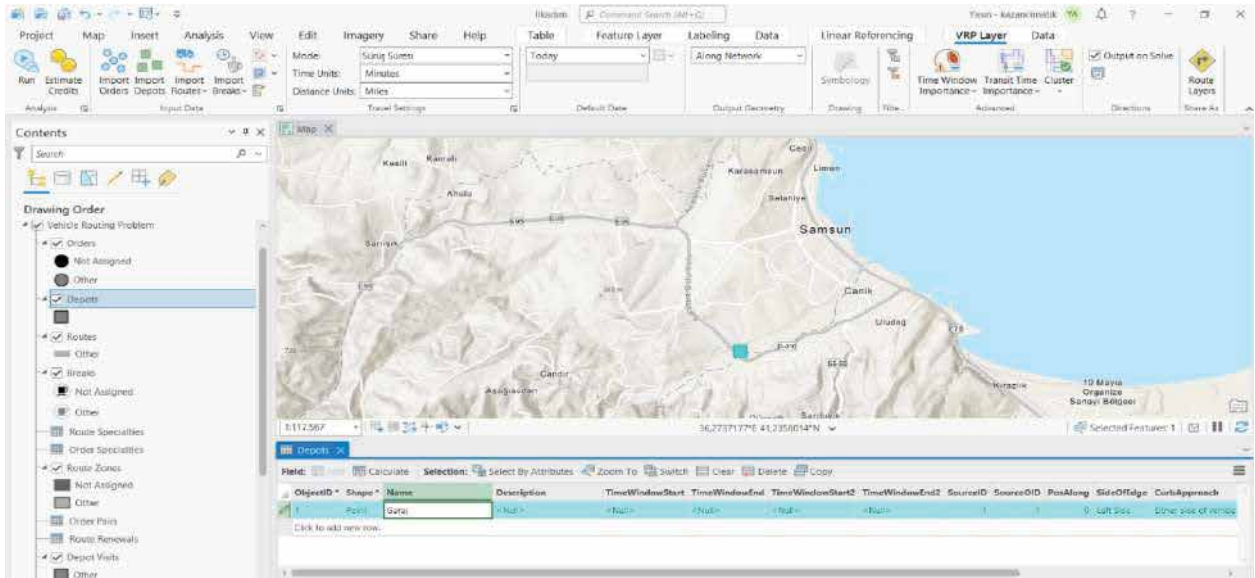


Şekil 3. ArcGIS PRO'da Network Analiz Modülüne Geçiş.

3.1. Garajın ve Aktarma İstasyonunun Kurulması

Depo Noktaları (“Depods”) belirlenir ve VRP katmanına eklenir. “Depots” Özellik Sınıfında Araç Rotalama Problemini çözmek için çeşitli veriler saklanmaktadır. Bu verilerin başlıcaları aşağıda yer almaktadır; Bir kentsel katı atık toplama aracının iş gününün başında yola çıktığı, işe başladığı ve gün sonun da geri döndüğü yer olarak nitelendirilebilir. Ağ Analisti “VRP Özellik Oluştur” bölümünde, Garaj konumunu oluşturmak için Depotsu seçilir. İlkadım ilçesinin

güneyinde Mert Irmağının üstünde Irmak Caddesinde yer alan İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Şantiyesinin yeri seçilir. Şekil 4’de gösterilen İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Garajının adı veri tabanının da “Garage” olarak değiştirilir. Aktarma İstasyonu ise “Transfer” olarak belirtilmiştir ve operasyon sonucu dolan kentsel katı atık toplama araçlarının boşaltılabileceği bir yenileme konumu olarak işlev görür. Aracın içerisindeki atıklar daha büyük hacimli bir araca aktarıldıktan sonra araç görevine kaldığı yerden devam eder. Şekil 4’de İlkadım Belediyesi temizlik işleri garajı gösterilmektedir.

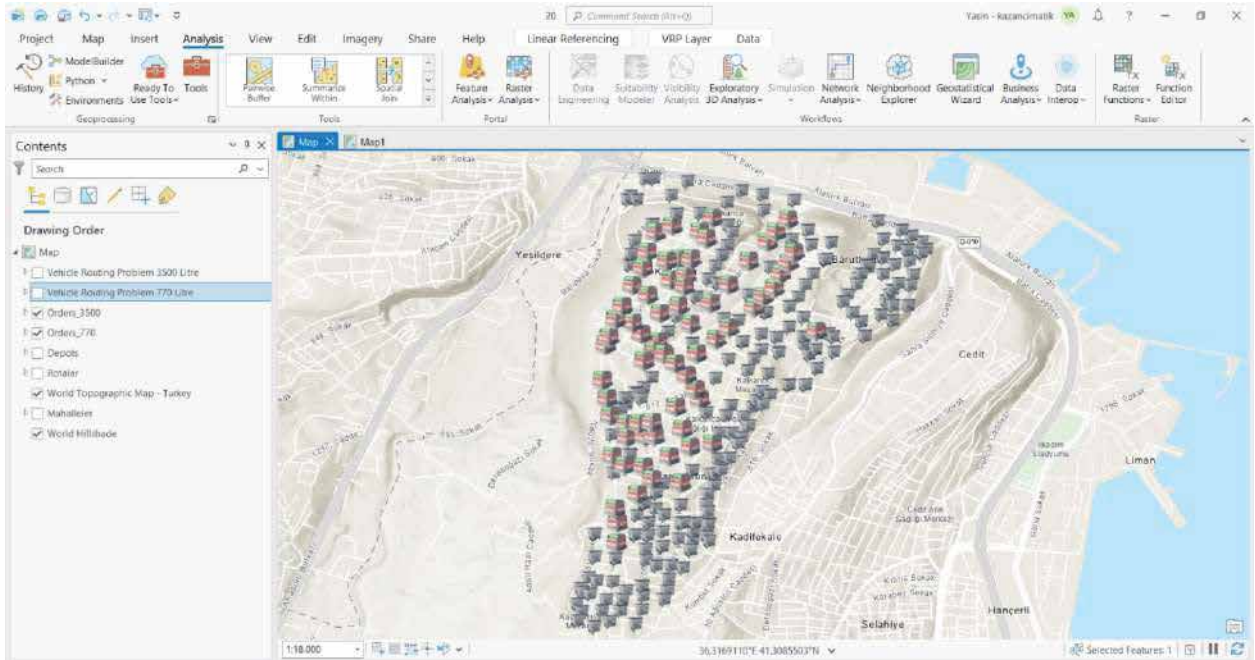


Şekil 4. İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Garajının ArcGIS Pro Üzerinde Gösterimi.

3.2. Emir/Sipariş/Konteyner Operasyonu

Atık toplama noktaları, bölge sayısı ve araçların gruplanması. Garaj eklendiği gibi, Ağ Analisti VRP Özellikler Oluştur bölümünde konteyner konumlarını oluşturulmuştur ve Şekil 5’te verilmiştir. Orders özellik sınıfı, belirli bir araç rotalama problemi analiz katmanının parçası olan emirleri saklar. Söz konusu emirlerde teslim alınacak öğeler

varsa öğeler bir veya daha fazla kapasiteye sahip olabilir; bu kapasite, ağırlık, hacim veya birim sayısı gibi istediğiniz herhangi bir biçime veya ölçüm kombinasyonuna bağlı olabilir. Bir teslim almanın veya bir tür hizmetin veya operasyonun varış yerini temsil edebilir. Bu senaryoda, kentsel katı atık konteynerlerinin hidrolik sıkıştırılmalı ve vinçli sistem hidrolik sıkıştırılmalı araçları tarafından kaldırılması ve içerisindeki kentsel katı atıkların araca aktarılması işlemi temsil etmektedir.



Şekil 5. Çalışma Alanındaki Atık Toplama Ekipmanlarının ArcGIS Pro Üzerinde Gösterimi.

3.3. Hesaplama Verileri

Aşağıda yer alan Tablo III'te listelenmiş ve devamında senaryo için belediyeden alınan veriler özetlenmiştir. İlkadım Belediyesi'nden alınan veriler sisteme manuel olarak girilmiştir.

Tablo III: Hesaplama Verileri.

Araç Kapasitesi	Konteyner Kapasitesi	Doluluk Oranı	Sıkıştırma Katsayısı
7+1 m ³	770 L	%50	4

- Konteynerlerin Yarım Dolu Hacmi:
 - Bir konteynerin yarım dolu hacmi: 770 litre × 0,5 = 385 litre = 0,385 m³
- Sıkıştırma Katsayısını Uygulama:
 - Konteynerlerin sıkıştırma faktöründen dolayı kapladığı hacim: 0,385 m³/4 = 0,09625 m³ (Bir konteynerin araç içinde kapladığı yer)
- Araç Kapasitesini Kullanma:
 - Araçın toplam kapasitesi: 7+ 1 m³
 - Bir konteynerin kapladığı yer: 0,09625 m³

4. Konteyner Sayısını Hesaplama:

$$\text{Aracın alabileceği konteyner sayısı: } 7+ 1 \text{ m}^3 / 0,09625 \text{ m}^3 \approx 83 \text{ adet}$$

Bu durumda, araç tam olarak 83 konteyneri alabilir. 7 m³ kapasitesiyle, yarım dolu ve sıkıştırma katsayısı 4 olan 83 adet 770 litrelik konteyner taşıyabilir.

3.4. VRP Çözümlemesini Çalıştırma

Veriler değerlendirilerek rota optimize edilmesi gerekmektedir. Network Analyst VRP sekmesinde Rotaları İçer Aktar'a tıklanır ve Rota Ekle seçilir. Araç Rotalama Sorunlu Rotaları Ekle adı verilen bir coğrafi işlem bölümü açılacaktır. Bu senaryoda, yalnızca bir rota kullanılacaktır, "Rota Sayısı" kutusuna 1 girilir. Rotaya 'Rotal' adını verilir. Başlangıç Deposu Adı 'Garage' ve Bitiş Deposu Adı için 'Transfer' i girilir. İstenirse "En Erken" ve "En Geç Başlangıç Saatleri" ayarlanabilir. Bu çalışmada bir aralık verilmemiştir, araçların çalışma saatlerinde işe başlayacak şekilde veri girişi yapılmıştır. Araç Rotalama Sorunu Rotaları Ekle coğrafi işlem bölümünde, rotaları Araç Rotalama Sorununa eklemek için "Çalıştır" komutu seçilir.

4. Çıktılar ve Tartışma

ArcGIS Pro'da oluşturulan rotalar analiz edilir. Rotaların yoğunlukları, toplam mesafe, zaman ve diğer ilgili metrikler incelenir. Temizlik İşleri Garajı, konteyner noktaları oluşturulmuştur ve sistemde Kalkanca bölgesi için Vinçli Araç Rotasını eklenmiştir. Network Analyst VRP sekmesinin Analysis bölümünde Run seçeneğine tıklanarak Araç Rotalama Problemini çalıştırıldığında tüm konteyner

noktalarını aktarma istasyonuna bağlayan bir rota çıktı-sı belirlenmiştir. Bu, rota, sistemde yer alan ayarlar kapsamında, sisteme eklediğimiz vinçli sistem 3.500 litrelik kentsel katı atık konteynerlerini toplamak için en verimli rotadır. Ayrıca bölgedeki 770 litrelik konteynerler için ise 2 adet optimum rota oluşturulmuştur. Yapılan optimizasyon ile elde edilen yeni rotaların verileri Tablo IV'te listelenmiştir. Bölgede 211 adet 770 litrelik ve 74 adet 3.500 litrelik, toplam 285 konteyner bulunmaktadır.

Tablo IV: Rotalar için ArcGIS Pro Optimizasyonu ile Elde Edilen Süreler ve Yol Uzunlukları.

Rota	Konteyner Sayısı	Kapasite	Yolda Geçen Süre (Dakika)	Konteyner Kaldırma Süresi (Dakika)	Toplam Süre (Dakika)	Toplam Yol (km)	Döküm İçin Gerekli Yol (km)	Optimize Yol (km)
1*	106	770	71,70	106	177,70	36,61	18	18,61
2*	105	770	58,58	105	163,58	27,97	18	9,97
3**	74	3.500	55,93	148	203,93	31,62	18	13,62

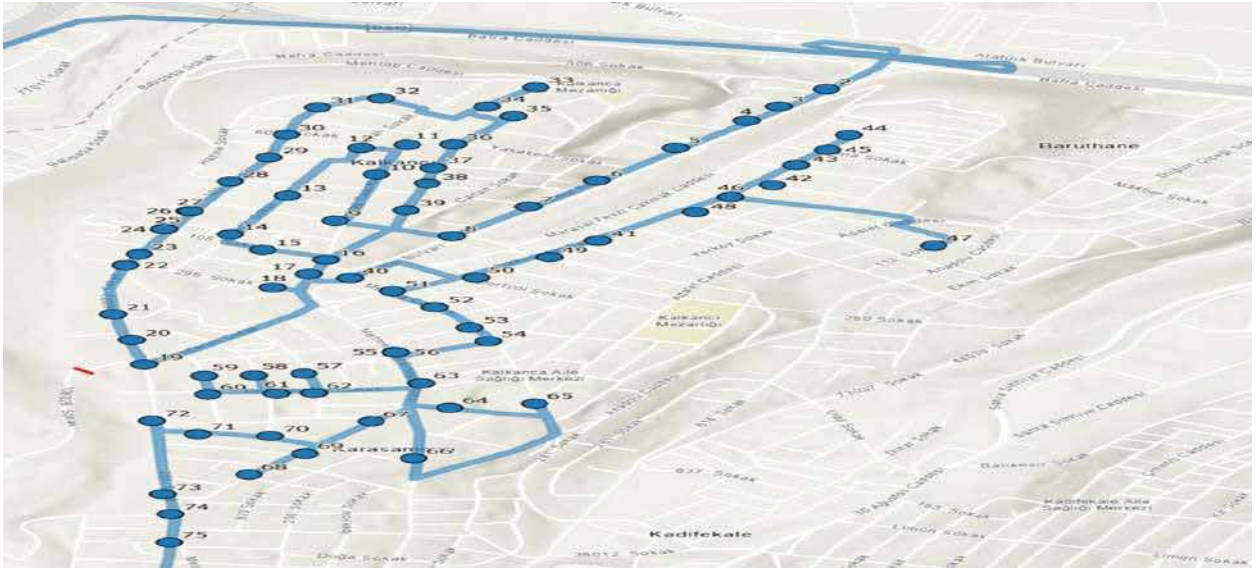
*1-2 Normal Hidrolik Sıkıştırılmalı 770 litrelik konteynerleri toplayan araç. **3- Vinçli Hidrolik sıkıştırılmalı 3.500 litrelik konteynerleri toplayan araç.

Şekil 6'da çalışma alanında bulunan 770 litrelik, Şekil 7'de ise 3.500 litrelik konteynerleri kaldıran hidrolik sıkıştırılmalı

araçların optimize edilmiş rotaları verilmiştir.



Şekil 6. 770 Litrelik Konteynerlerin Bölgedeki Yerleşimi ve İki Aracın Bölge Rotaları.



Şekil 7. 3.500 Litrelik Konteynerleri Kaldıran Vinçli Araç Rotası.

5. Sonuç ve Değerlendirme

ArcGIS Pro'nun araç rotalama problemi ağ analistinin Samsun şehrindeki İlkadım ilçesinde bulunan çalışma bölgesinden, gerçek atık toplama operasyonlarından elde edilen verilerle birleştirilmesiyle, mevcut atık toplama taşıma süreçlerinin iyileştirilmesi sağlanabilir. Çalışmamızda kullandığımız modelimizde trafik kaynaklı etkileri veri elde edilemediğinden dikkate alınmamıştır. Konteynerlerin yarı dolu olduğu kabul edilmiştir.

İyi bir çözüm nasıl olmalıdır;

- Mesafeyi ve süreyi minimize etmelidir,
- İyi bir kümeleme yapmalıdır,
- Cadde ve sokaklardan bir ya da iki kere geçilerek trafik yoğunluğu oluşturmamalıdır.
- Yüklü büyük araçlar ile U dönüşlerinden kaçınılmalıdır.

Mevcut ve Önerilen Rotaların Performans Karşılaştırılması

Çalışma bölgesi İlkadım İlçesi Kalkanca Karasamsun ve Baruthane Mahallelerinde mahalleler içi toplama rotası sürücü inisiyatifine bırakıldığı daha önce belirtilmişti. Araçların hangi rotayı takip edecekleri sürücü inisiyatifine bırakılmasının sonucu olarak sürücü değişikliklerinde rota değişimi de yaşanmakta ve bu değişim maliyetler konusunda çelişiklere neden olmaktadır. Çalışmada önerilen rotaların mevcut durumla karşılaştırılmasının yapılabilmesi, ancak araç sürücüsünün takip edilerek hangi rotayı izlediğinin tespiti-ne bağlı olması, uygulama açısından bazı olanaksızlıklar içerse de genel olarak kullanılan rotalar ilgili bölge aracının GPS kayıtlarından alınmak sureti ile belirlenmiştir. Saha çalışmaları ve optimizasyon sonucu elde edilen veriler Tablo V'de listelenmiştir.

Tablo V: Mevcut Durum ve Optimizasyon Sonucu Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması.

Rota	Mesafe	Önerilen Rota için Net Mesafe	Azalma (%)
Rota1 -1. Araç	18,77		
Rota2 - 2. Araç	20,96		
Optimize Rota 1-2		28,58	
Toplam	39,73	28,58	28,05
Rota3-3. Araç	21,74	13,62	
Toplam	21,74	13,62	37,34

Atık toplama işlemi için gereken sürenin, harcanan performansın ve yakıtın azaltılması amacıyla optimize edilmiş sonuçlar, Normal hidrolik sıkıştırılmalı araçlarda %28,05 ve vinçli hidrolik sıkıştırılmalı araçlarda %37,34'lük bir mesafe azaltma oranına işaret etmektedir. Bu veriler operasyonel olarak gerçekleştirilecek kentsel katı atık toplama işlemlerinde gerçek manada önemli bir maliyet azaltımını işaret etmektedir. Bu kapsamda yeni rotalarda seyredecek araçların karbondioksit (CO₂) emisyonları da aldıkları yol oranında azalacağı değerlendirilmektedir. Sürdürülebilir

bir atık yönetimi stratejisi, yaşama alanlarımızın gelişmesine ve toplumun genel refahına katkıda bulunabilir. Bu kapsamda sürüş mesafesinde yaşanan oransal azalmalar şehrin daha yaşanabilir bir hal almasına büyük katkılar koyacağı değerlendirilmektedir. Bu çalışmadaki genel amaç; CO₂ emisyonlarının azaltılması ve atık toplamaya yönelik güzergâh optimizasyonu çalışmaları için diğer birçok atık toplama sorumluluğu olan yerel yönetimlere daha çevreci daha sürdürülebilir ve iklim dostu bir yol uygulama arayışıdır.

Kaynakça

- Apaydın, Ö. (2004). Trabzon Şehri için Katı Atık Yönetim Alternatiflerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Destekli Optimizasyonu (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baras, N., & Ziouzos, D. (2021). Waste Collection Vehicle Navigation in Modern Cities. 6th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Network and Social Media Conference (SEEDACECNM).
- Che Soh, Z. H., & Husa, M. A. A. (2019). Smart Waste Collection Monitoring and Alert System via IoT. 9th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE).
- Dantzig, G. B., Fulkerson, D. R., & Johnson, S. M. (1954). Solution of a Large-Scale Traveling Salesman Problem. Operations Research, 2, 393.
- Erol, V. (2006). Araç Rotalama Problemleri için Populasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Kuru, H. (2018). Atık Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı: Beykoz İlçesi Örneği (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuşçu, Ö. (2009). Araç Rotalama Sistemlerinde Sezgisel Yöntem (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Lan Vu, H., Bolinbroke, D., Wai Ng, K. T., & Fallah, B. (2018). Assessment of Waste Characteristics and Their Impact on GIS Vehicle Collection Route Optimization using ANN Waste Forecasts. Waste Management, 88, 118-130.
- Lan Vu, H., Wai Ng, K., & Richter, A. (2019). Interactions of Residential Waste Composition and Collection Truck Compartment Design on GIS Route Optimization. Waste Management, 102, 613-623.
- Le Dinh, C., & Fujiwara, T. (2021). Optimization of Solid Waste Collection System in a Tourism Destination. Global Journal of Environmental Science and Management, 8(3), 1-18.
- Malakahmad, A., Bakri, P. M., Mokhtar, M. R. M., & Khalil, N. (2013). Solid Waste Collection Routes Optimization via GIS Techniques in Ipoh City, Malaysia. Procedia Engineering, 77, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.023>
- Nguyen-Trong, K., Nguyen-Thi-Ngoc, A., Nguyen-Ngoc, D., & Dinh-Thi-Hai, V. (2017). Optimization of Municipal Solid Waste Transportation by Integrating GIS Analysis, Equation-Based and Agent-Based Model. Waste Management, 59, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.048>
- Rego, C. (2001). Node Ejection Chains for The Vehicle Routing Problem: Sequential and Parallel Algorithms. Parallel-Computing, 27, 201-222.
- Rizvanoglu, O., & Kaya, S. (2019). Optimization of Municipal Solid Waste Collection and Transportation Routes Through Linear Programming And Geographic Information System: A Case Study from Sanliurfa, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment.
- Şahin, C. (2014). Sinop İli Kentsel Katı Atık Toplama ve Taşıma Optimizasyonu (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). Models, Relaxations and Exact Approaches for the Capacitated Vehicle Routing Problem. Discrete Applied Mathematics, 123(1), 487-512.
- Wassan, N. A., Wassan, A. H., & Nagy, G. (2008). A Reactive Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickups and Deliveries. Journal of Combinatorial Optimization, 15(4), 168-386.

Boyar Madde Gideriminde Çam Kozalaklarının Adsorban Olarak Kullanımının Araştırılması

Investigation of the Use of Pine Cones as Adsorbents for Dye Removal in Wastewater Treatment

Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
nbektas@gtu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-8257-9452

Sema DİDİNÇ

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
sema.didinc2016@gtu.edu.tr

Petek Elif FİDAN

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
petek.fidan2017@gtu.edu.tr

Selen Öksüz

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

Arş. Gör. Eda CEYLAN

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
edaceylan@gtu.edu.tr

Makale Türü:

ARAŞTIRMA

Gönderilme Tarihi:

29 Nisan 2025

Kabul Tarihi:

12 Mayıs 2025

Öz

Teknolojik gelişmeler ve sanayileşmenin artışı çevre üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmıştır. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler içeren atıksular, endüstriyel kirliliğin başlıca kaynaklarından biridir. Boyar maddelerin sudan uzaklaştırılması amacıyla çeşitli arıtım yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak, bu yöntemlerden bazıları, yüksek maliyetli olmalarının yanı sıra, arıtım sırasında daha tehlikeli yan ürünlerin oluşmasına sebep olabilmektedir. Bu durum, ekonomik ve çevresel açıdan daha uygun ve güvenilir yöntemlerin kullanımını gerekli kılmıştır.

Adsorpsiyon yöntemi; düşük maliyeti, kolay uygulanabilirliği ve zararlı yan ürün oluşumunu engellemesi nedeniyle tercih edilmektedir. Adsorpsiyon sürecindeki kritik bir nokta, adsorban malzemenin seçimidir. Bu çalışma, üniversite kampüsümüzde bolca bulunan çam kozalaklarını adsorban malzeme olarak değerlendirmiştir. Çam kozalaklarının adsorban özelliklerini artırmak için kimyasal modifikasyon yöntemi kullanılmış ve HCl ile modifikasyon gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çam Kozalağı, Adsorpsiyon, Düşük Maliyetli Adsorbent, Boya Adsorpsiyonu.

Abstract

Technological advancements and the rise of industrialization have created significant adverse effects on the environment. Wastewaters containing dyes, commonly used in the textile industry, are among the primary sources of industrial pollution. Various treatment methods have been developed to remove dyes from water; however, some of these methods are associated with high costs and may generate by-products that are even more hazardous than the original pollutants. This situation necessitates the adoption of more economical and environmentally sustainable methods.

Adsorption is a preferred method due to its low cost, ease of application, and ability to prevent the formation of harmful by-products. A critical aspect of the adsorption process is the selection of the adsorbent material. This study evaluates the utilization of pine cones, which are abundantly available, particularly on the university campus, as adsorbent material. To enhance the adsorptive properties of pine cones, a chemical modification method using HCl was applied.

In this research, pine cones washed with pure water were ground using a simple grinder and subjected to sieve analysis. Following the preliminary treatment, pine cones were modified with HCl, their pH adjusted to 7, and stored under appropriate conditions. The results demonstrated that raw and acid-modified pine cones could effectively serve as adsorbent materials for the removal of dyes in synthetic wastewater. Consequently, it was concluded that pine cones, which are widely available in Türkiye, can be evaluated as eco-friendly and cost-efficient adsorbent materials.

Keywords: Pine Cone, Adsorption, Cost-Effective Adsorbent, Dye Adsorption.

Giriş

Çevre kirliliği, sanayileşmenin hız kazanmasıyla birlikte dünya genelinde giderek artan bir tehdit unsuru haline gelmiştir. Özellikle tekstil endüstrisi, üretim süreçlerinde yüksek miktarda su tüketimi ve boya kullanımına bağlı olarak ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Tekstil atıksuları içerisinde yer alan boyar maddeler, kimyasal yapıları nedeniyle biyolojik olarak parçalanmaya karşı direnç göstermekte ve doğal su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Dünya nüfustaki artışa bağlı olarak tekstil ürünlerine olan talep yükselmiş dolayısıyla tekstil kaynaklı atıksu miktarının da önemli ölçüde çoğalmasına neden olmuştur (Gilbert & Wendell, 2013). Bu artış, özellikle kullanılan boyar maddelerin doğada biyolojik olarak kolayca parçalanamaması nedeniyle ciddi çevre kirliliği sorunlarına yol açmaktadır. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddelerin yaklaşık %15'inin üretim sürecinde doğrudan çevreye karıştığı bilinmektedir. Çevre kirliliğini gidermek amacıyla çeşitli atıksu arıtma yöntemleri geliştirilmiş ve uygulanmıştır. (Reife vd., 1996; Samchetshabam vd., 2017).

Mevcut arıtım yöntemleri, bu kirleticileri uzaklaştırmada etkili olsa da arıtım sürecinde oluşan ikincil atıklar yeni çevresel sorunlar doğurabilmektedir. Bu bağlamda, çevre dostu, sürdürülebilir ve ekonomik alternatiflerin geliştirilmesi büyük bir gereklilik haline gelmiştir (Forgacs vd., 2004; Holkar vd., 2016). Özellikle doğada bol bulunan ve düşük işleme gereksinimi duyan malzemelerin kullanımı, sürdürülebilir atık yönetimi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır (Yanbo vd., 2019; Sulyman vd., 2017). Doğal döngüde hiçbir maddenin kaybolmadığı, yalnızca form değiştirdiği gerçeği göz önünde bulundurulduğunda, bu malzemelerin adsorpsiyon gibi yöntemlerle tekrar çevreye kazandırılması önem taşımaktadır (Crini, 2006; Sulyman vd., 2017). Adsorpsiyon, atıksulardan organik maddelerin uzaklaştırılması amacıyla kullanılan etkili bir yöntemdir. Bir adsorpsiyon sürecinin etkinliği, çeşitli operasyonel ve yapısal parametrelerin etkileşimine bağlıdır. Özellikle çözeltinin pH değeri, sıcaklık, adsorbent dozu, temas süresi ve kirleticinin başlangıç derişimi gibi faktörler, adsorpsiyon kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Bu parametrelerin uygun şekilde optimize edilmesi, adsorpsiyonun gerçekleşme olasılığını ve verimliliğini artırmaktadır. Etkili bir adsorpsiyon süreci için kullanılan adsorbentin bazı temel özellikleri taşıması gerekir. Bunlar arasında yüksek yüzey alanı, gelişmiş gözenek yapısı, yüzeydeki aktif fonksiyonel gruplar ve hedef kirleticie karşı gösterdiği seçicilik yer almaktadır. Ayrıca, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından adsorbentin doğal, bol miktarda bulunabilen, işlenmesi kolay ve düşük maliyetli olması büyük avantaj sağlamaktadır. Bu tür malzemeler, özellikle büyük ölçekli uygulamalarda operasyon maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilir. Bu süreçte en yaygın kullanılan adsorban, geniş yüzey alanı, yüksek gözenek hacmi ve porozite yapısı nedeniyle aktif karbondur. Ancak yüksek maliyeti, aktif karbon kullanımını sınırlamaktadır (Ahmaruzzaman, 2008). Bu nedenle, düşük maliyetli adsorbanların araştırılmasına başlanmıştır. Adsorbanın düşük maliyetli olarak kabul edilebilmesi için doğada bol miktarda bulunması ve işlenme gereksiniminin minimum düzeyde olması beklenmektedir (Rafatullah vd., 2010).

Çam kozalaklarının adsorban olarak kullanımıyla ilgili literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar genel olarak çam kozalaklarının düşük maliyetli ve çevre dostu bir adsorban alternatifi olarak değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Momčilović vd., (2012) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, çam kozalaklarından elde edilen aktif karbon üzerine katyonik bir fenotiyazin boyası olan Metilen Mavisinin adsorpsiyonu incelenmiştir. Çalışmada temas süresi, başlangıç boya konsantrasyonu ve çözeltinin pH değeri gibi parametreler değiştirilmiş ve kinetik verilerin yalancı ikinci dereceden kinetik model ile iyi uyum sağladığı belirlenmiştir. Denge verilerinin ise Langmuir izoterm modeli ile en iyi şekilde temsil edildiği bulunmuştur. Sonuç olarak, geliştirilen aktif karbonun yüksek gözenekliliğe, gelişmiş yüzey reaktivitesine ve katyonik boyalara karşı yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu ortaya konmuştur. Aldemir, Kul ve Elik (2019) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, çam kozalak tozunun Metilen Mavisinin sulu çözeltiden gideriminde adsorban olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri sonucunda elde edilen veriler, Freundlich izoterm modelinin Langmuir ve Templekin izoterm modellerine kıyasla daha iyi bir uyum gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu sonuç, çam kozalaklarının heterojen yüzey yapısına sahip olabileceğini düşündürmektedir. Dawood ve Sen (2012) ise çam kozalaklarının hem ham

hem de hidroklorik asit ile modifiye edilmiş formlarını kullanarak, aniyonik bir boya olan Kongo Kırmızısının giderimini incelemişlerdir. Asitle modifikasyon işleminin çam kozalağı biyokütlesinin özgül yüzey alanını artırdığı ve ortalama partikül boyutunu küçülttüğü belirlenmiştir. Kesikli adsorpsiyon deneyleri sonucunda, başlangıç boya konsantrasyonu, temas süresi ve sıcaklık artışıyla adsorpsiyon miktarının arttığı; çözeltinin pH değerinin ve adsorban miktarının artışıyla ise adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı tespit edilmiştir. Kinetik modellemeler sonucunda, adsorpsiyon sürecinin yalancı ikinci dereceden kinetik modele uyum gösterdiği; denge verilerinin ise Freundlich izoterm modeli ile daha iyi temsil edildiği bulunmuştur. Bu çalışmalar, çam kozalaklarının hem düşük maliyetli hem de çevre dostu bir adsorban olarak çeşitli boyar maddelerin gideriminde etkili bir alternatif oluşturabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada çam kozalaklarının doğal bir adsorban olarak kullanılarak, boyar madde içeren atık sulardan renk gideriminde etkinliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca, adsorpsiyon sürecinin iki farklı yöntemde elde edilen adsorbanların temas süresi üzerindeki etkileri incelenmiş ve adsorpsiyon izotermeleri kullanılarak süreç karakterize edilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, boya giderme işlemi için işlem görmemiş ve hidroklorik asit ile modifiye edilmiş çam kozalaklarından elde edilen adsorban kullanılmıştır (Dawood & Sen, 2012). Çam kozalakların işlem hazırlık işlem adımları Şekil 1'de verilmiştir.

Adsorbent Hazırlama: Bu amaçla, Gebze Teknik Üniversitesi kampüs alanından toplanan çam kozalakları deneysel çalışmalar için kullanılmıştır. Toplanan çam kozalakları, bir çekiş ile ezilmiş, saf su ile yıkanıp, kurutulmuştur. Sonrasında tane boyutu 150 µm'lik bir elek yardımıyla elenip ham adsorban elde edilmiştir.

Sonrasında adsorbentin yüzey özelliklerini iyileştirmek amacıyla HCl ile kimyasal aktivasyon uygulanmıştır. Bu işlem, yüzeydeki inorganik safsızlıkların uzaklaştırılması,

gözenek yapısının geliştirilmesi ve daha fazla aktif bölge oluşumu için tercih edilmiştir. Asidik modifikasyonun adsorpsiyon kapasitesini artırdığı literatürde de sıkça raporlanmaktadır. Kullanılan adsorbentin yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla FTIR analizi ile fonksiyonel gruplar tespit edilmiştir. Ancak çalışma kapsamında bütçe ve ekipman sınırlamaları nedeniyle BET yüzey alanı tayini gerçekleştirilememiştir. Bununla birlikte, ileriki çalışmalarda bu analiz planlanmakta olup, adsorpsiyon kapasitesinin yüzey alanı ile ilişkisi detaylı olarak araştırılacaktır.

Asitle modifiye edilmiş adsorban eldesi için, 10 gram kırılmış ham halindeki çam kozalakları, 0.1 M HCl ile manyetik karıştırıcıda 20 saat boyunca karıştırılmıştır. Karıştırma işleminin ardından, karışım bir elekten süzöldükten sonra saf su ile yıkanmıştır. Filtreleme işleminin ardından, karışım gece boyunca 50 derecede kurutulmak üzere etüve yerleştirilmiştir. Kuruma işlemi tamamlandıktan sonra, filtre kâğıdından sıyrılarak tüpe alınmıştır (Şekil 2).



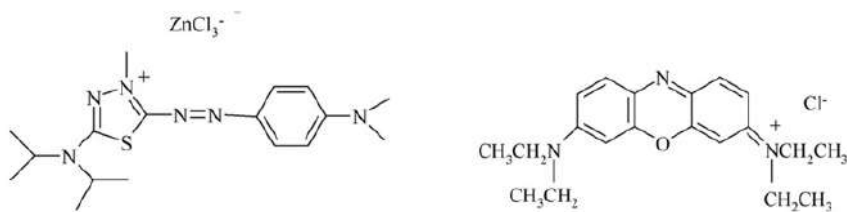
Şekil 1. Deneysel Çalışma Ana Basamakları.



Şekil 2. Adsorban hazırlama ve adsorpsiyon basamakları.

Adsorpsiyon çalışması: Çalışmanın bu bölümünde, ham ve asitle modifiye çam kozalaklarının boya adsorpsiyon özellikleri kesikli deneylerle incelenmiştir. Tüm kesikli kinetik denemeler, 75 mg/L konsantrasyonda boyar madde ile her bir deneyde 0.5 g adsorban içeren 100 mL'lik cam erlenler ile çalkalayıcı kullanılarak 300 rpm'de gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda boyar madde olarak Dystar firmasından alınan, C.I. Basic Blue 159 ve C.I. Basic Blue 3 boyaların karışımından oluşan Astrozon Mavisi kullanılmıştır (Şekil

3). Boyar madde laboratuvar ölçeğinde çalışma için seçilmiş olup, tekstil endüstrisinde yaygın olarak karşılaşılan boyar maddelere temsil teşkil etmesi amacıyla kullanılmıştır. Seçilen boyar madde, sulu ortamlarda yüksek çözünürlüğe sahip olup, renk giderimi açısından uygun bir model kirletici olarak değerlendirilmiştir. Bu sayede elde edilen sonuçların, tekstil atıksularının arıtımına yönelik potansiyel uygulamalara altlık oluşturması hedeflenmiştir.



Şekil 3. Kullanılan Boyar Maddenin (Astrazon Mavisi) Kimyasal Yapısı.

Kinetik testlerde, 75 mg/L boya konsantrasyonu, izoterm deneyi için ise, 25mg/L ile 150 mg/L arasında değişen farklı boya konsantrasyonu hazırlanmıştır. Veri analizini sürecinde her bir zaman dilimi için ayrı erlenler kullanılmıştır. Çözeltilerden adsorban, santrifüj yardımıyla ayrılmış ve denge çözeltisindeki son boya konsantrasyonları spektrofotometrede ölçülmüştür. Adsorpsiyon sonrası FTIR (Fourier Transform Kızıl Ötesi) spektrofotometresi ile yüzey ölçümleri yapılmıştır.

Zamanla adsorbe edilen boya miktarı (mg/g) ve giderim verimi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$qt = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad (\text{Denklem 1})$$

$$\text{Giderim Verimi (\%)} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (\text{Denklem 2})$$

C_0 (mg/L) Başlangıç boya konsantrasyonu

C_t (mg/L) t zamanındaki boya konsantrasyonu

V (L) Çözeltinin hacmi

m (g) Çam kozalaklarının (adsorbent) ağırlığı

İzoterm Çalışmaları:

İzotermi ifade etmek için yaygın olarak kullanılan Langmuir ve Freundlich izotermi modelleri kullanılmaktadır (Brunauer ve ark., 1999).

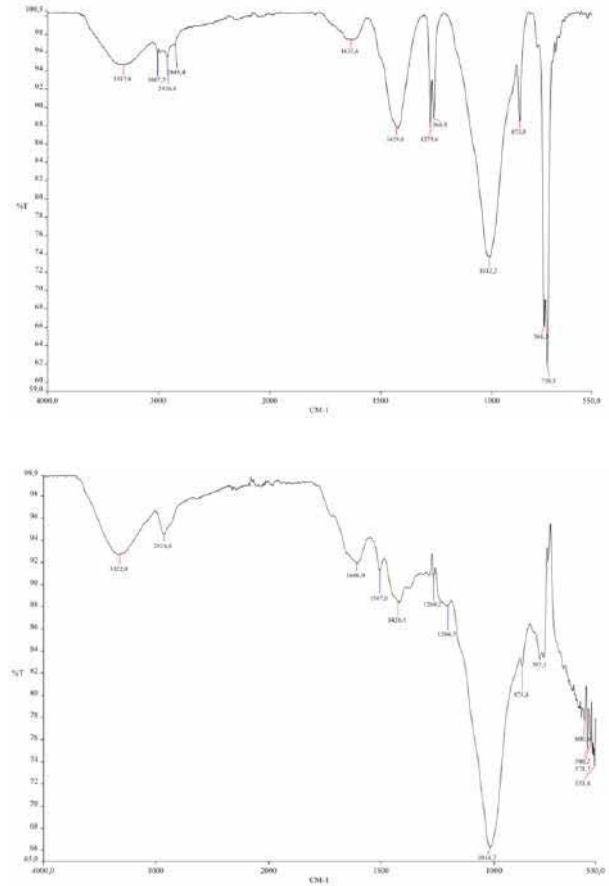
Freundlich İzotermi, heterojen yüzeylerde gerçekleşen adsorpsiyonu tanımlar ve adsorplanan madde miktarı ile çözeltideki denge konsantrasyonu arasında logaritmik bir ilişki olduğunu varsayar ve şu şekilde ifade edilir:

$$\ln(q_e) = \ln K_f + 1/n \ln(C_e) \quad (\text{Denklem 3})$$

- q_e : Adsorban başına adsorbe edilen boya miktar (mg/g)
- C_e : Dengedeki boya konsantrasyonu (mg/L)
- K_f : Adsorpsiyon kapasitesi
- n : Adsorpsiyon yoğunluğu

Sonuç ve Tartışma

FTIR Değerlendirmeleri: Çam kozalakları, hücre duvarında farklı gruplar içerir. Bu farklı gruplar, çam kozalağının yüzeyinde adsorpsiyon aktivitesini artırır. Şekil 4'de ham ve HCl ile modifiye edilmiş çam kozalaklarının FTIR görüntülerini verilmiştir. Şekil incelendiğinde, farklı grupların boyaya bağlanabileceğini gösteren birkaç farklı pik oluşumu gözlemlenmektedir. Literatüre göre FTIR analizlerinde 3300 cm^{-1} civarındaki pikler -OH (hidroksil) veya -NH (amin) gerilimlerini, 2900 cm^{-1} civarındaki pikler C-H (alifatik) gerilimini, $1600\text{--}1400 \text{ cm}^{-1}$ arasındaki pikler aromatik bileşiklerden kaynaklanan C=C (aromatik bükülme) veya C=O (karbonil) bağlarının gerilimini, $1200\text{--}1280 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki pikler ise C-O (ester/eter) veya P-O (fosfat) gerilimini, $\sim 1010 \text{ cm}^{-1}$ civarındaki pikler ise C-O-C (eter) ve C-O (alkol, polisakkarit) gerilimini, $\sim 900\text{--}750 \text{ cm}^{-1}$ arasındaki pikler ise aromatik C-H bağlarının oluştuğunu göstermektedir (Stuart 2005).



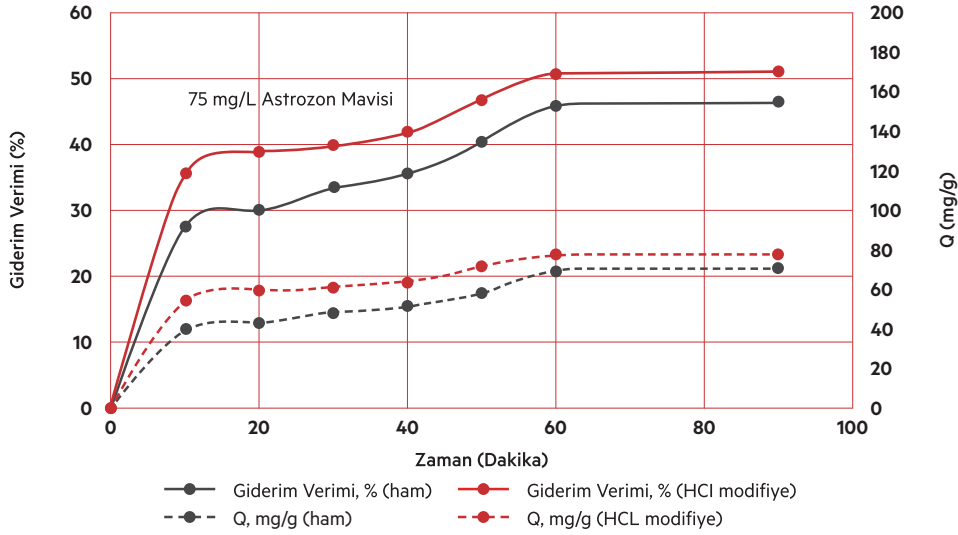
Şekil 4. Ham ve HCl Modifiye Adsorbenttin FTIR Görüntüleri.

FTIR analizi sonucunda, çam kozalağı tozunun spektrumları dört ana bant bölgesinde incelenmiştir: 3100–3600 cm^{-1} (–OH grupları), 2700–2900 cm^{-1} (alifatik C–H gerilmeleri), 1500–1750 cm^{-1} (karbonil grupları) ve 1500 cm^{-1} altı (parmak izi bölgesi) (Mtshatsheni ve ark. 2019; Pholosi ve ark. 2013). Deneysel çalışmalarda kullanılan modifiye edilmemiş çam kozalağının FTIR analizi incelendiğinde literatür ile benzer şekilde (O–H, C–H, C=O, –COO, –C–O, –C–O–C) gibi birçok fonksiyonel grubun varlığı görülmüştür (Wahiba ve ark. 2025). Modifiye edilmemiş çam kozalağının FTIR sonucu Pholosi ve ark. (2013) çalışmasında kullandığı modifiye edilmemiş çam kozalağı ile benzerdir. HCl ile modifikasyon işlemi sonucunda HCl ile modifiye edilmiş malzemelerin FTIR analizi tipik olarak hidroksil, karbonil ve karboksil grupları gibi fonksiyonel gruplara karşılık gelen piklerin yoğunluğunda ve pozisyonunda değişikliklere neden olmaktadır. Bu değişiklikler asit işlemi nedeniyle oluşan kimyasal etkileşimlerin göstergesidir (Biswas ve ark. 2020; Wahiba ve ark. 2025). Çalışma sonuçları incelendiğinde hem modifiye edilmemiş hem de HCl ile modifiye edilmiş çam kozalağında gözlemlenen gruplar incelenecek olursa Hidroksil/Amin bandı ($\sim 3320 \text{ cm}^{-1}$) her iki spektrumda grubun varlığını koruduğu görülmektedir. Sadece HCl ile modifikasyon sonrası hidroksil gruplarında bir miktar azalma gözlenmiş olup, bu durum literatürle benzerlik göstermektedir. –OH grupları, hidrojen bağı ve kompleks yapılar oluşturarak yüzeyin hidrofilikliğini artırır ve özellikle polar kirleticilerin (ağır metal iyonları (Pb^{2+} , Cu^{2+}), boyar maddeler (metilen mavisi) ve fenolik bileşikler gibi) adsorpsiyonunu güçlendirir. (Pholosi ve ark. 2013). Alifatik C–H gerilimi ($3000\text{--}2850 \text{ cm}^{-1}$) için incelendiğinde ise modifiye edilmemiş çam kozalağında üç ayrı pik ($3007, 2926, 2849 \text{ cm}^{-1}$) bulunurken, HCl ile modifiye edilmiş çam kozalağında 2928 cm^{-1} civarında tek baskın pik görülmektedir (Biswas ve ark. 2020). Bu, modifikasyonda zincirin bir kısmının yapısal olarak kısmen değiştiğini veya simetrisinin arttığını göstermektedir. Karbonil/Aromatik grupları ($1640\text{--}1500 \text{ cm}^{-1}$) modifiye edilmiş ve edilmemiş durumlar için değişkenlik göstermemiştir. Sadece modifiye edilmemiş çam kozalağında 1633.6 cm^{-1} (C=O ya da C=C), 1429.0 cm^{-1} (C–H bükülmesi) görülürken, modifiye edilmiş çam kozalağında bu piklerin aralığı 1608.9 ve 1507.0 cm^{-1} aralığında genişlemiştir. Bu durum modifiye edilmiş çam kozalaklarında halka üzerine bağlanma ya da ek fonksiyonel grup bağlanması şeklinde açıklanabilir (Biswas ve ark. 2020). Diğer taraftan Ester/Eter veya Fosfat bantları ($1280\text{--}1200 \text{ cm}^{-1}$) modifiye edilmiş çam kozalağında hem 1268.2 hem de 1204.7 cm^{-1} pikleri varken modifiye edilmemiş durumda tek bir 1275.6 cm^{-1} pikine rastlanmıştır. Bu durum modifikasyonla esterleşme, eterleşme veya fosfat grubunun eklendiği izlenimini veriyor (Wahiba ve ark. 2025). Parmak izi bölgesi ($<1000 \text{ cm}^{-1}$) incelendiğinde modifiye edilmemiş

çam kozalağı için $873.9, 764.2, 750.3 \text{ cm}^{-1}$ civarında birkaç pik varken; modifiye edilmiş çam kozalağında bu bölgelere ek $797.3, 660.0, 586.2, 571.7$ ve 553.8 cm^{-1} gibi yeni bantlar eklenmiştir. Bu durum modifiye edilmiş çam kozalağında molekül iskeletinin yeniden düzenlendiği, yeni bağsal çekimler oluştuğunu bize net bir şekilde göstermektedir.

Sonuç olarak hem modifiye edilmiş çam kozalağında modifiye edilmemiş olana göre Hidroksil/amin ve alifatik (C–H) grupları büyük oranda korunmuş durumdadır. Ancak çevresel bağlanma/düzen etkileriyle titreşim frekanslarında kaymalar ve yeni bant oluşumları mevcuttur. Bu doğrultuda modifiye edilmiş çam kozalağı özellikle $1600\text{--}1500 \text{ cm}^{-1}$ ile parmak izi bölgesinde ortaya çıkan yeni bantların oluşumu, halka fonksiyonelleştirme, ester/fosfat ekleme veya çapraz bağlama gibi başarılı bir kimyasal modifikasyonun varlığını göstermektedir.

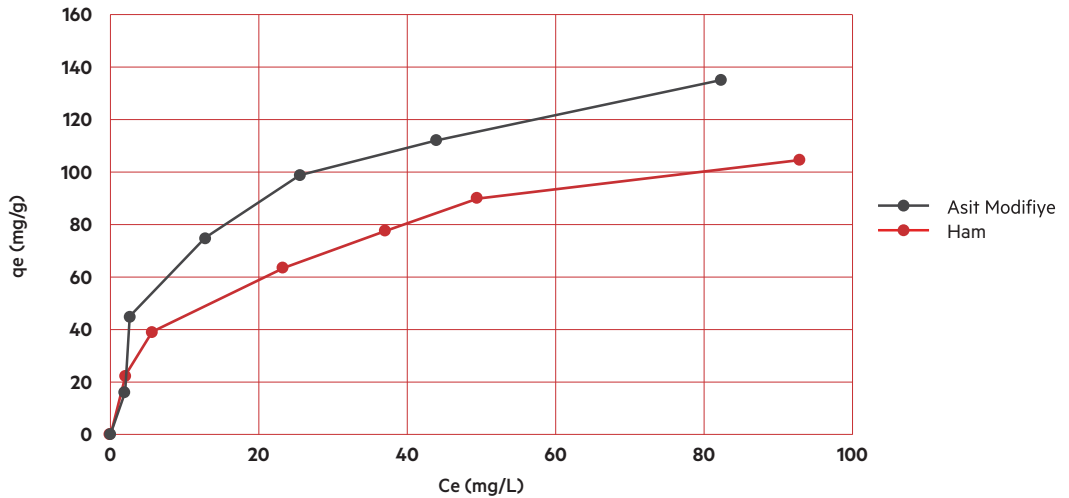
Kinetik ve İzoterm Çalışmaları: Kinetik çalışma ile boya adsorpsiyon süreci için optimum reaksiyon süresi belirlenmeye çalışılacaktır. Başlangıçta adsorban, çevresindeki sıvı filmde boya moleküllerini hızla adsorbe eder. Adsorpsiyon yönteminde kullanılan adsorban ve adsorplanan madde arasındaki optimum temas süresinin belirlenmesi, özellikle endüstriyel atıksu arıtımında bu tür adsorbanlar kullanıldığında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, adsorban kullanılarak boyalı çözeltilerden boya gideriminde temas süresinin etkisi incelenmiştir. Denklem 1 ve 2 kullanılarak elde edilen qt (zamanla adsorplanan madde miktarı) değerleri ve giderim verimleri Şekil 5'te sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi boya adsorpsiyon hızı, adsorban ile çözeltinin ilk temas ettiği anda en yüksek seviyededir. Ancak zaman ilerledikçe, adsorpsiyon bölgelerinin dolması nedeniyle adsorpsiyon hızı giderek azalır. Bu durum, adsorban yüzeyinde bulunan aktif bölgelerin zamanla doygunluğa ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Başlangıçta mevcut olan çok sayıdaki boş adsorpsiyon bölgesi, boya moleküllerinin hızlı bir şekilde yüzeye tutunmasına imkân tanırken, ilerleyen zamanlarda bu bölgelerin dolması nedeniyle adsorpsiyon hızı giderek azalmaktadır. Ayrıca çözeltideki boya moleküllerinin konsantrasyonunun düşmesiyle birlikte, kütle transfer direnci artmakta ve bu da adsorpsiyon kinetiğini yavaşlatmaktadır. Literatürdeki çam kozalağı kullanılarak yapılan adsorbent çalışmalarında da benzer sonuçlar görülmüştür (Wahiba, 2025; Kavci, E. 2020). Şekil 5'te görüldüğü üzere 60 dakika civarında sistem dengeye ulaşmaya başlamaktadır. Sonuç olarak, belirlenen optimum temas süresi, hem adsorpsiyon verimliliğinin maksimum düzeye ulaştığı hem de süreçte kinetik denge durumuna geçildiği zaman aralığını temsil etmektedir. Bu sürenin doğru bir şekilde belirlenmesi, özellikle endüstriyel ölçekte uygulamalarda zaman ve enerji verimliliği sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 5. Boya Çözeltisinin (C0:75 mg/L) Ham ve HCl Modifiye Kozalak Adsorpsiyonu ile Boya Giderme Oranları “düz çizgi” ve Adsorpsiyon Kapasiteleri “kesikli çizgi”.

İzoterm Çalışmaları: Bu deneyler, adsorpsiyon kapasitesi ile adsorban ve adsorbat arasındaki etkileşimi hakkında bilgi verdiği için önemlidir. Çalışmada kullanılan boyar maddenin ham ve modifiye kozalak kullanılarak elde edilen izoterm grafiği Şekil 6’da verilmiştir. İzoterm modelleri adsorban yüzeylerindeki farklı katmanlarla ilişkilendirilebilir. Örneğin, Freundlich modelinde çok katmanlı heterojen bir yapı söz konusudur. Diğer taraftan, Langmuir modeli tek katmanlı adsorpsiyon modelini ifade eder. İzoterm sabitleri hesaplanmış ve Tablo 1’de sunulmuştur. İki modelin R2 değerlerine bakıldığında, Langmuir denklemi, boyar madde giderme sürecini daha iyi bir şekilde karakterize etmektedir. Bu sonuç, adsorban yüzeyindeki aktif bölgelerin homojen dağılımı ile açıklanabilir, bir başka deyişle adsorban yüzeyinde boyar madde moleküllerinin tek katmanlı

bir kaplama oluşturduğu düşünülmektedir. Langmuir modeli, adsorpsiyon enerjisinin sabit olduğunu ve adsorban üzerinde tutulan madde moleküllerinin hareket etmediğini varsayar. Adsorban yüzeyinin tek bir katman olarak kabul edilmesiyle, maksimum adsorpsiyon gerçekleşir ve adsorpsiyon enerjisinin sabit olduğu ve adsorban üzerinde tutulan madde moleküllerinin yer değiştirmedikleri varsayılmaktadır. Literatürde benzer adsorbentlerle yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla bu çalışma sonuçları paralel olduğu görülmüştür (Mahmoodi vd.,2011). Langmuir denklemi ile hesaplanan ve Tablo 1’de verilen Q0 değerleri, adsorbanların maksimum kapasitesini tanımlar. Momčilović vd. tarafından yapılan çalışmada çam kozalaklarından elde edilen adsorbenttin maksimum adsorpsiyon kapasitesi de benzer bulunmuştur (Momčilović vd., 2012).



Şekil 6. Astrozon Mavi Boyasının İzoterm Eğrisi.

Tablo I: İzoterm Çalışmaları Sonucunda Hesaplanan Sabitler.

	Langmuir isotherm			Freundlich isotherm		
	Q^0	b	R^2	K^F	n	R^2
HCL modifiye	153.8	0.075	0.984	18.31	0.487	0.853
HAM	116.4	0.072	0.983	17.51	0.408	0.931

Sonuçlar

Bu çalışmada, ham ve asit ile modifiye edilmiş kozalak kullanılarak adsorban üretimi araştırılmıştır. Düşük maliyetli tarımsal atıkların çeşitli yöntemlerle modifiye edilerek adsorbanın fonksiyonel yüzey özelliklerinin geliştirilmesi, endüstriyel atıksuların büyük ölçekli arıtımını desteklemektedir. Ayrıca, diğer adsorbanlara kıyasla, tarımsal atıkların potansiyel bir adsorban olarak daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Tarımsal yan ürünlerin yakın gelecekte geniş kullanım alanlarına sahip, maliyet etkin ve verimli adsorbanlar olarak önemli bir alternatif oluşturması beklenmektedir. Dolayısı ile bu çalışmada, ham ve HCl ile modifiye edilmiş kozalak kullanılarak sulu çözeltiden astrazon

mavisi boyasının giderimi potansiyel bir adsorpsiyon yöntemi olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, adsorpsiyon hızının başlangıçta, adsorban yüzeyinde bulunan boş aktif bölgelerin fazlalığı nedeniyle yüksek olduğunu göstermiştir. Temas süresinin artmasıyla birlikte aktif bölgelerin dolması sonucu adsorpsiyon hızı azalmış ve belirli bir sürenin sonunda sistem dengeye ulaşmıştır. İzoterm çalışmalarında ise en iyi sonuçların Langmuir izoterm modeli ile elde edildiği tespit edilmiştir. Bu çalışmayı çam kozalağının ham ve asit ile modifiye halinin astrazon mavisi boyasının gideriminde etkili bir adsorban olduğunu gösteren bir ön çalışma olarak nitelendirilebilir.

Kaynakça

- Ahmaruzzaman, M. (2008). Adsorption of Phenolic Compounds on Low-Cost Adsorbents: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 143(1-2), 48-67. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.07.002>
- Aldemir, A., Kul, A. R., & Elik, H. (2019). Isotherm, Kinetic and Thermodynamic Investigation into Methylene Blue Adsorption Onto Pinecone Powder. *Journal of International Environmental Application and Science*, 14(4), 183-192. <https://dergipark.org.tr/pub/jieas/issue/50520/651362>
- Biswas, S., Siddiqi, H., Meikap, B. C., Sen, T. K., & Khiadani, M. (2020). Preparation and Characterization of Raw and Inorganic Acid-Activated Pine Cone Biochar and its Application in The Removal of Aqueous-Phase Pb²⁺ Metal Ions by Adsorption. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(1). <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4375-7>
- Brunauer, S., Rouquerol, J., & Rouquerol, F. (1999). *Adsorption by Powders and Porous Solids: Principles, Methodology and Applications*. Academic Press.
- Crini, G. (2006). Non-Conventional Low-Cost Adsorbents for Dye Removal: A review. *Bioresource Technology*, 97, 1061-1085. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.05.001>
- Dawood, S., & Sen, T. K. (2012). Removal of Anionic Dye Congo Red from Aqueous Solution by Raw Pine and Acid-Treated Pine Cone Powder as Adsorbent: Equilibrium, Thermodynamic, Kinetics, Mechanism and Process Design. *Water Research*, 46, 1933-1946. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.01.009>
- Forgacs, E., Cserháti, T., & Oros, G. (2004). Removal of Synthetic Dyes from Wastewaters: A review. *Environment International*, 30, 953-971.
- Holkar, C. R., Jadhav, A. J., Pinjari, D. V., Mahamuni, N. M., & Pandit, A. B. (2016). A Critical Review on Textile Wastewater Treatments: Possible Approaches. *Journal of Environmental Management*, 182, 351-366.
- Kavci, E. (2020). Malachite Green Adsorption onto Modified Pine Cone: Isotherms, Kinetics and Thermodynamics Mechanism. *Chemical Engineering Communications*, 208(3), 318-327. <https://doi.org/10.1080/00986445.2020.1715961>
- Koprivanac, N., & Kusic, H. (2009). *Hazardous Organic Pollutants in Colored Wastewaters*. Nova Science Publishers.
- Mahmoodi, N. M., Hayati, B., Lan, Christopher. (2011). Adsorption of Textile Dyes on Pine Cone from Colored Wastewater: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies. *Desalination*. 268. 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.10.007>
- Masters, G. M. & Ela, W. P. (2013). *Introduction to Environmental Engineering and Science*. Pearson Education Limited.
- Momčilo, M. Z., Onjia, A. E., Purenović, M. M., Zarubica, A. R., & Randelović, M. S. (2012). Removal of a Cationic Dye from Water by Activated Pinecones. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 77(6), 761-774. <https://doi.org/10.2298/JSC110517162M>
- Mtshatsheni, K. N. G., Ofomaja, A. E., & Naidoo, E. B. (2019). Synthesis and Optimization of Reaction Variables in the Preparation of Pine-Magnetite Composite For Removal of Methylene Blue Dye. *South African Journal of Chemical Engineering*, 29(May), 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2019.05.002>
- Pavithra, K. G., Kumar, P. S., Jaikumar, V., & Rajan, P. S. (2019). Removal of Colorants from Wastewater: A Review on Sources and Treatment Strategies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 75, 1-19.
- Pholosi, A., Ofomaja, A. E., & Naidoo, E. B. (2013). Effect of Chemical Extractants on the Biosorptive Properties of Pine Cone Powder: Influence on lead(II) Removal Mechanism. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17(1), 77-86. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.10.017>
- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., & Ahmad, A. (2010). Adsorption of Methylene Blue on Low-Cost Adsorbents: A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 70-80. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.047>
- Reife, A. & Freeman, H. S. (1996). *Environmental Chemistry of Dyes and Pigments*. John Wiley & Sons.
- Samchetschabam, G., Hussan, A., Gon Choudhury, T., Sofi, G., & Soholar, Ph. D., Hussan, A. (2017). Impact of Textile Dyes Waste on Aquatic Environments and its Treatment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26, 479-510. <https://doi.org/10.15244/pjoes/66769>
- Stuart, B. H. (2005). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/0470011149>
- Sulyman, M., Namieśnik, J., & Gierak, A. (2017). Low-Cost Adsorbents Derived from Agricultural By-Products/Wastes for Enhancing Contaminant Uptakes from Wastewater: A Review. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26, 479-510. <https://doi.org/10.15244/pjoes/66769>
- Wahiba, M., Souad, B., Mouna, C., Djellabi, R., Nabila, B., Djilani, C. (2025). Adsorption Performance and Mechanistic Pathways of Raw Powdered Pine Cone Toward the Removal of Dye and Cr(VI). *International Journal of Chemical Kinetics*, (Vi), 263-283. <https://doi.org/10.1002/kin.21774>
- Zhou, Y., Lu, J., Zhou, Y., & Liu, Y. (2019). Recent Advances for Dyes Removal using Novel Adsorbents: A Review. *Environmental Pollution*, 252, 352-365.

Türkiye’de Hava Kalitesinin Korunmasına Yönelik Yasal Düzenlemeler

Legal Regulations for the Protection of Air Quality in Turkey

Doç. Dr. Hayrettin ŞAHİN

Sinop Üniversitesi, Boyabat İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü, Sinop, Türkiye
sahinhayrettin@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0457-2319

Makale Türü:

İNCELEME

Gönderilme Tarihi:

25 Mart 2025

Kabul Tarihi:

3 Mayıs 2025

Öz

Sanayileşme, kentleşme, tüketim artışı vb. nedenlerle 20. yy ikinci yarısında Türkiye’de hava kirliliği artış düzeyi giderek yükselmiştir. Kirliliği, genelde canlı, özelde insan hayatını önemli oranda olumsuz etkilemektedir. Bu etkilerden dolayı hava kalitesinin korunmasına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu araştırmada, hava kalitesinin korunmasına yönelik yapılan mevzuat çalışmaları ele alınmıştır. Hava kalitesinin korunması meselesi, politika uygulama araçları arasında yer alan yasal düzenlemeler bakımından değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, Türkiye’de hava kalitesini korumaya yönelik yürürlüğe girmiş anayasa, yasa, yönetmelik, genelge, standart, indeks çalışmaları ve hava kalitesi ölçüm istasyonlarının faaliyetleri hakkında veri toplanmıştır.

Çalışmada nitel araştırma yönteminin doküman analizi tekniği kullanılmıştır. Gerekli görülen kanunlar, yönetmelikler, genelgeler, tüzükler, tebliğler, raporlar incelenmiştir. Hava kalitesinin durumu ile mevzuat arasındaki anlamlı ilişki araştırılmıştır.

Bulgulara göre hava kalitesini korumaya yönelik mevzuat çalışmaları yapılmış, Avrupa Birliği Standartları Ulusal Hava Kalitesi Standartlarına uyarlanmış, bir sonraki hedef olan Dünya Sağlık Örgütü hedeflerine yönelik önemli adımlar atılmıştır. Mevzuat oluşturma ve uyum sağlama neticesinde, hava kalitesi ölçüm verilerine göre, Türkiye’nin hava kalitesinde belirgin iyileşmeden bahsedilebilir.

Anahtar Kelimeler: Hava Kalitesinin Korunması, Hava Kirliliği, Türkiye’de Hava Kalitesi Mevzuatı, Hava Kalitesi Standartları, Hava Kalitesi Ölçümü.

Abstract

Due to reasons such as industrialization, urbanization, increased consumption, etc., the level of air pollution has increased in Turkey in the second half of the 20th century. Polluted air negatively affects living beings in general and human life in particular. Due to these effects, various studies have been conducted to protect air quality. In this study, legislative studies carried out for the protection of air quality were discussed. The issue of protecting air quality was evaluated in terms of legal regulations among the policy implementation tools. Within this framework, data was collected on the constitution, law, regulation, circular, standard, index studies enacted for the protection of air quality in Turkey and the activities of air quality measurement stations.

The document analysis technique of the qualitative research method was used in the study. Necessary laws, regulations, circulars, statutes, notifications, reports were examined. The significant relationship between the status of air quality and legislation was investigated.

According to the findings, legislative studies were conducted for the protection of air quality, European Union Standards were adapted to National Air Quality Standards, and important steps were taken towards the next goal, the World Health Organization goals. As a result of legislation creation and harmonization, a significant improvement in Turkey’s air quality can be mentioned, according to air quality measurement data.

Keywords: Air Quality Protection, Air Pollution, Air Quality Legislation in Turkey, Air Quality Standards, Air Quality Measurement.

1. Giriş

Temiz havanın %78.09'u azot, %20.95'i oksijen, %0.093'ü argon, %0.03'ü karbondioksitten oluşur. Kükürtlü, azotlu gazlar, duman, toz tanecikleri ya bulunmaz ya da eser miktardadır (Akbulut Zencirci & Işıklı, 2017). Hava kirliliği, havanın doğal bileşiminin türlü nedenlerle değişmesi, havada gaz, sıvı ve katı biçiminde yabancı maddelerin insan sağlığına, canlılara, ekolojik dengeye ve cansız mallara zararlı olabilecek derişim ve sürede bulunmasına denir (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025).

Hava kirliliğine atmosferdeki yabancı maddelerin sebep olmasının yanı sıra basınç, sıcaklık, nem, yağış, rüzgâr ve güneş radyasyonu gibi meteorolojik faktörler, topografik yapı ve konum da etki etmektedir. Konu bakımından hava kirliliğinin sebepleri iki başlıkta incelenebilir. Bunlar doğal ve insan faaliyetlerinden kaynaklı sebeplerdir. Yangınların bazıları, yanardağ patlamaları, toz fırtınaları, güneşten kaynaklı radyasyonlar vb. doğal sebeplerdir. Sanayileşme, kentleşme, tüketim vb. insan faaliyetlerinden kaynaklanan nedenler arasında gösterilebilir (Çakır Sümer, 2014).

Hava kirliliği insanları, hayvanları ve bitki topluluklarının yaşam koşullarını doğrudan etkilemekte hatta ölüme ve neslin tükenmesine sebep olabilmektedir. Özellikle kükürt dioksit, azot oksitler, partikül maddeler, karbon monoksit ve ozon çeşitli sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025). Bu sorunlarla baş etmek için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir.

İngiltere'de 1819 yılında hükümet tarafından hava kirliliğine yönelik araştırma komisyonu görevlendirilmiş, 1936 yılında Kamu Sağlığı Yasasında duman kaynaklı kirliliği kontrol etmeye yönelik düzenlemeler yer almış, 1956 yılında Temiz Hava Yasası kabul edilmiştir (Çakır Sümer, 2014, s. 40).

Amerika Birleşik Devletlerinin Eyaleti California'da, 1947 yılında, ilk eyalet Hava Kirliliği Yasası kabul edilmiş, 1949'da ilk Ulusal Hava Kirliliği Sempozyumu gerçekleştirilmiştir. Hava kirliliği kontrolüne ilişkin Federal programların yasal yetkisi, 1990 Temiz Hava Yasası Değişikliklerine (1990 CAAA) dayanmaktadır. Bunlar, Temiz Hava Yasası'nda (CAA) yapılan bir dizi değişikliğin sonucusudur. Bu yasa, daha önceki 1963 ve 1970 tarihli Temiz Hava Yasaları tarafından sağlanan Federal yasal yetkiyi değiştirmiş ve genişletmiştir. 1955'te Amerika'da Federal hükümet, Hava Kirliliği Kontrol Yasasını kabul etmiş ve 1963'te Temiz Hava Yasası yürürlüğe girmiştir. 1967 yılında Hava Kalitesi Yasası, kirleticilerin eyaletler arası taşınmasını içeren hava kirliliği sorunlarına yönelik yetkili yaptırım prosedürleri ve yetkili genişletilmiş araştırma faaliyetlerini içermektedir. 1970 yılında çıkarılan Temiz Hava Yasası birçok yönden önemli ve kapsayıcıdır (Evolution of the Clean Air Act, 2025).

Boyutları ve etkileri dikkate alındığında hava kirliliği, önlenmesi veya en azından kontrol edilmesi gereken önemli bir mesele olmuştur. Sanayileşmenin yaygınlaştığı bölgelerde öncelikle yerel olarak düzenlemeler gidilmiş, sanayinin ve kentleşmenin dünya geneline yayılması ile küresel bir sorun olarak ele alınmıştır. Ülkelerin bu yöndeki çalışmalarının yanı sıra Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ), Avrupa Birliği'nin standart belirleme ve mevzuat oluşturma çalışmaları devam etmektedir (Keleş, Hamamcı, & Çoban, 2015, s. 120).

Dünya Sağlık Örgütü hava kalitesinin korunmasına yönelik çeşitli çalışmalar yürütmektedir. DSÖ, hava kalitesi rehberleri hazırlamak, küresel izleme ve veri toplamak, kirli havanın sağlığa etkilerine yönelik araştırma yapmak, hava kalitesinin korunmasına yönelik kapasite geliştirmek, teknik destek sağlamak, eğitim programları düzenlemek vb. birçok görev üstlenmiştir. Araştırmamızda genelde dünyada hava kalitesi standartlarına ve ülkemizde hava kalitesinin korunmasına yönelik mevzuatın geliştirilmesine yardımcı olan hava kalitesi rehberleri üzerinde durulmaktadır.

¹ Temiz Hava Yasası kapsamı; a-Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartlarının oluşturulmasına izin verilmesi b-Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartlarına ulaşmak için Devlet Uygulama Planlarına yönelik gerekliliklerin belirlenmesi, c-Yeni ve değiştirilmiş sabit kaynaklar için Yeni Kaynak Performans Standartlarının oluşturulmasına izin verilmesi, d-Tehlikeli Hava Kirleticilerine ilişkin Ulusal Emisyon Standartlarının oluşturulmasına izin verilmesi e-Artan uygulama yetkisi f-Motorlu araç emisyonlarının kontrolü için yetkili gereklilikler bakımından önemli görülmektedir. 1977 yılında 1970 yılı Temiz Hava Yasasında Yapılan Değişiklikler şunlardır: a-Önemli Bozulmaların Önlenmesine ilişkin yetkili hükümler b-Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartlarına göre ulaşamayan alanlarla ilgili yetkili hükümlerdir. 1990 yılında 1970 yılı Temiz Hava Yasasında birçok değişiklik yapılmıştır. Bunlar: a-Asit Birikimi Kontrolü için yetkilendirmeler b- Daha önce Tehlikeli Hava Kirleticilerine ilişkin Ulusal Emisyon Standartları tarafından düzenlenenler de dahil olmak üzere 189 toksik kirleticiyi kontrol edecek bir programa yetki verilmesi c-İzin programı gerekliliklerinin belirlenmesi d-Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartlarına ulaşılmasıyla ilgili genişletilmiş ve değiştirilmiş hükümler e-Genleştirilmiş ve değiştirilmiş icra yetkisi f-Ozon tabakasını incelten kimyasalların kullanımının aşamalı olarak durdurulmasına yönelik bir program oluşturulmasıdır (Evolution of the Clean Air Act, 2025).

Dünyada sanayileşmiş ülkeler dışında çevre kirliliğinin önem kazandığı 1970li yıllardan sonra Türkiye’de de gözle görülür çevre düzenlemeleri hazırlanmıştır. Başta 1982 Anayasasında 56. Maddede çevre ile ilgili madde eklenmiş, sonrasında 1983 yılında Çevre Kanunu çıkarılmıştır. Uluslararası çevre çalışmaları ile uyumlu şekilde hava kalitesinin korunmasına yönelik kanun ve yönetmelikler çıkarılarak mevzuat bakımından önemli gelişmeler sağlanmıştır. 2025 yılında Avrupa Birliği uyumu çerçevesinde mevzuat düzenlemeleri neredeyse tamamlanmış ve Dünya Sağlık Örgütü rehberliğinde yeni hedeflere doğru ilerlemeler gözlemlenmektedir.

Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinde doküman analizi tekniği kullanılmıştır. Yazılı, görsel, dijital materyaller incelenmiş, sınıflandırılmış, yorumlanmıştır. Araştırmada, yasal metinlerden kanunlar, yönetmelikler, genelgeler ve tebliğler incelenmiş, çevre, hava kalitesi raporları takip edilmiş, akademik makaleler taranmış ve dünya genelinde yapılan hava kalitesi standart oluşturulması süreçleri izlenmiş, Dünya Sağlık Örgütü’nün yaptığı araştırma, rapor, rehberler ele alınmıştır.

Sonuç olarak, Türkiye’de hava kalitesini korumaya yönelik mevzuat çalışmaları dünya standartlarına uygun olarak yapıldığı görülmüştür. Türkiye’nin hava kalitesini korumaya yönelik mevzuat çalışması, Avrupa Çevre Ajansı, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı ve Dünya Sağlık Örgütü’nün yaptığı çalışmalar dikkate alarak hazırlanmıştır. Avrupa Birliği standartları ulusal hava kalitesi standartlarına uyarlanmış, Dünya Sağlık Örgütü hedeflerine yönelik önemli adımlar atılmıştır. Neredeyse her ilimizde ölçüm istasyonlarında hava kalitesi ölçüm cihazı bulunmaktadır. Bu istasyonlarda ölçülen hava kalitesine göre hava kalitesinde iyileşmeler mevcuttur. Türkiye’de hava kalitesinin korunmasına yönelik politikalarda olumlu sonuçtan bahsedilebilir. Çünkü karar verme-yapma-denetleme süreçleri işletilmiş ve hava kalitesinde iyileşme görülmüştür.

2. Dünya Sağlık Örgütü’nün Hava Kalitesine Yönelik Çalışmaları

Sanayi Devrimi, çevre sorunlarının mevcut yapısını derinden etkilemekle kalmamış, aynı zamanda çözüm arayışları açısından da farklı bir sürecin başlamasına sebep olmuştur. Sanayi Devrimini gerçekleştiren ülkelerde çevre meselesi ciddi sorun olarak ortaya çıkmıştır. Bunun doğal bir yansıması olarak Batı’nın gelişmiş sanayi ülkelerinde standartların oluşturulması ve yasal mevzuatın gelişmesi söz konusudur. Bu standart ve yasal düzenlemelerin kanıtlı ve tutarlı olabilmesinde Dünya Sağlık Örgütü’nün yapmış olduğu çalışmaların önemi büyüktür.

Temmuz 1946’da New York’ta yapılan Uluslararası Sağlık Konferansı’nda BM üyesi 51 ülkenin temsilcileri ve FAO, ILO, UNESCO, OIHP (Uluslararası Halk Sağlığı Bürosu), Dünya Sendikalar Federasyonu, Kızılhaç ve Rockefeller Vakfı temsilcileri Dünya Sağlık Örgütü Anayasasını hazırlamışlardır. Aynı yılda Türkiye’nin de aralarında bulunduğu 62 ülke bu Anayasayı imzalayarak kabul etmiştir. Anayasanın yürürlüğe girebilmesinin şartı olan 26 üye devletin onayı 7 Nisan

1948’de gerçekleşmiş ve bu yılda DSÖ resmen Birleşmiş Milletlerin uzman kuruluşu haline gelmiştir. Dünya Sağlık Örgütü’nün temel amacı, mümkün olduğu kadar çok insanı fiziksel, zihinsel ve sosyal açıdan sağlıklı kılmaktır (Dışişleri Bakanlığı, 2025).

1957 yılında yayınlanan ilk kılavuz ve raporlarından (DSÖ Teknik Rapor Serisi, no. 157), dünya çapında birçok ülkede ortam ve iç mekân hava kalitesi yönetimi politikalarının geliştirilmesinde bir başvuru aracı görevi üstlenen hava kirliliği kılavuzu (HKK) serileri hava kalitesi ve sağlık konusunda standart belirlemede ve kanun yapmada önemli katkılar sağlamıştır. Hava kirliliği (DSÖ Teknik Rapor Serisi, no. 157) raporu, hava kirliliği ve sağlıkla ilgilenen ilk DSÖ yayını olması bakımından önemlidir. Rapor, bir uzman grup tarafından hazırlanmıştır ve ilk kez, kısaca da olsa hava kalitesi standartları açısından durum değerlendirilmesi yapılmıştır (World Health Organization, 2021).

DSÖ’nün 1964 yılında yayınlanan Atmosferik Kirleticileri Raporunda, kriterler ve rehberler terim olarak ilk kez tanımlanmış ve kullanıma koyulmuştur. Sağlık ve/veya çevre

üzerindeki etkilerin artış şiddetine bağlı olarak, kılavuzlar konsantrasyonlara ve maruz kalma sürelerine göre dört seviyeye bölünmüştür. Bazı kirleticilerin mutajenik etkilerinin olabileceği belirtilmiştir. İlk defa, kirletici maddelere uzun süreli maruz kalmanın kronik hastalığa ve yaşamın kısalmasına neden olabileceği ve daha düşük konsantrasyonların sadece tahrişten daha ciddi sağlık etkilerine yol açabileceği kabul edilmiştir (World Health Organization, 2021).

1972 yılında kentsel hava kirleticileri için yayınlanan Hava Kalitesi Kriterleri ve Rehberleri Raporunda, kılavuzlar önerilmemesine rağmen, SO₂, duman, CO ve fotokimyasal oksidanlar için sağlık üzerindeki etkilerle ilişkili olduğu bilinen belirli ortalama süreleri açısından tanımlanan en düşük ortam konsantrasyonları (yani rehberler) sağlanmıştır. Daha önceki raporlarda yer alan hidrojen florür, radyoaktif malzemeler, kurşun ve diğer metaller hariç tutulmuştur. Yazarlar, standartların önerilen kılavuzlardan daha düşük konsantrasyonlarda belirlenmesi gerektiğini açıkça belirtmişlerdir. Hava kirleticilerine maruz kalınmasının sağlık üzerindeki etkilerine ilişkin piramit diyagramı DSÖ tarafından ilk kez kullanılmıştır. Raporda, DSÖ'nün her kirletici için kritik incelemeler yayınlaması gerektiği sonucuna varılmıştır (World Health Organization, 2021).

DSÖ'nün Avrupa için Hava Kalitesi Kılavuzlarının ilk baskısı 1987'de yayımlanmıştır (World Health Organization Regional Office for Europe, 2000). Avrupa için Hava kalitesi kılavuzlarının ilk baskısı, hava kirliliği ve sağlığa ilişkin eksiksiz, bağımsız bir kılavuz olduğu söylenebilir. O dönemde DSÖ Herkes için Sağlık bölgesel stratejisi, özellikle "1995 yılına kadar Bölgedeki tüm insanların hava kirliliğinden kaynaklanan sağlık risklerine karşı etkili bir şekilde korunması gerektiği" hedefi vasıtasıyla bu çalışma için bir teşvik ve politika çerçevesi sağlamıştır. Kılavuzlar, toplam 28 hava kirletici için sayısal değerler/aralıklar veya birim risk faktörleri şeklinde öneriler sunan DSÖ HKK'larının ilk baskısıdır. Kılavuz değerlerin kendi başlarına standart olarak görülmesi gerektiği kuvvetle vurgulanmıştır. Diğer yandan, standartları belirlemek için kılavuzları bir temel olarak kullanırken ekonomik, sosyal ve kültürel faktörleri dikkate almaları gereken düzenleyici makamların kararına bırakılmışlardır. Ayrıca eko-toksikolojik boyut da göz önünde bulundurulmuştur. Bu sebepten, karasal bitki örtüsü üzerindeki etkilerine dayanarak birkaç kirletici, SO₂, azot oksitler ve ozon / fotokimyasal oksidanlar için kılavuz değerler sağlanmıştır (World Health Organization, 2021).

İsviçre hava kalitesi kurumu IQAir tarafından hazırlanan bir rapora göre, ülkelerin büyük çoğunluğu sağlık sorunlarına neden olabilecek küçük parçacıklar olan PM_{2.5} için belirlenen sınırı karşılayamamaktadır. Raporda incelenen 134

ülke ve bölgeden yalnızca yedisi, Dünya Sağlık Örgütü'nün otomobillerden, kamyonlardan ve endüstriyel süreçlerden yayılan küçük hava parçacıklarına ilişkin sınırını aşmamaktadır. Bu ülkeler Avustralya, Estonya, Finlandiya, Grenada, İzlanda, Mauritius ve Yeni Zelanda'dır (Euronews, 2024).

3. Türkiye'de Hava Kirliliğine Yönelik Yasal Düzenlemeler

Türkiye'de hava kalitesini korumak ve hava kirliliğinin önlenmek amacıyla yasal düzenlemeler, Anayasa başta olmak üzere çeşitli kanunlar, genelgeler, yönetmelikler, tebliğler ve uluslararası anlaşmalarla şekillenmiştir.

1913 tarihli Talimatnamenin birinci maddesinde, köyün kurulacağı yerleşim yerinin havasının temiz olması istenmiştir. Bu düzenleme dışında, 1930 tarihli Umumi Hıfzıssıhha Kanununda hava kirliliğinden korunmaya yönelik maddeler yer almıştır. Bu Yasanın 168. maddesi, şehir ve kasaba belediye büyüklüklerine ve nüfus sayılarına göre, küçük çocukların temiz havasının korunması amacıyla, bahçe veya spor alanları oluşturmaları hususunda zorunluluk getirmiştir (Çakır Sümer, 2014, s. 44).

1961 Anayasası 49. Maddesinde, devlet herkesin beden ve ruh sağlığı içinde yaşamasını sağlamak durumundadır. 1982 Anayasası 56. Maddesinde, herkes sağlıklı ve dengeli çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi iyileştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirliliğini önlemek, devletin ve vatandaşın görevidir (Keleş, Hamamcı, & Çoban, 2015, s. 396).

1972 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Şehirlerde Isıtma Tesislerinin Sebep Olduğu Hava Kirliliğinin Azaltılmasına Dair Yönetmelik hazırlanarak yürürlüğe girmiştir. Sonrasında yeni binaları da içine alacak şekilde düzenlenerek, 1977'de "Isıtma ve Buhar Tesislerinin Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Hava Kirliliğinin Azaltılması Yönetmeliği" adını almıştır (Çakır Sümer, 2014, s. 45).

1983 tarihli 2872 sayılı Çevre Kanunu Türkiye'de çevre koruma ve kirliliğin önlenmesine ilişkin temel yasal çerçeveyi oluşturmakta, hava kirliliğinin önlenmesi, kontrolü ve izlenmesine yönelik genel ilkeleri belirlemekte ve çevre izni, emisyon limitleri ve denetim mekanizmalarını düzenlemektedir (Türkiye Büyük Millet Meclisi, 1983).

1985'te yürürlüğe giren 3194 sayılı İmar Yasası'nın Kamunun Selameti İçin Alınması Gereken Tedbirleri ortaya koyan 40. maddesinde, Arsalarda, evlerde ve sair yerlerde umum sağlık ve selametini ihlal eden...gürültü ve duman tevli eden tesislerin...mahzurlarının giderilmesi ve bunların zuhuru

meydan verilmemesi... şeklinde hüküm yer almaktadır (Çakır Sümer, 2014, s. 45).

1986 yılında Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. 1983 kabul tarihli Çevre Kanunu'nun 1 ve 3 üncü maddelerinde öngörülen amaç ve ilkeler doğrultusunda 8, 9, 10, 11, 12 ve 13 üncü maddelerine dayanılarak hazırlanmıştır. Bu Yönetmeliğin amacı, her türlü faaliyet sonucu atmosfere yayılan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonları kontrol altına almak; insanı ve çevresini hava alıcı ortamındaki kirlenmelerden doğacak tehlikelerden korumak; hava kirlenmeleri sebebiyle çevrede ortaya çıkan umuma ve komşuluk münasebetlerine önemli zararlar veren olumsuz etkileri gidermek ve bu etkilerin ortaya çıkmamasını sağlamaktır (Başbakanlık, 1986).

06.06.2008 tarihli Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği ile temel olarak 13 kirleticilere dair, insan sağlığı ve çevrenin korunabilmesi için sağlanması gerekli olan limit değerler yeniden belirlenmiştir. Bu yönetmelikte; 2014 yılına kadar mevcut hava kalitesi sınır değerlerinin kademeli olarak azaltılması; 2014 yılından itibaren de tedbir alma yükümlülükleriyle beraber kademeli olarak Avrupa Birliği ülkelerindeki hava kalitesi değerlerine ulaşılması hedeflenmektedir (Akbulut Zencirci & Işıklı, 2017). 2018 yılı ve öncesinde PM_{10} değeri günlük $60 \mu g/m^3$ ve yıllık $44 \mu g/m^3$ iken, 01.01.2019 tarihinden itibaren sınır değerler Avrupa Birliği ülkelerinde uygulanan sınır değerler olan günlük $50 \mu g/m^3$ ve yıllık $40 \mu g/m^3$ olarak belirlenmiştir (Cicibıyık, Şarлак, & Üstün, 2019).

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinin amacı, üretim faaliyeti sonucu atmosfere yayılan is, duman, gaz, toz, buhar ve aerosol emisyonlarını kontrol altına almaktır. Böylece insanı ve çevresini hava alıcı ortamındaki kirlenmelerden doğacak tehlikelerden korumaktır. Yönetmelik, hava kirlenmesinden kaynaklı olumsuz etkileri gidermeye ve bu etkilerin ortaya çıkmasını engellemeye ilişkin usul ve esasları belirlemektedir. Aynı zamanda, yönetmelik, işletmelerin kurulması, işletilmesi, işletmeden çıkan hava emisyonları ve işletmenin etki alanı içerisinde hava kirliliğinin önlenmesinin tetkiki ve tespiti ile yakıtların, ham maddelerin ve ürünlerin üretilmesi, kullanılması, depolanması ve taşınmasına ilişkin usul ve esasları kapsamaktadır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2009).

Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü Yönetmeliğinin amacı; trafikte seyreden motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz gazlarının etkilerinden canlıları ve çevreyi korumak, kirleticilerin azaltılmasını sağlamak, ölçümler yaparak kontrol etmek, uygulamaya ilişkin usul ve esasları belirlemektir. Yönetmelik, trafikte seyreden benzin, motorin (dizel) ve gaz

yakıtlarla (LPG, CNG, LNG ve benzeri) çalışan motorlu taşıtların egzoz gazı emisyon ölçümlerini yapan gerçek veya tüzel kişilere ait ölçüm istasyonlarını kapsamaktadır. İstasyonların açılması, işletilmesi, yetkilendirilmesi, ölçüm istasyonlarında bulunacak cihaz, araç/gereç, personel ve bunların niteliklerini, işletme, çalışma ve denetlenmelerine dair usul ve esasları içermektedir (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2017).

Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinin amacı; konut, toplu konut, kooperatif, site, okul, üniversite, hastane, resmi daireler, işyerleri, sosyal dinlenme tesisleri, sanayiye ve benzeri yerlerde ısınma amaçlı kullanılan yakma tesislerinden kaynaklanan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halinde dış havaya atılan kirleticilerin hava kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ve denetlemektir. Bu Yönetmelik; ısınmada kullanılacak yakma tesislerinin özelliklerini ve işletilme esaslarını, yakma tesislerinde kullanılacak katı, sıvı ve gaz yakıtların kalite kriterlerini ve uyulması gerekli emisyon sınırlarını kapsamaktadır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2005).

2010 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan Hava Kirliliğinin Kontrolü ve Önlenmesi Genelgesinin amacı bir taraftan hava kirliliğini azaltmak, diğer taraftan da uygulamada birlikteliği sağlamaktır. 2008 yılında, 26898 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDY) (Değişiklik:2009-27219) ile hava kalitesi limit değerlerinin yıllar itibarıyla azaltılması hedeflenmiştir. Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesi amacıyla, Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü (IKHKK) Yönetmeliği 2005 yılında, 25699 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Değişiklik:2005-25758; 2007-26522; 2009-27134; 2010-27475). Bu yönetmelikte ısınma amacıyla kullanılacak yakıtlar ve kullanılması yasak olan yakıtlar belirlenmiştir (Hava Kirliliğinin Kontrolü ve Önlenmesi Genelgesi, 2010).

AB hava kalitesi mevzuatının ulusal mevzuata uyumlaştırılması kapsamında yayımlanan "Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi (HKDY) Yönetmeliği'nin uygulanması ve hava kirliliğinin önlenmesi amacıyla gerekli önlemlerin alınması, eylem planlarının hazırlanması ve yönetmelikte yer alan hava kalitesi limit değerlerinin her yıl kademeli olarak AB hava kalitesi limit değerlerine indirilmesi kapsamında Bakanlık tarafından söz konusu 2013/37 sayılı Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesi 09/09/13 tarih ve 31677 sayılı ile yayımlanmıştır. AB mevzuatına uyumlaştırma, 96/62/EC sayılı Hava Kalitesi Çerçeve Direktifi ve 99/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC sayılı kardeş direktifleri paralelinde hazırlanmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013).

Havanın kalitesinin korunmasına yönelik birçok yönetmelik, tebliğ ve genelgeden bahsedilebilir. Bunlar; Endüstriyel Emisyonların Yönetimi Yönetmeliği (2025), Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik (2024), Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği (2022), Benzin ve Naftanın Depolanması ve Dağıtılmasından Kaynaklanan Uçucu Organik Bileşik Emisyonlarının Kontrolü Yönetmeliği (2018), Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Yönetmelik (2017), Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik (2014), Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik (2013), İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik (2010), Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik (2010), Bazı Akaryakıt Türlerindeki Kükürt Oranının Azaltılmasına İlişkin Yönetmeliktir (2009), Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin Azaltılmasına İlişkin Yönetmeliktir (2008). Çevrenin Korunması Yönünden Kontrol Altında Tutulan Kimyasalların İthalat Denetim Tebliği (2023), Ozon Tabakasını İncelten Maddeler ve Florlu Sera Gazlarının İthaline İlişkin Tebliğ (2023), Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin ve Florlu Sera Gazlarının İhracına İlişkin Tebliğ (2023), Florlu Sera Gazı İçeren veya Çalışması Bu Gazlara Dayanan Ekipmana Müdahale Eden Gerçek ve Tüzel Kişilerin Belgelendirilmesine İlişkin Tebliğ (2020), Florlu Sera Gazlarının Yönetimi Hakkında Genelge (2023), Müzik Yayın İznine İlişkin Usul ve Esaslar (2022), Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Uygulamaları Genelgesi (2022), Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin İthalatı ve Kullanımı Genelgesi (2016), İthal Katı Yakıtlar Genelgesi (2011, 2015, 2021), Halon Genelgesidir (2007).

24/09/2024 yılında yayımlanan genelge ile yalnızca elektrik üretimi amacıyla kurulan termik santraller dışında hava emisyonu konulu çevre iznine tabi tesislerdeki yakma tesisleri ile merkezi/bölgesel ısıtma sistemli konutlarda kullanılan yakıt/yakma sistemlerinin değerlendirilmesine ilişkin usul ve esasları kapsamaktadır. Bakanlık Hava Emisyon Yönetimi (HEY) Portalı, NEFES yazılımı ve SİM verilerine göre şehirlerdeki hava kirliliği kaynaklarının hava kalitesi üzerine etkileri tespit edilmektedir. İlgili yazılımlarda yapılan senaryo çalışmalarına göre ilave kirlilik yükü oluşturan yakıt/yakma sistemi değişikliğinin hava kalitesini olumsuz yönde etkileyeceği belirlenmiş olup, bu yönde gerekli düzenlemeler yapılmıştır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024).

Uluslararası alanda birçok çalışmalar yapılmaktadır, özellikle çok kirleticiler olarak Avrupa Birliği, Birleşik Devletler kendi bölgeleri içerisinde birçok standart getirerek önemli oranda önlem aldıkları görülmektedir. Diğer yandan dünya genelinde 1992 yılında imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin hava kalitesinin

korunmasına yönelik işlevi büyüktür. Bu sözleşmenin amacı iklim değişikliği ile mücadele etmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmaktır. Bu anlaşma çerçevesinde imzalanan Kyoto Protokolü (1997) ve Paris anlaşması (2015) önemli adımlar olarak görülmektedir (Keleş, Hamamcı, & Çoban, 2015).

Uzun Menzilli Sınırlar Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi (1983) sınır ötesi hava kirliliğini azaltmak ve hava kalitesini iyileştirmek amacıyla imzalanmıştır. Bu anlaşma Çerçevesinde Sülfür Protokolü (1985), Azot Oksit Protokolü (1988), Uçucu Organik Bileşikler Protokolü (1991), Ağır Metaller Protokolü (1998), Persistan Organik Kirleticiler Protokolü (1998), Çoklu Kirleticiler ve Asitifikasyon, Ötrofikasyon ve Yer Seviyesi Ozon Protokolü (1999), Kükürt Emisyonlarının Daha Fazla Azaltılması Protokolü (2012) gösterilebilir.

Ulusal Emisyon Tavanları Direktifi (2016/2284/EU), 2008/50/EC Direktifi, MARPOL Sözleşmesi/Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesi (1973-1978), Stockholm Sözleşmesi/Kalıcı Organik Kirleticiler Sözleşmesi (2001), Ozon Tabakasının Korunması için Viyana Sözleşmesi 1985 yılında kabul edilmiş, devamında Montreal Protokolü (1987), ve Kigali Değişikliği (2016) yapılmıştır (Türkiye Ulusal Ozon Birimi, 2025).

4. Hava Kirleticileri, Temiz Hava Standartları ve Hava Kalitesi Ölçümleri

Düzenlemeye konu olan hava kirletici maddeler: Kükürtdioksit (SO₂), karbondioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), metan (CH₄), azot oksitler (NO_x) ve partikül madde (PM)) olarak toplanmışlardır. Bunların dışında ozon (O₃) ve peroksiasetil nitrat (PAN) gibi ikincil hava kirleticiler de bulunmaktadır (Cicibiyik, Şarлак, & Üstün, 2019). Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency: EEA), Amerika Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency: EPA) ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından temel kirleticiler belirlenmiş, standartlar oluşturulmuş ve indeks çalışmaları yapılmıştır. Yapılan standartlarda hava kirleticileri şunlardan oluşmaktadır: SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, Pb, C₆H₆, CO, O₃, Arsenik, Kadmiyum, Nikel, Benzo(a)piren.

Hava kalitesi standartları, insan sağlığını ve çevreyi hava kirliliğinin zararlı etkilerinden korumak için hayati öneme sahiptir. Hava kalitesi standartlarının temel unsurları, kirletici belirleme, limit değerler oluşturma, süre belirleme, aşma sayısını kestirme, izleme ve değerlendirmelerden meydana gelmektedir. Bu kapsamda oluşturulan standartların hesaplanması işlemi indeks aracılığı ile yapılmaktadır. Hava kalitesi indeksinin temel unsurları, hesabı yapılacak kirleticiler, ölçümlerin yapılması, ölçülen değerlerin dönüştürülmesi, en yüksek değerin bulunması, bulunan değerlerin kategorilere ayrılmasıdır.

Hava kirliliği standartları, insan sağlığını ve çevreyi korumak amacıyla belirlenen, havadaki kirlenici maddelerin izin verilen maksimum konsantrasyonlarını tanımlayan uluslararası ve ulusal düzenlemelerdir. Bu standartlar, Dünya Sağlık Örgütü, Avrupa Çevre Ajansı, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı gibi kuruluşlar tarafından belirlenir ve ülkelerin ekonomik, coğrafi ve endüstriyel durumlarına göre farklılık göstermektedir.

Türk Standartları Enstitüsü tarafından Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik, CORSIA, Havaalanı Karbon Akreditasyonu (ACA), TS EN ISO 14067, Yaşam Döngüsü Analizi, TS EN ISO 14064 standardı kapsamında eğitim ve doğrulama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Karbon nötr kuruluşlara özel olarak verilen İklim Dostu Kuruluş belgesi mevcuttur (Türk Standartları Enstitüsü, 2024).

Belli bir bölgedeki hava kalitesinin karakterize edilmesi için ülkelerin kendi sınır değerlerine göre dönüştürdükleri ve kirlilik sınıflandırılmasının yapıldığı indekse Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) (Air Quality Index/AQI) adı verilmektedir.

Tablo I: Avrupa Birliği ve Dünya Sağlık Örgütü Standartları.

Avrupa Birliği		
Kirlenici	Süre	Limit Değerler(ug/m ³)
SO ₂	Saat	350
	24 saat	125
	Yıl	20
NO ₂	Saat	200
	Yıl	40
NO _x	Yıl	30
PM ₁₀	24 saat	50
	Yıl	40
PM _{2.5}	Yıl	25
Pb	Yıl	0,5
C ₆ H ₆	Yıl	5
CO	8 saat	10.000
O ₃	8 saat	120
		(Hedef değer)
	Saat	180 (bilgi eşiği)
		240 (uyan eşiği)
Arsenik	Yıl	0,006
Kadmiyum	Yıl	0,005
Nikel	Yıl	0,02
Benzo(a)piren	Yıl	0,001

Kaynak: (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2025).

Avrupa Birliği Standartları yasal bağlayıcılık ve uygulanabilirlik üzerine odaklanmıştır. Dünya Sağlık Örgütü'nün standartları daha çok canlı ve insan sağlığı temel alınarak

İndeks belirli kategorilerde farklı tanım ve renkler kullanılarak ifade edilmektedir ve ölçümü yapılan her kirlenici için ayrı ayrı düzenlenmektedir. Yaşanan bölgenin havasının ne kadar temiz veya kirliliği olduğu ve ne tür sağlık etkilerinin oluşabileceği konusunda bilgiler vermektedir (Akbulut Zencirci & Işıklı, 2017).

Ulusal Hava Kalitesi İndeksi, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı Hava Kalitesi İndisini ulusal mevzuata ve sınır değerlerine uyarlayarak oluşturulmuştur. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği 2008 yılında yürürlüğe konulmuştur. Sonrasında Hava Kalitesi Yönetim Dairesi Başkanlığı tarafından 2010 Hava Kirliliğinin Kontrolü ve Önlenmesi Genelgesi çıkarılmıştır. 2011 yılında İthal Katı Yakıtlar Genelgesi, 2013 yılında Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesi, 2015 yılında İthal Katı Yakıtlar Genelgesi, 2021 yılında İthal Katı Yakıtlar Genelgesi, 2022 yılında Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Uygulamaları ve 2022 yılında Yakıt ve Yakma Sistemleri Değişikliği Talepleri Hakkında Genelge ile güncellenmiştir (Korkmaz, 2023, s. 41).

Avrupa Birliği		
Kirlenici	Süre	Limit Değerler(ug/m ³)
SO ₂	Saat	
	10 dakika	500
	Yıl	20
NO ₂	Saat	200
	Yıl	10
NO _x		
PM ₁₀	24 saat	45
	Yıl	15
PM _{2.5}	24 saat	15
	Yıl	5
Pb	Yıl	0,5
C ₆ H ₆	Yıl	5
CO	8 saat	10.000
O ₃	8 saat	100
Arsenik	Yıl	0,006
Kadmiyum	Yıl	0,005
Nikel	Yıl	0,02
Benzo(a)piren	Yıl	0,001

ideal oranlara odaklıdır. Avrupa Birliği Standartları, 2030 ve 2050 hedeflerinde DSÖ'nün hedeflerine yaklaşmayı amaçlanmaktadır.

Tablo II: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) Kirlletici Limit Değerleri.

Kirletici	Süre	2014 Sınır Değer	2015 Sınır Değer	2016 Sınır Değer	2017 Sınır Değer	2018 Sınır Değer	2019 Sınır Değer	2020 Sınır Değer	2021 Sınır Değer	2022 Sınır Değer	2023 Sınır Değer	2024 Sınır Değer	Türkiye için AB limit değerlerin geçerli olduğu tarih	
PM ₁₀	Saatlik	350+150	350+120	350+90	350+60	350+30	350	350	350	350	350	350	01/01 2019	
	24 saat	125+125	125+100	125+75	125+50	125+25	125	125	125	125	125	125	01/01 2019	
	Yıl ve kış	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	01/01 2014	
NO ₂	Saatlik	200+100	200+90	200+80	200+70	200+60	200+50	200+40	200+30	200+20	200+10	200	01/01 2024	
	Yıl	40+20	40+18	40+16	40+14	40+12	40+10	40+8	40+6	40+4	40+2	40	01/01 2024	
NO _x	Yıl	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	01/01 2014	
PM ₁₀	24 saat	50+50	50+40	50+30	50+20	50+10	50	50	50	50	50	50	01/01 2019	
	Kış Dönemi	40+50	40+40	40+30	40+20	40+10	40	40	40	40	40	40	01/01 2019	
	Yıl	40+20	40+16	40+12+	40+8	40+4	40	40	40	40	40	40	01/01 2019	
Pb	Yıl	0,5+0,5	0,5+0,4	0,5+0,3	0,5+0,2	0,5+0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	01/01 2019	
C ₆ H ₆	Yıl	5+5	5+5	5+5	5+4	5+3	5+2	5+1	5	5	5	5	01/01 2021	
CO	8 saat	10.000 + 6.000	10.000 + 4.000	10.000 + 2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	01/01 2017	
O ₃	8 saat	Hedef değer									120	120	120	01/01 2022
	Saatlik	Bilgi eşiği									180	180	180	01/01 2022
	Saatlik	Uyarı eşiği									240	240	240	01/01 2022
Arsenik	Yıl	Bir yılda PM ₁₀ fraksiyonundaki toplam içerik için hedef değer						0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	01/01 2020	
Kadmiyum	Yıl							0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	01/01 2020	
Nikel	Yıl							0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	01/01 2020	
Benzo(a)piren	Yıl							0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	01/01 2020	

Kaynak: (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2025).

Türkiye, hava kalitesi sınır değerleri için, Avrupa Birliği limit değerlerini kendisi için hedef edinmiş, kademeli olarak bu hedef değerlere ulaşmayı planlamıştır. Bu plana göre en son 2024 tarihinde azotdioksit limit değerlerine ulaşmıştır. Bu tarihten itibaren tüm kirlletici parametreler için AB mevzuatını uygulamaktadır (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2025).

Türkiye’de hava kirliliğinin ölçümü ve hava kalitesinin izlenmesi çalışmaları 1986 yılında yürürlüğe giren Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği neticesinde başlamıştır. Bu yönetmelik uzun yıllar boyunca Sağlık Bakanlığı Hıfzıssıhha Enstitüsü tarafından uygulanmış ve 2005 yılında hava kalitesi izleme yükümlülüğü Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’na geçmiştir (Yılmaz, ve diğerleri, 2020, s. 705). Hava kirliliğinin doğru şekilde ölçülmesi, tüm illere ait hava kirliliği politikaları oluşturulması ve bu politikalarla illerin hava kalitesinin önceki yılın değerlerinden daha iyi durumlara getirilebilmesi amacıyla, hava

kalitesi ölçüm istasyonları kurulmuş ve Türkiye genelinde Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı oluşturulmuştur (Akbulut Zencirci & Işıklı, 2017).

Hava kirliliğini ölçmek ve değerlendirmek amacıyla pek çok kirlleticiye uzun ve kısa vadeli sınır değerler belirlenmiştir. Bütün ölçüm sonuçlarının aşılmaması gereken aritmetik ortalama değerlerine uzun vadeli sınır değerleri (UVS) denmektedir. Maksimum günlük ortalama değerler veya bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının %95’ini aşmaması gereken değerlere kısa vadeli sınır değerler (KVS) olarak tanımlanmaktadır (Akbulut Zencirci & Işıklı, 2017).

Merkeze bağlı kurulan hava kirliliği ölçüm istasyonlarının hepsinde kükürtdioksit (SO₂) ve partikül madde (PM₁₀, PM_{2.5}) parametrelerine ek olarak azotoksitler (NO, NO₂, NO_x), karbonmonoksit (CO) ve ozon (O₃) tam otomatik olarak

ölçülmektedir. İstasyonlarında toplanan ölçüm verileri GSM modemler aracılığıyla ÇŞİDB ait Çevre Referans Laboratuvarı Veri İşletim Merkezine aktarılmaktadır. Eşzamanlı olarak Merkezden izlenmektedir. Saatlik ortalamalar biçiminde istasyonlardan alınan veriler incelenmekte, doğrulama çalışmaları yapılmakta ve bu verilerle aylık ve yıllık raporlar hazırlanıp yayınlanmaktadır (Korkmaz, 2023, s.42). Ayrıca istasyondan elde edilen veriler, yıllık Avrupa Çevre Ajansı raporlama yükümlülüğü bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumuna hava kalitesi hakkındaki veriler iletilmektedir. Benzer şekilde, verilerin temiz hava politikası oluşumuna yön vermesi amacıyla Bakanlığın merkez teşkilatına raporlanmaktadır. Özellikle hava kalitesi bakımından problemli bölgelerin belirlenmesi, denetimlerinin yapılması ve çözüme kavuşturulması bu veriler sayesinde olmaktadır (Anadolu Ajansı, 2025).

Hava kalitesi izleme istasyonlarının kurulması için gerekli hava kalitesi ön değerlendirme projeleri, 2008 yılında başlamış olup, önemli ölçüde başarıyla tamamlanmıştır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023). ÇŞİDB kentlerde kurduğu 382 hava kalitesi izleme istasyonlarının yanı sıra, bazı noktalarda ölçüm alabilmek için, 4 mobil hava kalitesi ölçüm araçları kullanmaktadır (Anadolu Ajansı, 2025). Mobil ölçüm araçları; ölçüm istasyonlarında yer alan ölçüm sistemlerinin bir kabin içerisinde taşıyan kamyon

müteşekkildir. Bu araç sayesinde, veri alınmak istenen noktaya kolaylıkla ulaşım sağlanmakta ve ölçüm yapılabilir. Bakanlığa ait hava kalitesi ölçüm istasyonlarının yanı sıra hava kalitesini ölçen başka kurum ve kuruluşlara ait istasyonlarda bulunabilmektedir (Korkmaz, 2023).

Hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan veriler, www.havaizleme.gov.tr ve Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı mobil uygulamasından kamuoyuna aktarılmaktadır. Resmi İstatistik Programı çerçevesinde aylık ve yıllık haber bültenleri hazırlanarak, yayımlanmaktadır. Türkiye’de, 2003 tarihinde ve 25052 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren anlaşma ile Avrupa Çevre Ajansı ve Avrupa Bilgi ve Gözlem Ağı (EIONET)’na üye olmuştur. Anlaşma gereğince, hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen veriler, her yıl Avrupa Çevre Ajansı raporlanmaktadır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

Türkiye’deki son beş yıla (2018-2022) ait hava kalitesi verileri incelenmiştir. Bu dönemde; Partikül madde parametresinde %4 oranında, Kükürt dioksit parametresinde % 46 oranında, Karbon monoksit parametresinde % 18 oranında, Azot dioksit parametresinde % 3 oranında, Ozon parametresinde % 8 oranında, olmak üzere, hava kalitesinde ortalama % 16 oranında iyileşme sağlanmıştır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

5. Sonuç

Araştırmada, Dünya Sağlık Örgütü hava kalitesi rehberlerinin gelişimi, Türkiye’deki yasal düzenlemeler, hava kalitesi standartları ve hava kalitesi ölçüm istasyon verileri ve ağı incelenmiştir. inceleme neticesinde:

-Ulusal hava kalitesi standartları hazırlanırken Dünya Sağlık Örgütü Rehberi, Avrupa Çevre Ajansı, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı çalışmaları dikkate alınarak hazırlanmıştır.

-Avrupa Birliği hava kalitesi standartlarının Türkiye’de yürürlüğe girmesi hedefinin tutturulduğu görülmüştür. SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, Pb, C₆H₆, CO, O₃, Arsenik, Kadmiyum, Nikel, Benzo(a)piren limit değerleri bakımından uyumludur. Daha zor bir hedef olan Dünya Sağlık Örgütü hava kalitesi değerlerine yönelik uyum çalışmalarının hız kazanması gerekliliği

tespit edilmiştir.

-Neredeyse her ilimizde ölçüm istasyonları bulunmakta ve hava kalitesini sürekli ölçerek raporlamaktadır.

Türkiye, temiz hava mevzuatı bakımından kapsamlı yasal çerçeveye sahiptir. Bu yasal çerçeve tam sanayileşmemiş bir ülke için yeterli olduğu söylenebilir. Uygulamadaki aksaklıklardan hava kalitesinin korunması ve halk sağlığının güvence altına alınması için yetersizliklerinden bahsedilebilir. Bu durum denetim mekanizmasının etkin çalışmasıyla giderilebilir. Türkiye’de hava kalitesinin korunmasına yönelik politikalarda olumlu sonuçtan bahsedilebilir. Çünkü karar verme-yapma-denetleme süreçleri işletilmiş ve hava kalitesinde iyileşme görülmüştür.

Kaynakça

- Akbulut Zencirci, S., & Işıklı, B. (2017). Hava Kirliliği. Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi, 24-36.
- Anadolu Ajansı (2025, 01 31). Anadolu Ajansı. Anadolu Ajansı: <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/turkiyenin-hava-kalitesi-ne-anlik-takip/3467634> adresinden alındı.
- Başbakanlık (1986, 11 2). Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği.
- Ciciybıyık, A., Şarлак, N., & Üstün, D. (2019). Karaman İli Hava Kirliliği Durumu. KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 59-69.
- Çakır Sümer, G. (2014). Hava Kirliliği Kontrolü: Türkiye'de Hava Kirliliğini Önlemeye Yönelik Yasal Düzenlemelerin ve Örgütlenmelerin İncelenmesi. International Journal of Economic and Administrative Studies, 37-56.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2005, 1 13). Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7265&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> adresinden alındı.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2009, 07 03). Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=13184&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> adresinden alındı.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2017, 03 11). Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü Yönetmeliği. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=23410&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> adresinden alındı.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023, 06 30). Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://www.csb.gov.tr/81-ilin-hava-kalitesi-ulusal-hava-kalitesi-izleme-agi-ile-7-gun-24-saat-takip-ediliyor-bakanlik-faaliyetleri-38711> adresinden alındı.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024, 09 24). Yakıt ve Yakma Sistemleri Hakkında Genelge. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/2024_5-20240924135520.pdf adresinden alındı.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025, 01 30). Ege Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://egethm.csb.gov.tr/hava-ve-hava-kirliligi-i-87404#:~:text=Hava%20kirliligi%20C%20havan%20B1n%20do%20C%20bile%20C%20Fiminin,olabilecek%20deri%20C%20Fim%20ve%20s%20C%20BCrede%20bulunmas%20C%20B1d%20C%20B1r> adresinden alındı.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2013, 9 9). Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesi. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editedordosya/GNG2013-37HavaKalitesiDegerl.pdf> adresinden alındı.
- Dışişleri Bakanlığı. (2025, 02 12). Türkiye Cumhuriyeti Birleşmiş Milletler Cenevre Ofisi Nezdinde Daimi Temsilciliği. Dışişleri Bakanlığı: [https://cenevreofisi-dt.mfa.gov.tr/Mission/ShowInfoNote/353797#:~:text=D%3BCnya%20Sa%20C%20B1k%20Te%20C%20Fkilat%20C%20B1%20\(World%20Health,anlamda%20olanaklar%20%20C%20B6l%20C%20A7%20C%20BCs%20C%20BCnde%20sa%20C%20B1k%20C%20B1%20k%20C%20B1lmakt%20C%20B1r](https://cenevreofisi-dt.mfa.gov.tr/Mission/ShowInfoNote/353797#:~:text=D%3BCnya%20Sa%20C%20B1k%20Te%20C%20Fkilat%20C%20B1%20(World%20Health,anlamda%20olanaklar%20%20C%20B6l%20C%20A7%20C%20BCs%20C%20BCnde%20sa%20C%20B1k%20C%20B1%20k%20C%20B1lmakt%20C%20B1r) adresinden alındı.
- Euronews. (2024). Euronews. Euronews: <https://tr.euronews.com/saglik/2024/03/19/arastirma-sadece-yedi-ulke-dunya-saglik-orgutunun-hava-kalitesi-standartini-karsiliyor> adresinden alındı.
- Evolution of the Clean Air Act. (2025, 02 04). United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/evolution-clean-air-act> adresinden alındı.
- Hava Kirliliğinin Kontrolü ve Önlenmesi Genelgesi. (2010, 9 28). Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://cygm.csb.gov.tr/genelgeler-i-442> adresinden alındı.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2025, 2 7). Mevzuat. İBB Hava Kalitesi İzleme Merkezi: <https://havakalitesi.ibb.gov.tr/Icerik/mevzuat/dunya-saglik-orgutu-limitleri> adresinden alındı.
- Keleş, R., Hamamcı, C., & Çoban, A. (2015). Çevre Politikası. Ankara: İmge Kitabevi.
- Korkmaz, Ş. (2023). Akıllı Kentlerde Alansal Hava Kirliliğinin Belirlenmesi ve Kirlilik Modellemesi: Erzurum İli Örneği. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2024, 11 25). Türk Standartları Enstitüsü: https://www.tse.org.tr/sss/ornek-soru-1/?asp_high-light=su+kirliligi%20C%20Fim%20ve%20s%20C%20BCrede%20bulunmas%20C%20B1d%20C%20B1r adresinden alındı.
- Türkiye Büyük Millet Meclisi. (1983, 8 9). Çevre Kanunu.
- Türkiye Ulusal Ozon Birimi. (2025, 02 26). Türkiye Ulusal Ozon Birimi. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://ozonturkiye.csb.gov.tr/uluslararasi-protokoller-i-101939> adresinden alındı.
- World Health Organization. (2021). DSÖ Hava Kalitesi Kılavuzlarının Gelişimi. Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği.
- World Health Organization Regional Office for Europe. (2000). Air Quality Guidelines for Europe Second Edition. Copenhagen: WHO Regional Publications, European Series, No. 91.
- Yılmaz, M., Emanet Beba, H., Dinç, U., Ünal, Z. F., Toros, H., & Öztürk, Z. (2020). Dilovası Hava Kalitesinin Ulusal Mevzuata Göre Değerlendirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 703-714.

Çevresel Sürdürülebilirlik Bağlamında Sağlık Yönetimi

Health Management in the Context of Environmental Sustainability

Prof. Dr. Yeter USLU

İstanbul Medipol Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye
yuslu@medipol.edu.tr
ORCID: 0000-0002-8529-6466

Dr. Öğr. Üyesi Meryem DEMİRTAŞ

Şırnak Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, Şırnak, Türkiye
meryem.demirtas@sirnak.edu.tr
ORCID: 0000-0002-0790-8471

Makale Türü:

DERLEME

Gönderilme Tarihi:

12 Şubat 2025

Kabul Tarihi:

7 Nisan 2025

Öz

Günümüzde sağlık yönetimi, yalnızca bireylerin sağlık hizmetlerine erişimini ve sağlık sistemlerinin etkinliğini değil aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ile olan karmaşık ilişkisini de içermektedir. Çevresel faktörler, hava ve su kirliliğinden iklim değişikliğine, atık yönetiminden biyoçeşitlilik kaybına kadar geniş bir yelpazede insan sağlığını doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Hava kirliliği solunum yolu hastalıklarını arttırırken, su kaynaklarının kirlenmesi bulaşıcı hastalıkların yayılmasına zemin hazırlamaktadır. Küresel ısınma, sıcak hava dalgaları ve doğal afetlerin sıklığını arttırarak halk sağlığını tehdit etmektedir. Atık yönetimi ve kimyasal kirlenmeler, kanser ve nörolojik hastalıklar ile ilişkilendirilmekte özellikle kırılgan gruplar üzerinde ciddi sağlık etkileri yaratmaktadır. Sağlık sistemlerinin sürdürülebilir politikalar benimsemesi, çevresel risklerin en aza indirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Hastanelerin karbon ayak izini azaltma çabaları, yeşil bina uygulamaları ve yenilenebilir enerji kullanımı, sağlık sektörünün çevresel etkisini hafifletmeye yönelik önemli adımlardır. Bu bağlamda, sağlık yönetimi ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki etkileşimlerin daha iyi anlaşılması, uzun vadede toplum sağlığını koruma ve geliştirme açısından hayati öneme sahiptir. Bu çalışma, sağlık yönetimi perspektifinden çevresel sürdürülebilirlik konularını ele alarak, her iki alanın kesişim noktalarını ve çözüm önerilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Sağlık yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik arasındaki etkileşimleri incelemek amacıyla literatür taraması yapılmıştır. Konuyla ilgili güncel araştırmalar değerlendirilerek, sağlık sektöründe çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden stratejiler ve uygulamalar analiz edilmiştir. Sağlık sektöründe çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden politikaların geliştirilmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır. Sağlık yönetimi ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki etkileşimlerin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması, hem insan sağlığını korumaya hem de ekosistemlerin sürdürülebilirliğini sağlamaya katkıda bulunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sağlık Yönetimi, Sürdürülebilirlik, Çevresel Sorunlar, Çevresel Sürdürülebilirlik, Toplum Sağlığı.

Abstract

Nowadays, health management not only involves ensuring individuals' access to healthcare services and the efficiency of health systems, but also includes its complex relationship with environmental sustainability. Environmental issues, ranging from air and water pollution to climate change, waste management, and biodiversity loss, directly and indirectly impact human health. Air pollution increases respiratory diseases, while water contamination facilitates the spread of infectious diseases. Global warming intensifies heat waves and the frequency of natural disasters, posing significant threats to public health. Waste management issues and chemical pollutants are linked to cancer and neurological disorders, with particularly severe effects on vulnerable populations. Sustainable policies in healthcare systems play a crucial role in minimizing environmental risks.

Efforts such as reducing the carbon footprint of hospitals, implementing green building practices, and utilizing renewable energy sources are key steps in reducing the environmental impact of the healthcare sector. In this context, understanding the interactions between healthcare management and environmental sustainability is essential for protecting and improving public health in the long term. This study aims to examine environmental sustainability from a healthcare management perspective, exploring the intersections between these fields and proposing potential solutions. A literature review was conducted to examine the interactions between healthcare management and environmental sustainability. Current research on the topic was evaluated, and strategies and practices promoting environmental sustainability in the healthcare sector were analyzed. It is crucial to develop and implement policies that promote environmental sustainability in the health sector. Addressing the interactions between healthcare management and environmental sustainability with a holistic approach will contribute to both protecting human health and ensuring the sustainability of ecosystems.

Keywords: Health Management, Sustainability, Environmental Issues, Environmental Sustainability, Public Health.

1. Giriş

İnsanın en değerli varlığı olan sağlık, çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Çevresel faktörler taşıdığı kalite özelliğine göre içinde bulunan toplumun sağlığını doğrudan etkilemektedir. İyi kalite düzeyine sahip bir çevre toplum sağlığını fiziksel, zihinsel ve sosyal yönden olumlu etkilerken, kötü kalite düzeyine sahip bir çevre toplum sağlığını olumsuz yönde etkileyerek, toplumda sağlık problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Rumambi, 2023). Bu noktada toplumun sağlığını inceleme, sağlık çıktılarını gözlemleme, analiz etme, değerlendirme ve politika geliştirme suretiyle sağlık düzeyini yükseltmeyi misyon edinmiş bir disiplin olarak sağlık yönetimi, çevresel sorunlarla kesişme noktası bulmaktadır (Omaghomi ve ark., 2023).

Çevresel sorunlar ve sağlık yönetimi, toplumun sağlık düzeyi ve çevrenin sürdürülebilirliği üzerindeki etkisi tartışılmayacak kadar yüksek olan, birbiri ile iç içe geçmiş ve bağlantılı alanlardır. Küresel popülasyon genişledikçe ve şehirleşme artmaya devam ettikçe insan sağlığı ve çevresel faktörler arasındaki ilişki giderek daha kompleks ve kritik süreçlere evrilmektedir (Luangcharoenrat, Intrachooto, Peansupap, ve Sutthinarakorn, 2019). Hava ve su kirliliği, iklim değişikliği ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi çevresel faktörler toplumun sağlık çıktılarını doğrudan etkilemekte sonuç olarak solunum yolu hastalıkları ve vektör kaynaklı hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Comunian, Dongo, Milani, ve Palestini, 2020). Diğer taraftan insan aktiviteleri ve sağlık yönetimi uygulamaları, atıkların bertaraf edilmesi, doğal ve enerji kaynaklarının dikkatli kullanımı gibi faaliyetlerle, çevresel faktörler üzerinde derin bir etkiye sahip olmaktadır (Lenzen ve ark., 2020; Turkyilmaz ve ark., 2019).

Sağlık yönetimi, çevresel sorunların daha hassas bir şekilde ele alınması, çevresel problemlere karşı farkındalık yaratılması hususunda toplumsal faaliyetlerin etkili bir şekilde eyleme geçirilmesine ve çevresel sürdürülebilirliğin oluşması için stratejilerin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır. Bu stratejilerin geliştirilmesi sağlık yönetimi profesyonelleri, çevre bilimcileri, politika yapıcıları ve toplum liderlerini de içine alan interdisipliner bir yaklaşımı gerektirmektedir (Mehra ve Sharma, 2021). Çevresel farkındalığı/sürdürülebilirliği, sağlık yönetimi stratejilerine dönüştürebilmek için yalnızca hastalıkları tedavi etmeyi amaçlayan bir sistemden ziyade ortamda hastalığa neden olan faktörün belirlenerek bertaraf edilmesini/yok edilmesini öngören sürdürülebilir bir sağlık sisteminin geliştirilmesi gerekmektedir.

Evrensel ve sürdürülebilir bir sağlık yaklaşımı önerisi olarak, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)-Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (UN/FAO)- Uluslararası Dünya Bulaşıcı Hayvan Hastalıkları Örgütü (OIE) 2000'li yılların başında tüm biyoçeşitliliği içine alan "Tek Sağlık" kavramını ortaya çıkarmıştır. Tek Sağlık kavramı insan sağlığı, hayvan sağlığı ve çevre sağlığı arasındaki karmaşık bağlantıyı vurgulamaktadır. Tek Sağlık, evrende var olan her şeyin -insanlar, hayvanlar, bitkiler ve tüm ekosistemlerin- sağlığının birbiri ile bağlantılı ve birbirine bağımlı olduğunu

ifade etmektedir. Gıda, su, enerji ve çevre gibi konuların yanı sıra ekosistemlerin sağlığı, gıda güvenliği ve anti-biyotik kullanımı gibi konuların da interdisipliner bir yaklaşımla sürdürülebilir sağlık stratejileri geliştirilirken göz önünde bulundurulmasını önermektedir (Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), 2022a; Taştan, 2022).

Günümüzde yaşanan küresel sağlık ve çevre sorunları karşısında insan sağlığını ve çevresel sürdürülebilirliği geliştirebilecek yenilikçi çözümlerin ortaya konulması bir zorunluluk haline gelmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, sağlık yönetimi perspektifinden çevresel sürdürülebilirlik konularını ele alarak her iki alanın kesişim noktalarını ve çözüm önerilerini incelemektir. Bu kapsamda sağlık yönetimi ve çevre sorunları incelenmekte aralarındaki ilişkiye vurgu yapılmakta sağlığı etkileyen çevresel faktörlerden bahsedilmekte çevresel sürdürülebilirlik için alınması gereken eylemler ifade edilmekte ve çevresel sorunlar nedeniyle ortaya çıkan problemlerin neden olduğu kaygıların giderilmesi için sisteme entegre edilebilecek yaklaşımlar ele alınmaktadır.

2. Çevresel Problemlerin Toplum Sağlığı Üzerine Etkileri

Çevresel problemler, küresel ölçekte toplum sağlığını doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. İnsan sağlığı ve refahı, çevresel koşullardaki bozulmalar nedeniyle ciddi tehditlerle karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle kırılgan gruplar olan çocuklar, yaşlılar ve kronik hastalığı bulunan bireyler çevresel risklere karşı daha savunmasız bir kitleyi oluşturmaktadır (Haines ve Ebi, 2019)

Küresel çevre problemleri başlıca; su kirliliği, hava kirliliği, iklim değişikliği, atık yönetimi sorunları ve kimyasal madde maruziyeti şeklinde sınıflandırılabilir. Bu sorunlar, özellikle sanayileşmiş ve nüfusu yoğun bölgelerde daha belirgin hale gelmektedir. Hava ve su kalitesinin bozulması, yaşam alanlarının kirlenmesi ve toksik maddelere maruz kalınması, bireylerin sağlık durumlarını olumsuz etkileyerek bulaşıcı ve bulaşıcı olmayan hastalıkların artmasına neden olmaktadır. Bu çevresel etmenler; astım, bronşit, kalp hastalıkları ve kanser gibi pek çok sağlık sorununun ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre, dünya genelindeki ölümlerin yaklaşık dörtte biri çevresel faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bu durum, çevre sağlığının korunmasının ve sürdürülebilir çevre politikalarının uygulanmasının toplum sağlığı açısından ne denli hayati olduğunu ortaya koymaktadır (DSÖ, 2022b).

2.1. Hava Kirliliği ve Sağlık Üzerindeki Etkileri

Hava kirliliği insan hayatı üzerinde zararlı etkileri bulunan önemli bir küresel problemdir. Özellikle endüstrileşme

ile artan sanayileşme ve fosil yakıt kullanımı hava kalitesi üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Hava içerisinde bulunan ince partiküllü maddeler (PM2.5) ve nitrojen dioksit (NO2) gibi kirlenici maddeler solunum yolu hastalıkları, kalp-damar rahatsızlıkları, akciğer kanseri ve bağışıklık sistemi hastalıkları gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Araştırmalar hava kirliliğine maruz kalmanın, astıma, bronşit üst solunum yolu enfeksiyonları gibi solunum yolu hastalıklarına; koroner kalp hastalığı ve felç gibi kardiyovasküler rahatsızlıklara neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca hava kirliliği bireyin hastalıklara karşı savunma mekanizması olan bağışıklık sistemine zarar vererek çeşitli hastalıklara yakalanma riskini tetikleyebilmektedir (Comunian ve ark., 2020; DSÖ, 2021).

Hava kirliliği yalnızca birey sağlığını değil, aynı zamanda toplum sağlığını da doğrudan etkilemektedir. Özellikle kronik hastalıkları olan bireylerde hava kirliliğine bağlı komplikasyonlar daha sık görülmekte, bu da sağlık hizmetlerine olan talebi artırmaktadır. Çocuklar, yaşlılar ve düşük sosyoekonomik düzeydeki bireyler gibi savunmasız gruplar, kirli hava koşullarından daha fazla etkilenmektedir. Bu durum, sağlık hizmetlerinin yükünü artırarak sağlık sistemlerinde kaynakların verimli kullanılması konusunda zorluklar yaratmaktadır. Ayrıca, hava kirliliğine bağlı hastalıkların erken teşhis ve tedavi edilmemesi halinde, iş gücü kayıpları ve ekonomik zararlar da kaçınılmaz hale gelmektedir (DSÖ, 2021).

Bu bağlamda, sağlık yönetimi disiplinine önemli roller düşmektedir. Öncelikle, sağlık politikalarının oluşturulmasında çevresel sağlık risklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Sağlık yöneticileri, hava kirliliğinin yol açtığı sağlık sorunlarının önlenmesi için halk sağlığı temelli stratejiler geliştirmelidir. Erken uyarı sistemleri, hava kalitesi

takip uygulamaları ve halkı bilgilendirme kampanyaları gibi önleyici faaliyetler uygulanmalıdır. Ayrıca, sağlık sistemleri, hava kirliliği kaynaklı hastalıklara yönelik tanı, tedavi ve rehabilitasyon hizmetlerini etkin şekilde planlamalı ve sunmalıdır (OECD, 2021).

Aynı zamanda, sağlık yönetimi, diğer sektörlerle iş birliği içinde çalışarak çevre sağlığını koruyucu bütüncül politikaların geliştirilmesine katkı sağlamalıdır. Çevre ve şehircilik, ulaşım ve enerji politikaları ile entegre çalışan bir sağlık yönetimi yaklaşımı, uzun vadeli ve sürdürülebilir çözümler sunabilmektedir. Hava kalitesinin izlenmesi, kirlenme kaynaklarının belirlenmesi ve bu kaynaklara yönelik regülasyonların uygulanmasında sağlık otoritelerinin danışmanlık ve denetim rolü büyük önem taşımaktadır. Böylece sağlık yönetimi, sadece tedavi odaklı değil, aynı zamanda koruyucu ve önleyici bir yaklaşım benimseyerek toplum sağlığının sürdürülebilirliğine katkı sağlayabilmektedir (Lancet Countdown, 2022).

2.2. Su Kirliliği

Su kirliliği insan sağlığını ciddi düzeyde tehdit eden önemli bir çevre sorunudur. Su kirliliği nedeniyle ağır kimyasallara uzun süre maruz kalma sağlığı önemli düzeyde tehdit edebilmekteyken kirliliği su tüketimi nedeniyle hastalıklar çok hızlı yayılabilmektedir. Temiz su kaynaklarının azalması ve su kirliliği küresel anlamda ciddi toplumsal sağlık problemlerine yol açmaktadır. Endüstriyel atıklar, tarımda kullanılan pestisitler ve evsel atıklar su kaynaklarını kirleterek içme suyu yoluyla bulaşan hastalıkların yayılmasını hızlandırmaktadır. Kirliliği su, hastalık patojenleri ve zararlı kimyasalları içermektedir. Su kirliliğine bağlı olarak ishal, kolera, tifo, hepatit A gibi hastalıklar yaygınlaşmakta; uzun vadeli ağır metaller ve zararlı kimyasallara maruz kalma, sinir sistemi bozukluğu, hormonal ve gelişimsel sorunlara yol açmaktadır (Prüss-Ustün ve ark., 2019).

Su kirliliğinin sağlık üzerindeki etkileri sadece akut enfeksiyon hastalıklarıyla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda uzun vadeli kronik sağlık problemlerine de neden olabilmektedir. Özellikle arsenik, kurşun ve cıva gibi ağır metallerin içme suyuna karışması, kanser riskini artırmakta, böbrek ve karaciğer fonksiyonlarını bozmakta ve bağışıklık sistemini zayıflatmaktadır. Tarımda kullanılan kimyasal gübre ve pestisitlerin yer altı sularına karışması sonucu ciddi sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir (UNESCO, 2024). Kentsel ve endüstriyel büyümenin sürdüğü bölgelerde su kaynaklarının korunması artık sadece çevre politikalarının değil, aynı zamanda sağlık politikalarının da merkezine alınması gereken bir konu haline gelmiştir.

Bu noktada sağlık yönetimi, su kaynaklarının korunmasında aktif rol üstlenmelidir. Önleyici sağlık stratejileri geliştirilmeli, toplum su kirliliği konusunda bilinçlendirilmeli ve güvenli suya erişim sağlanmalıdır. Ayrıca su kaynaklarının düzenli olarak denetlenmesi, patojenlerin tespiti için erken uyarı sistemlerinin kurulması ve su arıtma teknolojilerinin yaygınlaştırılması sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Çevresel sağlık risklerinin değerlendirilmesi ve yönetilmesi sürecinde multidisipliner bir yaklaşımla, çevre mühendisleri, halk sağlığı uzmanları ve politika yapıcılarla iş birliği yapılmalıdır.

Su kirliliğiyle mücadele sadece çevre koruma çabalarının bir parçası değil, aynı zamanda halk sağlığını koruma ve geliştirme stratejisinin temel bileşenlerinden biridir. Sağlık yönetiminin çevreyle ilişkili risk faktörlerini dikkate alarak planlama yapması, toplum sağlığının korunmasında kritik bir rol oynamaktadır. Kirliliği su kaynaklarının yarattığı tehditleri en aza indirmenin yolu; bilimsel, sürdürülebilir ve katılımcı bir yönetim anlayışından geçmektedir. Bu çerçevede, su güvenliğini artırmaya yönelik alınacak her önlem, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği değil, aynı zamanda toplum sağlığının geleceğini de güvence altına alacaktır.

2.3. İklim Değişikliği ve Ortaya Çıkan Sağlık Tehditleri

İklim değişikliği sağlık riskini arttırmakta olan önemli faktörlerden biridir. İklim değişikliği 21. yüzyılda dünya sağlığını tehdit eden en önemli faktördür (Ballard, 2016). İklim değişikliği, aşırı hava olaylarının (sel, kuraklık, sıcak hava dalgaları,) artmasına sebep olarak insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. İklim değişikliği sonucu ortaya çıkan doğal afetler hem bulaşıcı hastalıkların yayılmasına hem de doğal afetlerden kaynaklı mental sağlık problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Örneğin; sıcak hava dalgaları, kardiyovasküler ve solunum hastalıklarının şiddetini arttırırken aşırı yağışlar ve seller bulaşıcı sağlık problemlerini hızlandırmaktadır (Haines ve Ebi, 2019). Ayrıca küresel sıcaklık artışının vektör kaynaklı hastalıkların (örneğin, sıtma ve dang humması) yayılımını artırdığı bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur (Githeko, Lindsay, Confalonieri ve Patz, 2000). İklim değişikliği, sel, kuraklık, fırtına gibi doğal afetlerin ortaya çıkmasına sebep olmakta hatta kişiler yaşam yerlerini terk etmek zorunda kalmakta bunun sonucunda insan sağlığı zihinsel ve fiziksel olarak ciddi şekilde etkilenmektedir (Stanke, Murray, Amlôt, Nurse, ve Williams, 2012). Bireyler kalıcı travma, stres ve zihinsel sıkıntılar gibi sağlık problemleri ile karşı karşıya kalmaktadır (Trombley, Chalupka, ve Anderko, 2017).

İnsan sağlığını koruyabilmek için hava kirliliği, su kirliliği,

fiziksel çevrenin ve insan sağlığının iklim değişikliği ile olan ilişkisi kavranmalı ve anlaşılmalıdır. İnsan sağlığını korumak için ilk olarak içinde bulunduğumuz çevreyi ve doğayı korumamız gerekmektedir. Bu doğrultuda almamız gereken önlemlerin ve yapılması gereken eylemlerin ne kadar önemli olduğu konusunda bir farkındalık oluşturulmalıdır. Bu konuda yapılması gereken eylemler arasında hava kirliliğine sebep olan faktörlerin belirlenerek kontrol altına alınması, su kaynaklarının korunması ve su tüketiminin kontrol edilmesi, fiziksel çevrenin korunması, iklim değişikliğinin azaltılması ve mevcut iklim değişikliklerine uyum sağlanması yer almaktadır (Chandar ve Ravipragasam, 2024). Bu eylemlerin hayata geçirilebilmesi, optimal sağlığa ulaşabilmek, sağlıklı bir çevre ve çevresel sürdürülebilirlik oluşturabilmek için hükümetler, sanayi sektörü, toplum ve bireylerin ortak hareket etmesi gerekmektedir. Küresel iklim değişikliği sürecinde sağlık yöneticilerinin sürece etkisi aşağıdaki koşullarla mümkün olabilmekte ve büyük önem arz etmektedir (Okolo, Ijeh, Arowoogun, Adeniyi, ve Omotayo, 2024; Rumambi, 2023):

- Sağlık yöneticisi, iklim değişikliği ile ilişkili acil durumlara cevap verebilme ve hastalık yüküne karşı ihtiyacı karşılayabilecek bir sağlık hizmet kapasitesi oluşturma suretiyle sağlık sistemini güçlendirerek,
- Aşırı hava olayları, deprem ve hastalık salgınlarını önceden tahmin edebilecek erken uyarı sistemleri oluşturarak,
- Afetlere dayanıklı ve kriz sırasında hizmet verebilecek kapasitede sağlık tesisleri kurmak amacıyla afete dayanıklı alt yapıları teşvik ederek,
- Sağlık personellerini afetlerle ilişkili durumlarda ortaya çıkabilecek durumlara karşı eğiterek,
- İklim değişikliğinin azaltılması ve mevcut değişikliklere adaptasyon sağlamak amacıyla çevre, şehir planlama ve tarım ile ilgili sektörlerle iş birliği yaparak,
- Sera gazı yayılımını azaltan ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eden politika ve stratejileri destekleyerek,
- Çevresel değişikliklerin sağlık üzerindeki etkilerini araştırarak, mevcut iklim değişikliklerine nasıl uyum sağlanabileceği konusunda analizler ve çalışmalar yaparak,
- Toplum ve sağlık profesyonellerini çevresel riskler ve önlem alınması gereken noktalar ile ilgili eğitmek suretiyle toplumsal farkındalık yaratarak,
- Karbon ayak izlerini azaltacak faaliyetlerle sürdürülebilir sağlık uygulamaları geliştirerek ve
- Kaynakların dağıtımında çocuklar, yaşlılar ve düşük gelirli gruplar gibi kırılgan grupları önceliklendirerek katkı sağlayabilmektedir.

3. Çevresel Sorunlarda Sağlık Yönetiminin Rolü ve Çevresel Sürdürülebilirlik

Sağlık yönetimi çevresel sorunların ele alınmasında ve çevresel sürdürülebilirliğin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Sağlık yönetiminde sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliği, yeşil hastaneler ve çevresel sürdürülebilirlik stratejik bir yere sahiptir ve çevre sorunlarının çözümüne karşı kilit noktalar olarak görülmektedir. Sağlık yönetimi çevresel sorunlara;

- Toplum sağlığını etkileyen çevresel faktörleri izleyerek ve analiz ederek yani çevre sağlığını izleyerek operasyonel ve stratejik kararlarla (Omaghomi ve ark., 2023),
- Sağlıklı bir çevre için olumlu çevresel etkiyi yaratacak iyi uygulama örnekleriyle (Ballard, 2016),
- Sağlıklı bir çevrede yaşayabilmek için geliştirilen politikalarla (Omaghomi ve ark., 2023),
- Enerji, su gibi kaynakların optimal kullanımını sağlayan kaynak yönetimi ile (Naveed ve ark., 2024),
- Geri dönüşümü destekleyecek atık azaltma stratejileri geliştirme ile (Ghalandari ve ark., 2023),
- Toplum ve sağlık profesyonellerini çevresel sorunlarla ilgili eğiterek (Haines ve Ebi, 2019) katkı sağlayabilmektedir.

Sürdürülebilir sağlık hizmetleri çevresel sorunlara, sağlık kurumlarında yaratılan çevre dostu uygulamalarla diğer bir deyişle yenilenebilir enerji kaynaklarının, enerji tasarrufu sağlayan teknolojilerin, su tasarrufu sağlayacak uygulamaların sisteme entegre edilmesiyle çevre dostu ürün temini ve tedarikçilerinin seçilmesiyle yeşil bina tasarımı ile sürdürülebilir malzemelerin ve enerji tasarrufu sağlayan tasarımlar kullanılması ile katkı sağlamaktadır (Eti ve ark., 2023).

Yeşil hastaneler, LEED sertifikasına sahip geri dönüşüm ve atık yönetimi programları olan, hastane tasarımı içerisinde dinlenme alanları ve yeşil terasları bulunan, organik gıdaların temin edilebildiği, temizlik hizmetlerinde ve tıbbi hizmetlerde zararlı kimyasalları minimize eden hastaneler olarak çevresel sorunların azaltılmasına destek olmaktadır (Chandar ve Ravipragasam, 2024). Yeşil hastanelerde özellikle çevresel sürdürülebilirlik kültürünün oturtulabilmesi için organizasyon içerisindeki personel eğitilmeli ve personelde farkındalık oluşturulmalıdır (Uslu ve Kedikli, 2017).

Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için aşağıda sıralanan önerilerin dikkate alınması gerekmektedir (Ballard, 2016):

- Verimli su kullanımı ve enerji tasarrufu sağlayacak yapıda ve olası bir su baskını veya elektrik kesintisi gibi durumlara uyum sağlayabilecek binalar inşa edilmeli,
- Özellikle klinik atıklarla mücadeleyi de kapsayan atık yönetim sistemi geliştirilmeli,
- Şehirlerde bireysel araç kullanımı yerine toplu taşıma sistemleri kullanılmalı ya da bireyler bisiklet veya elektrikli araçları kullanmaya yönlendirilmeli,
- Ürünleri tedarik ederken organik üretim yapan firmalar tercih edilmeli,
- Tıbbi hizmet için hastane randevuları, ilaç siparişleri ve konsültasyonlar, teknolojik sistem üzerinden online yapılmalı, hastane ziyaretleri azaltılarak karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlanmalı,
- Toplum gerek sağlık bakımları hakkında bilgilendirilerek gerekse çevreye yönelik iyi uygulama örnekleriyle eğitilmeli

4. Çevresel Sürdürülebilirlikte Zorluklar ve Bariyerler

Çevresel sürdürülebilirliğin oluşturulabilmesi için tavsiye edilen uygulamalar ve stratejilerin hayata geçirilmesi aşamasında çeşitli zorluk ve sıkıntılarla karşılaşmaktadır. Sağlık yönetimi bakış açısıyla değerlendirildiğinde çevresel sürdürülebilirlik ve sağlık sisteminin sürdürülebilirliği öncelikli olarak finansal problemlerden etkilenmektedir. Sınırlı bütçeye sahip organizasyonlar için yüksek yatırım gerektiren uygulamaların sisteme entegre edilmesi zorlayıcı olmaktadır (Yan ve ark., 2024). Toplumun ve kurumların alışık olduğu düzeni kaybetmek istememeleri sebebiyle değişime gösterecekleri direnç bir bariyer olmaktadır (Uslu ve Kedikli, 2017). Toplumun ve sağlık kurumlarında çalışanların sürdürülebilir uygulamalara ilişkin bilgi ve farkındalık eksikliği çevresel sürdürülebilirliğin yakalanmasında sıkıntı oluşturabilmektedir. Sürdürülebilirlik hedeflerini gerçekleştirme sırasında toplumun ve sağlık kurumunun önceliği olan detaylar yine başka bir engel noktasını oluşturmaktadır (Saillaja ve ark., 2024). Organik ya da çevre dostu ürünlerin tedarik edilebilmesinde sıkıntılar yaşanabilmektedir. Sağlık hizmetlerinin ve toplumsal faktörlerin çevreye vereceği zararı ölçmek için standartların geliştirilmesinde zorluklarla karşılaşabilmektedir (Okolo ve ark., 2024).

5. Çevresel Sürdürülebilirlik için Gelecek Yol Haritası ve Öneriler

Birleşmiş milletler 2015 yılında Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri doğrultusunda çevresel sürdürülebilirliği de

içine alan, 17 hedeften oluşan bir yol haritası yayımlamıştır. Bu hedeflerden 9 tanesi, çevresel faktörlerin insan sağlığı üzerindeki etkilerini en aza indirmeyi ve sağlıklı bir yaşam için sürdürülebilir bir çevre oluşturmayı amaçlamaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik ile bağlantılı olan hedefler aşağıdaki gibidir (Birleşmiş Milletler, 2015).

5.1. Sağlık ve Kaliteli Yaşam Hedefi

Sağlık ve kaliteli yaşam hedefi, çevresel sürdürülebilirlik ile doğrudan bağlantılıdır; çünkü temiz hava, su ve sağlıklı ekosistemler olmadan bireylerin sağlığını korumak mümkün değildir. Çevresel kirlilik, insan sağlığı üzerinde doğrudan olumsuz etkilere sahiptir. Hava kirliliği solunum hastalıklarına, su kirliliği ise bulaşıcı hastalıklara yol açarak yaşam kalitesini düşürmektedir. Çevresel etmenlerin sağlık üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak çevresel politikalar geliştirilmesi gerekmektedir.

5.2. Nitelikli Eğitim Hedefi

Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması bireylerin doğa ve ekosistemler hakkında bilinçlenmesi ile mümkündür. Nitelikli eğitim, çevre dostu davranışların teşvik edilmesini, sürdürülebilir üretim ve tüketim alışkanlıklarının benimsenmesini sağlamaktadır. Çevre eğitimi, iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, atık yönetimi ve yenilenebilir enerji gibi konulara odaklanarak bireylerin çevreye duyarlı karar almasına yardımcı olmaktadır. Eğitilmiş toplumlar doğal kaynakları bilinçli tüketmekte ve sürdürülebilir çözümler üreterek çevresel sorunların önüne geçebilmektedir. Bu nedenle, nitelikli eğitim çevresel sürdürülebilirliğin temel taşlarından biri olmaktadır.

5.3. Temiz Su ve Sanitasyon

Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, sağlıklı bir toplum için temel gerekliliklerden biridir. Kirliliğin önlenmesi, suyun adil dağıtımı ve atık suların güvenli bir şekilde arıtılması hem ekosistemlerin korunması hem de su kaynaklı hastalıkların önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Sanayileşme, tarımsal faaliyetler ve kentleşme süreçlerinin sürdürülebilir su kullanımı anlayışıyla düzenlenmemesi hem çevresel tahribat ortaya çıkarmakta hem de halk sağlığını tehdit altına sokmaktadır.

5.4. Erişilebilir ve Temiz Enerji

Fosil yakıt kullanımı, hava kirliliği ve iklim değişikliğinin başlıca sebeplerindendir. Solunum yolu hastalıkları ve kalp damar rahatsızlıklarının artışı, fosil yakıtların neden

olduğu hava kirliliği ile doğrudan bağlantılıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, çevresel sürdürülebilirliği destekleyerek hem ekosistemlerin korunmasını hem de toplum sağlığının iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır.

5.5. Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar

Kentleşme sürecinde çevresel sürdürülebilirlik göz ardı edildiğinde hava ve su kirliliği, aşırı gürültü, yeşil alan eksikliği gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Sürdürülebilir şehirler, yeşil alanları arttırarak ve çevre dostu ulaşım sistemlerini teşvik ederek hava kalitesini iyileştirecek sağlıklı bir yaşam alanı sunmaktadır. Böylece kentlerde yaşayan bireyler daha az çevresel riskle karşılaşmakta ve genel sağlık düzeyi yükselmektedir.

5.6. Sorumlu Tüketim ve Üretim

Sanayi ve tarımda kullanılan kimyasal maddeler, yalnızca doğaya değil insan sağlığına da zarar vermektedir. Gıda güvenliği, atık yönetimi ve sürdürülebilir üretim süreçleri, çevresel tahribatı önlemek için kritik öneme sahip olmaktadır. Plastik atıkların azaltılması, geri dönüşüm sistemlerin güçlendirilmesi ve toksik maddelerin kullanımının sınırlandırılması gibi önlemler hem ekosistemleri hem de halk sağlığını korumaktadır.

5.7. İklim Eylemi

İklim değişikliği, doğal afetlerin sıklığını arttırarak insan sağlığını tehdit eden krizlere yol açmaktadır. Aşırı sıcaklar, hava kirliliği, su kıtlığı ve tarımsal verimlilikte düşüş gibi sorunları ve çevresel sürdürülebilirlik ilkesine bağlı kalınmadığında ciddi sağlık sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Karbon salınımının azaltılması, yenilenebilir enerjiye geçiş ve doğa temelli çözümlerle hem çevre hem de insan sağlığı korunabilmektedir.

5.8. Sudaki Yaşam

Denizler ve tatlı su ekosistemleri, biyoçeşitlilik ve insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Okyanus asitlenmesi, plastik kirliliği ve aşırı avlanma gibi faktörler, su kaynaklarının sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Deniz ürünleri ile beslenen toplumlar için su kirliliği, ağır metal zehirlenmesi gibi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle deniz ve tatlı su ekosistemlerinin korunması, insan sağlığının korunmasıyla doğrudan ilişkilendirilmektedir.

5.9. Karasal Yaşam

Ormanların yok olması, biyoçeşitliliğin azalması ve toprak erozyonu, gıda güvenliği ve halk sağlığını tehdit eden

başlıca çevresel sorunlardır. Pestisit ve kimyasal gübre kullanımının sınırlandırılması, toprağın verimli ve sağlıklı kalmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda, ormanlar karbon yutakları olarak işlev gördüğü için iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir role sahip olmaktadır. Sürdürülebilir tarım ve sağlıklı gıda erişimi açısından karasal ekosistemlerin korunması gerekmektedir.

Ele alınan sürdürülebilirlik kalkınma hedeflerinin tamamı, çevresel sürdürülebilirlik sağlanmadan insan sağlığının korunamayacağını göstermektedir. Sağlıklı bir yaşam sağlıklı bir çevre ile mümkün olmaktadır. Bu hedefler ışığında çevresel sürdürülebilirliğin yakalanması birtakım bariyerlerin aşılmasını da gerekli kılmaktadır. Çevresel sürdürülebilirliğin önündeki engeller doğrultusunda çeşitli sağlık yönetimi stratejileri geliştirilebilmektedir.

Finansal sıkıntılarla baş edebilmek için uzun dönemli sürdürülebilirlik planlamaları geliştirilebilir. Sürdürülebilirlik kültürünün oluşturulabilmesi ve toplumsal dirence karşı değişim yönetimi stratejileri uygulanabilir. Tüm toplum ve sağlık profesyonellerine kapsamlı bir eğitim programlanabilir. Sürdürülebilirlik uygulamaları planlama ve karar verme aşamasında öncelikli hale getirilebilir. Çevre dostu ürünlerin tedarik edilmesinde, tedarikçilerle sıkı iş birliği içinde çalışılabilir. Tüm sağlık organizasyon sorumluları ve çevre uzmanlarıyla çalışarak ortak bir sürdürülebilirlik standardı/metriği oluşturulabilir. Tüm bu stratejiler göz önünde bulundurulduğunda sağlık yönetiminin sürdürülebilir bir sağlık sistemi ve çevresel sürdürülebilirlik oluşturulmasında kritik bir role sahip olduğu gözlemlenmektedir.

Sağlık yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik arasındaki ilişki, günümüz dünyasında giderek daha önemli hale gelmektedir. Çevresel faktörler, insan sağlığını doğrudan etkileyerek toplumda çeşitli sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Hava ve su kirliliği, iklim değişikliği gibi çevresel faktörler solunum yolu hastalıkları, bulaşıcı hastalıklar ve zihinsel sağlık problemlerine yol açmaktadır. Aynı zamanda sağlık hizmetlerinin sunumu da çevre üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, sürdürülebilir sağlık yönetimi stratejileri geliştirmek hem insan sağlığını korumak hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için sağlık yönetimi alanında çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bu stratejiler, çevresel farkındalık yaratma, çevre dostu sağlık sistemleri oluşturma, yeşil hastaneleri teşvik etme, geri dönüşümü destekleme, kaynak kullanımını optimize etme ve karbon ayak izini azaltma gibi eylemleri kapsamaktadır.

Ayrıca, iklim değişikliği ile mücadelede sağlık yönetimi önemli bir rol oynamaktadır (Omaghomi ve ark., 2023). Erken uyarı sistemleri kurma, afetlere dayanıklı sağlık tesisleri oluşturma ve sağlık profesyonellerinin çevresel faktörlere karşı bilinçli bilinçlendirme gibi uygulamalar, sağlık sistemlerini güçlendirmektedir (Haines ve Ebi, 2019).

Ancak çevresel sürdürülebilirliği sağlama sürecinde çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Finansal kısıtlamalar,

toplum ve kurumların değişime direnç göstermesi, sürdürülebilir uygulamaları hakkında bilgi eksikliği, organik veya çevre dostu ürünlerin tedarikinde yaşanan sıkıntılar gibi faktörler bu süreci zorlaştırmaktadır. Bu engellerin aşılabilmesi için uzun vadeli sürdürülebilirlik planlarının geliştirilmesi, farkındalık ve eğitim programlarının yaygınlaştırılması, çevresel etkileri azaltan politika ve düzenlemelerin uygulanması gerekmektedir.

6. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde çevresel sürdürülebilirlik ve insan sağlığı arasındaki ilişki giderek daha fazla özen kazanmaktadır. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri kapsamında belirlenen dokuz hedef, çevresel faktörlerin insan sağlığı üzerindeki etkilerini en aza indirmeyi ve sürdürülebilir bir çevre oluşturmaya amaçlamaktadır (Birleşmiş Milletler, 2015). Çevresel kirlilik, solunum yolu hastalıkları, bulaşıcı hastalıklar ve diğer sağlık sorunlarını tetikleyerek sağlığı tehlikeye atmaktadır (Palanbek Yavaş, 2024). İklim değişikliğinin azaltılması ve çevresel farkındalık geliştirilmesi için sağlık yöneticileri tarafından iyi tasarlanmış politikalar oluşturulmalı, böylece Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin gerçekleştirilmesine katkı sağlanabilmelidir.

Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için eğitim (Uslu ve Kedikli, 2017), enerji ve fosil yakıt kullanımı (DSÖ, 2021), kentleşme ve sanayileşme (Turkyılmaz ve ark., 2019), sürdürülebilir tarım ve sorumlu tüketim anlayışı (Haines ve Ebi, 2019), su ve sanitasyon hizmetlerinin geliştirilmesi (Prüss-Ustün ve ark., 2019), yeşil uygulamalarının yaygınlaştırılması (Eti ve ark., 2023) kritik bir rol oynamaktadır.

Çevresel sürdürülebilirlik uygulamalarının yaygınlaştırılmasında toplumun eğitilmesi önemiyet arz etmektedir. Topluma çevresel sürdürülebilirlik anlayışının entegre edilebilmesi ancak eğitim faaliyeti ile mümkün görünmektedir. Sağlık yöneticileri, bireylerin çevre dostu uygulamalara yönlendirilmesi için bilinçlendirme kampanyaları gerçekleştirmelidir. Özellikle bireylerin bireysel araç kullanımını azaltarak toplu taşıma, bisiklet veya elektrikli araçlara yönlendirilmesi, karbon salınımını azaltmada etkili bir yöntem olabilmektedir (Ballard, 2016). Bu tür politikaların etkin bir şekilde uygulanabilmesi için hükümetler, sağlık yöneticileri ve toplum iş birliği içerisinde çalışmalıdır. Toplumun çevre dostu davranışlar konusunda bilinçlenmesi, ekosistemlerin korunması ve sürdürülebilir tüketim alışkanlıklarının benimsenmesi için eğitim programlarına önem verilmelidir

(Xie ve ark., 2018). Özellikle okulların müfredatlarında çevre bilincinin artırılması ve topluma çevresel sürdürülebilirlik amacıyla eğitim verilmesi uzun vadede bireylerin çevreye duyarlı karar almasını teşvik etmektedir.

Enerji kullanımı ve fosil yakıtlara olan bağımlılık hem çevresel hem de insan sağlığı açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Fosil yakıt tüketimi hava kirliliğine neden olarak solunum yolu hastalıklarını arttırmaktadır. Toplumların fosil yakıt kullanımı sonucu karbondioksit seviyeleri ve ince partiküllü maddelere maruziyet artmakta, bunun sonucunda hava kirliliği kaynaklı ölümler artmaktadır (Haines ve Ebi, 2019). Hava kirliliğinden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarını ve ölümleri önemli ölçüde azaltmak için sağlık yöneticileri tarafından sağlık politikaları geliştirilmeli, politikalar etkili bir şekilde uygulanmalı, ölümlerin azaltılması için düzenleme ve standartlar geliştirilmelidir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırmak ve enerji verimliliğini artıracak politikalar geliştirmek büyük önem taşımaktadır.

Kentleşme ve sanayileşme, çevresel sürdürülebilirlik açısından göz önünde bulundurulması gereken önemli diğer bir noktadır. Sürdürülebilir şehir planlaması, yeşil alanların korunması, temiz suya erişim ve çevre dostu ulaşım sistemlerinin desteklenmesi, kentlerde yaşayan bireylerin sağlığını olumlu yönde etkilemektedir (Birleşmiş Milletler, 2015). Özellikle su ve sanitasyon hizmetlerinin geliştirilmesi su kaynaklı hastalıkların önlenmesi açısından kritik bir gerekliliktir.

Sürdürülebilir tarım ve sorumlu tüketim anlayışı da halk sağlığının korunmasında önemlidir. Tarımda pestisit ve kimyasal gübre kullanımının azaltılması, toprağın verimliliğini koruyarak sağlıklı gıdaya erişimi güvence altına almaktadır (Chandar ve Ravipragasam, 2024; Haines ve Ebi, 2019). Sağlıklı yaşanabilir bir çevre geliştirilebilmesi için sağlık politikacılarının ve sağlık yöneticilerinin, sağlığı etkileyen tüm sektörlerle iş birliği yapması, toplum sağlığının geliştirilmesi

ve çözüme ulaşılabilmesi açısından önem arz etmektedir.

Tüm bu faktörler dikkate alındığında sağlık yönetimi çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında kritik bir role sahiptir. Yeşil hastanelerin yaygınlaştırılması, geri dönüşüm uygulamalarının artırılması ve sağlık sektöründe çevre dostu politikaların benimsenmesi hem insan sağlığını koruyacak hem de ekosistemleri sürdürülebilir hale getirecektir. Sağlık yönetimi, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Çevresel sorunların sağlık üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, sürdürülebilir sağlık hizmetlerinin geliştirilmesi kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmektedir. Yeşil hastaneler, sürdürülebilir malzeme kullanımı ve enerji tasarrufu sağlayan tasarımlar ile çevresel etkiyi azaltmada önemli bir model sunmaktadır (Chandar ve Ravipragasam, 2024). Bu bağlamda, sağlık yöneticilerinin, enerji verimliliği ve su tasarrufu gibi çevresel sürdürülebilirlik uygulamalarını sağlık kuruluşlarında teşvik etmeleri gerekmektedir.

Sürdürülebilir sağlık hizmetlerinin sağlanmasında, sağlık tesislerinde yenilenebilir enerji kullanımı ve atık yönetim stratejileri büyük bir öneme sahiptir. Klinik atıkların yönetimi, sağlık kuruluşlarının çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını destekleyen unsurlardan biridir (Ghalandari ve ark., 2023). Geri dönüşüm programlarının uygulanması ve atık azaltma stratejilerinin geliştirilmesi, hastanelerin çevresel ayak izini azaltmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca geri dönüşümü destekleyen ve karbon ayak izini azaltan uygulamalar, ekosistemleri koruyarak uzun vadeli sürdürülebilirlik sağlamaktadır. Uzun dönem sağlık hizmetinin sağlanması hedefiyle çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik için önerülen politikalar sağlık hizmetleri kuruluşlarının çevresel ayak izlerini azaltmalarını, kaynakları daha verimli yönetmelerini ve sağlık hizmetlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamalarını gerektirmektedir (Omaghomi ve ark., 2023).

Dijital sağlık hizmetleri, çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunabilecek bir diğer önemli faktördür. Özellikle hastane randevularının ve konsültasyonların çevrim içi sistemler üzerinden yapılması, karbon ayak izinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Uzaktan sağlık hizmetleri, gereksiz hastane ziyaretlerini azaltarak hem hastaların hem de sağlık çalışanlarının çevresel etkisini minimize edebilmektedir (Ballard, 2016).

Yeşil hastanelerin uygulanabilirliğini artırmak için sağlık personelinin çevresel sürdürülebilirlik konusunda eğitilmesi gerekmektedir. Çevre dostu uygulamaların başarıyla benimsenmesi için çalışanların farkındalık düzeyinin artırılması kritik bir adımdır (Uslu ve Kedikli, 2017). Hastane yöneticileri, çevresel sürdürülebilirlik eğitimleri düzenleyerek çalışanların bu alandaki bilgi ve becerilerini geliştirebilmektedir.

Kaynak yönetimi, sürdürülebilir sağlık hizmetleri için bir

diğer temel unsurdur. Enerji ve su gibi kaynakların optimal kullanımı hem maliyetleri düşürmekte hem de çevresel etkinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Naveed ve ark., 2024). Sağlık kuruluşlarının su ve enerji tasarrufu sağlayacak teknolojilere yatırım yapması, uzun vadede sürdürülebilirlik açısından önemli bir avantaj sunmaktadır.

Çevresel sürdürülebilirlik, sağlık yönetiminin öncelikli hedeflerinden biri olmalıdır. Yeşil hastaneler, geri dönüşüm programları, enerji verimliliği ve çevre dostu politikalar, sağlık hizmetlerinin sürdürülebilir olmasına katkı sağlayan başlıca uygulamalardır. Sağlık yöneticileri, çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden stratejiler geliştirerek hem toplum sağlığını koruyabilmekte hem de çevresel etkileri en aza indirebilmektedir. Ayrıca sağlık profesyonellerinin iklim değişikliğiyle mücadelede oynayacakları lider roller vardır. Bu roller, iklim değişikliğinin sağlık risklerini azaltmak için adaptasyon geliştirerek sağlık sistemlerini desteklemek, düşük çevresel etkiye sahip sağlık davranışları geliştirilmesine katkıda bulunmak, çevresel politikaları teşvik etmek, toplumun ve özellikle sağlık bakım sisteminin çevresel ayak izini azaltmak için sektörler arası iş birliği sağlamak ve iklim değişikliği ve sağlık konusunda araştırma ve eğitim sorumluluklarını üstlenmektir (Xie ve ark., 2018).

Sonuç olarak, sağlık yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik bir-biriyle iç içe geçmiş kavramlardır. Sağlık yöneticileri çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için sağlık politikalarını çevre dostu yaklaşımlarla yeniden şekillendirmelidir. Hükümetler, özel sektör, akademisyenler ve toplumun tüm kesimleri iş birliği yaparak sürdürülebilir sağlık hizmetleri oluşturmalıdır. Yeşil hastaneler, enerji verimliliği, su tasarrufu ve çevre dostu atık yönetim uygulamalarının sağlık sektörüne entegre edilmesi, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli bir adımdır. Bu bağlamda, Birleşmiş Milletler'in, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri arasında yer alan sağlık ve kaliteli yaşam, nitelikli eğitim, temiz su ve sanitasyon, erişilebilir ve temiz enerji, sürdürülebilir şehirler ve sorumluluklar, sorumlu tüketim ve üretim, iklim eylemi, sudaki yaşam ve karasal yaşam gibi hedefler sağlık sektörünün çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlaması açısından yol gösterici niteliktedir. Uzun vadede bu yaklaşımlar hem insan sağlığını koruyacak hem de doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını destekleyerek gelecek nesillerin sağlıklı bir çevrede yaşamasını mümkün kılacaktır.

Bu doğrultuda gelecekte yapılacak çalışmalar için, yeşil hastane konseptinin uygulanabilirliği, atık yönetimi ve iyi hastane uygulamalarının karşılaştırılması, iklim değişikliğinin halk sağlığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen sağlık politikalarının değerlendirilmesi, iklim değişikliğine karşı geliştirilen faaliyetler ve sağlık hizmetleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi önerilmektedir.

Kaynakça

- Ballard, T. (2016). Climate change: Sustainability and general practice. *InnovAiT: Education and Inspiration for General Practice*, 9(8), 496-502. <https://doi.org/10.1177/1755738016638866>
- Birleşmiş Milletler. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://docs.un.org/en/A/RES/70/1> Erişim Tarihi: 10.02.2025
- Chandar, D., & Ravipragasam, S. (2024). Environmental Health and Human Health-Unifying Strategies, Conceptual Framework and Green Prescriptions: A Review. *International Journal Of Community Medicine And Public Health*, 11(12), 5025-5031. <https://doi.org/10.18203/2394-6040.ijcmph20243424>
- Comunian, S., Dongo, D., Milani, C., & Palestini, P. (2020, June 1). Air Pollution and Covid-19: The Role of Particulate Matter in the Spread and Increase of Covid-19's Morbidity and Mortality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17, pp. 1-22. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124487>
- DSÖ. (2021). WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} And PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide And Carbon Monoxide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228> Erişim Tarihi: 07.02.2025
- DSÖ. (2022a). A Health Perspective on the Role of the Environment in One Health. <https://iris.who.int/handle/10665/354574> Erişim Tarihi: 07.02.2025
- DSÖ. (2022b). Environmental Health. https://www.who.int/health-topics/environmental-health#tab=tab_2 Erişim Tarihi: 07.02.2025
- Eti, S., Dinçer, H., Yüksel, S., Uslu, Y. D., Gökalp, Y., Kalkavan, H., Pinter, G. (2023). Determination of Priority Criteria in Green Building Transformation: An Analysis on the Service Industry. *Research in Globalization*, 7, 100164. <https://doi.org/10.1016/j.resglo.2023.100164>
- Ghalandari, M., Mukhtar, A., Yasir, A. S. H. M., Alkhabbaz, A., Alviz-Meza, A., Cárdenas-Escrocia, Y., & Le, B. N. (2023). Thermal Conductivity Improvement in a Green Building with Nano Insulations Using Machine Learning Methods. *Energy Reports*, 9, 4781-4788. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.03.123>
- Githeko, A. K., Lindsay, S. W., Confalonieri, U. E., & Patz, J. A. (2000). Climate Change and Vector-Borne Diseases: A Regional Analysis. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), 1136-1147.
- Haines, A., & Ebi, K. (2019). The Imperative for Climate Action to Protect Health. *New England Journal of Medicine*, 380(3), 263-273. <https://doi.org/10.1056/nejmra1807873>
- Lancet Countdown. (2022). The 2022 Report of the Lancet Countdown on Health and Climate Change: Health at the Mercy of Fossil Fuels. *The Lancet*, 400(10363), 1619-1654. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01540-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01540-9)
- Lenzen, M., Malik, A., Li, M., Fry, J., Weisz, H., Pichler, P. P., ... Pencheon, D. (2020). The Environmental Footprint of Health Care: A Global Assessment. *The Lancet Planetary Health*, 4(7), e271-e279. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30121-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30121-2)
- Luangcharoenrat, C., Intrachooto, S., Peansupap, V., & Sutthinarakorn, W. (2019). Factors Influencing Construction Waste Generation in Building Construction: Thailand's Perspective. *Sustainability*, 11(13), 3638. <https://doi.org/10.3390/su11133638>
- Mehra, R., & Sharma, M. K. (2021). Measures of Sustainability in Healthcare. *Sustainability Analytics and Modeling*, 1, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.samod.2021.100001>
- Naveed, A., Iqbal, S., Munir, S., Rehman, A. ur, Eslami, M., & Kamel, S. (2024). Renewable Energy Integration in Healthcare Systems: A Case Study of a Hospital in Azad Jammu and Kashmir. *IET Renewable Power Generation*, 18(5), 796-809.
- OECD (2021), The Economic Benefits of Air Quality Improvements

in Arctic Council Countries, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9c46037d-en>. Erişim Tarihi: 01.04.2025

- Okolo, C.A., Ijeh, S., Arowoogun, J. O., Adeniyi, A. O., & Omotayo, O. (2024). Healthcare managers' role in addressing health disparities: A review of strategies. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(4), 518-531. <https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i4.989>
- Omaghomi, T. T., Elufioye, O. A., Onwumere, C., Arowoogun, J. O., Odilibe, I. P., & Owolabi, O. R. (2023). General Healthcare Policy and its Influence on Management Practices: A review. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(2), 441-450. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.2.0477>
- Palanbek Yavaş, S. (2024). İklim Değişikliği ve Sağlık Etkileri. Gaziantep: Özgür Yayınları.
- Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Bartram, J., Clasen, T., Cumming, O., Freeman, M. C., ... Johnston, R. (2019). Burden of Disease from Inadequate Water, Sanitation And Hygiene for Selected Adverse Health Outcomes: An Updated Analysis with a Focus on Low- and Middle-Income Countries. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(5), 765-777. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.05.004>
- Rumambi, F. J. (2023). Environmental Effects on Health: The Role of Sustainable Environmental Management. *Jurnal Aisyah : Jurnal Ilmu Kesehatan*, 8(2). <https://doi.org/10.30604/jika.v8i2.2028>
- Saillaja, D. V., Priyadharshini, D. B., Tiwari, P. A., Natarajan, S., Vanithamani, M. R., & Ranjan Mishra, D. B. (2024). Sustainable Management Strategies for Enhancing Commercial Growth in the Public Health Sector. *SEEJPH*. <https://doi.org/DOI:10.70135/seejph.vi.1653>
- Stanke, C., Murray, V., Amlôt, R., Nurse, J., & Williams, R. (2012). The Effects of Flooding on Mental Health: Outcomes and

Recommendations from a Review of the Literature. *PLoS Curr*, 4, doi: 10.1371/4f9f1fa9c3cae.

- Taştan, R. (2022). Küresel İklim Krizi ve Vektör Kaynaklı Hastalıklar Sorununa Tek Sağlık Yaklaşımı. In E. Kiraz (Ed.), *İklim ve Sağlık* (1., pp.12-22). Ankara: Türkiye Klinikleri.
- Trombley, J., Chalupka, S., & Anderko, L. (2017). Climate Change and Mental Health. *The American Journal of Nursing*, 117(4), 44-52. <https://doi.org/10.2307/26620347>
- Turkyilmaz, A., Guney, M., Karaca, F., Bagdatkyzy, Z., Sandybayeva, A., & Sirenova, G. (2019). A Comprehensive Construction and Demolition Waste Management Model Using PESTEL and 3R for Construction Companies Operating in Central Asia. *Sustainability*, 11(6), 1593. <https://doi.org/10.3390/su11061593>
- UNESCO. (2024). The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388948>
- Uslu, Y. D., & Kedikli, E. (2017). Sürdürülebilirlik Kapsamında Yeşil İnsan Kaynakları Yönetimine Genel Bir Bakış. 3. Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 52(3), 66-81. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.17.12.694>
- Xie, E., de Barros, E., Abelsohn, A., Stein, A., & Haines, A. (2018). Challenges and Opportunities in Planetary Health for Primary Care Providers. *Lancet Planet Health*, 2(5), e185-e187.
- Yan, X., Abdalla, A. A., Zhu, G., Uslu, Y. D., Mohamed, M. A. A., Muhammad, T., & Shabbir, M. S. (2024). Does Natural Resources Matter? Nexus Among Renewable Energy Policies, Technological Innovation, Environmental Protection, and Economic Growth. *Energy Strategy Reviews*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101272>

İklim Değişikliği Karşısında Sağlıklı ve Sürdürülebilir Şehirlerin Teşvik Edilmesinde Yerel Yönetimlerin Rolü: Kocaeli Örneği

The Role of Local Governments in Promoting Healthy and Sustainable Cities in the Face of Climate Change: The Case of Kocaeli

Prof. Dr. Yeter USLU

İstanbul Medipol Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye
yuslu@medipol.edu.tr
ORCID: 0000-0002-8529-6466

Öğr. Gör. Dr. Ersin KOCAMAN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Tekirdağ, Türkiye
ekocaman@nku.edu.tr
ORCID: 0000-0002-3825-1548

Makale Türü:

ARAŞTIRMA

Gönderilme Tarihi:

7 Şubat 2025

Kabul Tarihi:

25 Mart 2025

Öz

İklim değişikliği 21. yüzyılın en acil sorunlarından biri olup şehirler ve kentsel yaşam üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu bağlamda yerel yönetimler sürdürülebilirlik ve çevresel uyum politikalarının hayata geçirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin 2025-2029 Stratejik Planı, sağlıklı ve sürdürülebilir kentleri teşvik etmede politikalarının etkisini değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir. Bu araştırmanın temel amacı, Kocaeli ilinde yerel iklim stratejilerinin planlanması ve uygulanmasında politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve yasal faktörlerin nasıl etkilendiğini incelemektir. Bunun için belediye yönetimini etkileyen farklı unsurların kategorize edilmesine ve değerlendirilmesine olanak sağlayan PESTEL analitik çerçevesi kullanılmıştır. Çalışmada metodolojik açıdan belgesel analize dayalı nitel bir yaklaşım benimsenmiştir. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2025-2029 Stratejik Planı temel veri kaynağı olarak kullanılmış olup, belediye stratejilerinin PESTEL modelinin altı boyutuna göre sınıflandırılmasında içerik analizi teknikleri uygulanmıştır. Bulgular, Kocaeli'nin politik, ekonomik, sosyal, teknolojik ve çevresel alanlarda sağlıklı ve sürdürülebilir kent stratejilerinin geliştirilmesine vurgu yapan sağlam politikalar geliştirdiğini göstermektedir. Ancak hukuki boyutta daha düşük bir temsil oranının tespit edilmesi, iklim değişikliği ve kentsel düzenlemelere ilişkin düzenleyici çerçevenin güçlendirilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Uluslararası ve ulusal diğer şehirlerle karşılaştırıldığında, katılımcı yönetim ve sürdürülebilir altyapı geliştirme konularında benzerlikler ortaya çıkarken, çevre açısından yasal çerçeve iyileştirilmedi. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Stratejik Planı 2025-2029 kentsel sürdürülebilirliğe önemli bir bağlılık yansıtmaktadır, ancak uzun vadeli başarısı yasal çerçevesinin güçlendirilmesi ve daha ileri teknolojik stratejilerin konsolide edilmesine bağlıdır. Gelecekte araştırmacılar, bu politikaların vatandaşların yaşam kalitesi üzerindeki gerçek etkisini araştırabilir ve etkinliklerini ölçmek için nicel ölçümleri değerlendirebilir. Ayrıca, kamu politikalarından sorumlu olanların, stratejik hedeflere uyumu sağlamak amacıyla yasal düzenlemelerin yapılması ve kontrol mekanizmaların daha fazla entegre edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Sürdürülebilirlik, Sağlıklı Şehirler, Yerel Yönetim, PESTEL.

Abstract

Climate change is one of the most urgent problems of the 21st century and has significant impacts on cities and urban life. In this context, local governments play an important role in the implementation of sustainability and environmental adaptation policies. In this study, the 2025-2029 Strategic Plan of Kocaeli Metropolitan Municipality was analyzed in order to evaluate the impact of its policies in promoting healthy and sustainable cities. The main purpose of this research is to examine how political, economic, social, technological, environmental and legal factors affect the planning and implementation of local climate strategies in Kocaeli province. For this purpose, the PESTEL analytical framework, which allows the categorization and evaluation of different elements affecting municipal administration, was used. In the study, a qualitative approach based on documentary analysis was adopted in terms of methodology. The Kocaeli Metropolitan Municipality 2025-2029

Strategic Plan was used as the main data source, and content analysis techniques were applied in the classification of municipal strategies according to the six dimensions of the PESTEL model. The findings show that Kocaeli has developed sound policies that emphasize the development of healthy and sustainable urban strategies in political, economic, social, technological and environmental areas. However, the detection of a lower representation rate in the legal dimension indicates that the regulatory framework regarding climate change and urban regulations should be strengthened. When compared with other international and national cities, similarities emerge in terms of participatory governance and sustainable infrastructure development, while the legal framework needs to be improved in terms of the environment. The Kocaeli Metropolitan Municipality Strategic Plan 2025-2029 reflects a significant commitment to urban sustainability, but its long-term success depends on the strengthening of its legal framework and the consolidation of more advanced technological strategies. In the future, researchers can investigate the real impact of these policies on the quality of life of citizens and evaluate quantitative measurements to measure their effectiveness. In addition, it is recommended that those responsible for public policies make legal regulations and integrate control mechanisms more in order to ensure compliance with strategic goals.

Keywords: Climate Change, Sustainability, Healthy Cities, Local Government, PESTEL.

Giriş

İklim değişikliği, 21. yüzyılın en acil sorunlarından biri haline gelmiş olup kentsel alanları ve buralarda yaşayanların yaşam kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Nüfus ve ekonomik faaliyetlerin yoğunlaştığı kentler, sıcak hava dalgaları, seller ve hava kirliliği gibi olaylara karşı oldukça savunmasızdır. Bu durum etkili uyum ve önleme stratejilerine olan ihtiyacı vurgulamaktadır (Cohen, 2010; Bulkeley, 2013; Lin vd., 2021). Bu bağlamda yerel yönetimler, sürdürülebilirliği ve kent sağlığını destekleyen politikaların uygulanmasında ve kentleri çevresel zorluklara uyarlamada önemli bir rol oynamaktadır.

İklim değişikliği karşısında sürdürülebilir ve dayanıklı şehirlerin teşvik edilmesinde yerel yönetimlerin rolü çeşitli araştırmalarda ele alınmıştır. Önceki araştırmalar, belediye yönetimlerinin çevre ve sürdürülebilirlik politikalarının uygulanmasındaki önemini vurgulamış, kentsel planlamayı ve yeşil uygulamaların benimsenmesini doğrudan etkileme yeteneklerinin altını çizmiştir (Orsetti vd., 2022; Shi, 2021; Lesnikowski vd., 2021; Cobbinah, 2021; Mukim ve Roberts, 2023; Uysal, 2022; Çelebi, 2021; İlhan, 2022). Ayrıca sera gazı emisyonlarının yaklaşık %80'inden kentlerin sorumlu olduğu belirtilmiş ve bu etkilerin azaltılması için etkili yerel yönetişime ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır (Chataut vd., 2023).

Türkiye'nin önemli bir sanayi bölgesinde yer alan Kocaeli, yerel yönetimlerin iklim değişikliğine yönelik girişimlere nasıl öncülük edebileceğini değerlendirmek için önemli bir şehir örneğidir. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 2025-2029 Stratejik Planı ile daha güvenli ve sürdürülebilir bir kentsel çevre yaratmayı hedefleyen politikalar ortaya koymuştur (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 2025). PESTEL analizi kullanarak Kocaeli'nin kentsel sürdürülebilirliğe giden yolda karşı karşıya olduğu fırsatların ve zorlukların belirlenmesi mümkündür. Bu yaklaşım, yerel politikaları güçlendirmek ve iklim değişikliğinin etkilerine dayanıklı şehirlerin gelişimine katkıda bulunmak için kanıta dayalı öneriler sunulmasına imkân sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, yerel düzeyde iklim stratejilerinin oluşturulması ve uygulanmasını etkileyen dinamikleri anlamak için politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve yasal faktörleri göz önünde bulunduran PESTEL analitik çerçevesini kullanarak bu politikaları değerlendirmektir (Yusop, 2018; Yüksel, 2018; Buye, 2021).

PESTEL analizinin yerel iklim politikaları bağlamında uygulanması hala sınırlıdır (Esringü ve Toy, 2021). Bu analitik çerçevenin kullanılarak Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin sürdürülebilirlik stratejilerini politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve yasal faktörleri göz önünde bulundurarak kapsamlı bir şekilde değerlendirmek araştırmanın özgülüğünü yansıtmaktadır.

Araştırmanın birinci bölümünde genel bilgilere yer verilmiş, ikinci bölümde araştırmada kullanılan yöntem ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde sırasıyla bulgular ve tartışma sunulmuş, beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar ifade edilmiştir.

Yöntem

Bu bölümde araştırmanın tasarımı, araştırma sorusu, evren ve örneklem, veri toplama araçları, veri analiz süreci, araştırmanın etik yönleri ve sınırlılıkları ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Araştırma Tasarımı

Bu araştırmada, keşfedici ve betimleyici bir yaklaşımla nitel araştırma deseni benimsenmiştir. Araştırmanın zaman dilimi kesitsel niteliktedir. Bu yaklaşım, yerel yönetimlerin iklim değişikliği ile mücadelede ve sağlıklı şehirler inşasında uyguladıkları politikaların anlaşılmasına imkân vermektedir (Yıldırım ve Şimşek, 2018).

Araştırma Sorusu

Bu çalışmanın temel araştırma sorusu şu şekildedir; Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin 2025-2029 döneminde uygulayacağı iklim, sağlık ve sürdürülebilirlik politikalarını politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve yasal faktörler nasıl etkilemektedir?

Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Bu çalışmanın araştırma evrenini, iklim değişikliği bağlamında yerel yönetimlerin sağlıklı ve sürdürülebilir kentleri teşvik etmek için oluşturdukları politika ve stratejiler oluşturmaktadır. Araştırma, Türkiye'nin en önemli sanayi bölgelerinden biri olan ve çevresel etkilerin ile yerel yönetim müdahalelerinin stratejik öneme sahip olduğu Kocaeli iline odaklanmaktadır.

Çalışma nitel bir yaklaşımla belgesel analize dayalı olarak yürütüldüğünden, örneklem amaçlı olarak belirlenmiştir (Campbel vd., 2020). Bu kapsamda Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2025-2029 Stratejik Planında yer alan amaçlar ve hedefler değerlendirilmiştir.

Veri Toplama Araçları

Bu çalışmada veri kaynağı olarak yerel yönetimin iklim değişikliği bağlamında benimsediği sağlık ve sürdürülebilirlik politikalarını ve stratejilerini ayrıntılı olarak açıklayan resmi bir belge olan Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2025-2029 Stratejik Planı kullanılmıştır. Belgeye, Kocaeli Büyükşehir Belediyesinin internet sitesinden elektronik ortamda erişilmiştir (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 2025).

Veri Analizi

Bu çalışmada veri analizi, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2025-2029 Stratejik Planında yer alan sağlık, sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğine uyum politikalarının değerlendirilmesinde PESTEL çerçevesinin uygulanmasına dayanmaktadır. Bu yaklaşım, belgedeki bilgilerin politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve yasal olmak üzere altı temel boyuta ayrılıp kategorize edilmesine olanak tanımaktadır (Buye, 2021).

Yapılandırılmış ve sistematik bir analiz sağlamak amacıyla nitel içerik analizi tekniği kullanılmıştır (Yıldırım ve Şimşek, 2018). Bu süreçte, kentsel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve sağlıklı kentlerin yönetimine ilişkin politika ve stratejileri yansıtan stratejik plan parçaları olan amaçlar ve hedefler belirlenmiştir. Daha sonra her bir parça PESTEL modelinin kategorileri içerisinde sınıflandırılarak belediye planlamasını etkileyen farklı faktörlerin karşılaştırılabilir olarak değerlendirilmesine olanak sağlanmıştır.

Araştırmanın geçerliliği ve güvenilirliği; dokümanda yer alan bilgilerin seçimi, eşleştirmesi ve değerlendirilmesi araştırmacılar tarafından ayrı ayrı yapıldıktan sonra birbirleri ile karşılaştırılarak benzerliklerinin tespit edilmesiyle ve konuya ilişkin kaynak üçgenlemesi yapılarak sağlanmıştır (Dalglish vd., 2020; Yıldırım ve Şimşek, 2018).

Araştırmanın Etik Yönü

Bu çalışma, araştırma temel etik ilkelerine uygun olarak yürütülmüştür. Çalışmada kamuya açık ikincil kaynakların kullanılması, kişisel veri toplanmaması ve insan katılımcılarla doğrudan etkileşim gerekmemesi sebebiyle etik kurul iznine gereksinim bulunmamaktadır.

Araştırmanın Sınırlılıkları

Çalışma Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2025-2029 Stratejik Planının PESTEL modeline dayalı nitel bir yaklaşımla değerlendirilmesi ile sınırlıdır. Kocaeli ilinden farklı özelliklere sahip diğer kentsel bağlamlara genellenemez. Stratejik plan zaman içinde mevzuattaki hükümet politikalarındaki veya sosyoekonomik bağlamındaki değişikliklere bağlı olarak değişebilir.

Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2025-2029 Stratejik Planı'nın PESTEL modeline göre sınıflandırılarak değerlendirilmesine ilişkin bilgiler sunulmaktadır. Belediye politikaları ve stratejilerinin değerlendirilmesi

sonucunda politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve hukuki alanlardaki temel eğilimler tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmede stratejik hedeflerin bu kategorilerdeki

dağılımı ortaya konmuştur. Her bir boyuta ilişkin bulgular aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Tablo I: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2025-2029 Stratejik Planı'nın PESTEL Modeline Göre Sınıflandırılması.

Amaç	Hedefler	PESTEL Kategorisi
Sürdürülebilir kentsel hareketlilik kapsamında güvenli, erişilebilir ve kesintisiz ulaşım ağı kurmak.	Şehir içi ulaşım ağını güçlendirerek sürdürülebilir kentsel mobilitayı artırmak.	Çevre
	Raylı sistemlerin toplu taşıma içindeki payını artırmak.	Teknoloji
	Hizmet kalitesini ve yolcu memnuniyetini artırarak trafik hareketliliğinde toplu taşımanın payını artırmak.	Sosyal
	Kentimizin karayolu ağı üzerindeki trafik akışını güvenli hale getirerek, trafik güvenliği bilincini artırmak.	Politik
	Akıllı ulaşım sistemleri uygulamalarını artırmak.	Teknoloji
Tarihi, kültürel ve doğal kent dokusuna uygun, planlı, erişilebilir, dirençli ve güvenli bir şehir oluşturmak.	Şehirdeki yapı risklerini dikkate alarak planlama hizmetlerini iyileştirmek ve kentsel dönüşümün etkinliğini artırmak.	Politik
	Şehrimizin estetiğine uygun erişilebilir yaşam alanı ve tesis sayısını artırmak.	Sosyal
	Kırsal alanlarda yaşayan vatandaşlarımızın yaşam kalitelerini yükseltmek.	Sosyal
	Etkin bir afet yönetim sistemi kurarak afetlere karşı bilinç düzeyini artırmak.	Politik
	Kent ve toplum düzeninin iyileştirilmesi, geliştirilmesi amacıyla eğitim ve denetimleri artırmak.	Sosyal
Gelecek nesillere temiz ve yeşil bir çevre bırakmak.	Atık yönetim sistemini geliştirerek sıfır atık bilincini artırmak.	Politik
	Kocaeli'de su yaşamının sürdürülmesi kapsamında kontrol, izleme, temizlik ve farkındalık faaliyetlerini artırmak.	Çevre
	Çevrenin korunmasına yönelik izleme, denetleme ve eğitim faaliyetlerini artırmak.	Sosyal
	Yeşil alanların sürdürülebilirliğini sağlayarak kişi başına düşen yeşil alan miktarını artırmak.	Çevre
Kadın ve aileye duyarlı sosyal belediyecilik anlayışıyla doğrudan insana dokunan hizmetler sunmak.	Kent genelinde kadın ve ailelere yönelik yapılan hizmetleri artırmak.	Sosyal
	Sosyal hizmet ve destek çalışmalarıyla, sosyal politika gerektiren grupların şehir hayatına katılımını artırmak.	Politik
	Koruyucu ve önleyici sağlık hizmetlerinin alanını ve niteliğini artırmak.	Sosyal
	Cenaze hizmetlerini hızlı ve erişilebilir bir şekilde yöneterek vatandaşın memnuniyetini artırmak.	Sosyal
Eğitim ve spor imkanlarını geliştirerek, bilinçli ve sağlıklı nesiller yetiştirmek.	Çocuklarımızı ve gençlerimizi geleceğe daha donanımlı hazırlamak için eğitim faaliyetlerini artırmak.	Sosyal
	Çocukların sosyal hayata uyumunu desteklemek için etkinlikleri artırmak.	Sosyal
	Herkesin eşit koşullarda ve kolaylıkla yararlanabileceği sportif faaliyetleri artırmak.	Sosyal
	Şehrimizdeki eğitim ve spor merkezleri sayısını artırmak.	Sosyal
Kocaeli'yi kültür ve sanat alanlarında marka şehir haline getirmek.	Vatandaşların kültürel etkinliklere ve organizasyonlara katılımını artırmak.	Politik
	Şehrimizdeki sanatsal hizmetlerin etkisini ve erişilebilirliğini artırmak.	Sosyal
	Özgün biçimleriyle korunan tarihi eser ve doku sayısını artırmak.	Sosyal
	Şehrimizdeki sanatsal ve kültürel hizmet tesisi sayısını artırmak.	Sosyal
Kentin ekonomik faaliyetlerine katkı sağlamak.	Şehrimizde yıl boyunca yapılan turizm hareketliliğini artırmak.	Ekonomik
	Tarımsal üretim faaliyetleri desteklerini artırmak.	Ekonomik
	Hayvancılığı geliştirme faaliyetlerini artırmak.	Ekonomik
	Vatandaşlarımızın kişisel ve mesleki gelişimlerini destekleyerek, istihdama dönük faaliyetleri artırmak.	Ekonomik
Halkla birlikte yönetim ilkesi doğrultusunda iletişim ve iş birliği hizmetlerini güçlendirmek.	Kurumsal iletişim ve tanıtım hizmetlerinin etkinliğini artırmak.	Politik
	Sivil Toplum Kuruluşlarıyla ortak projeler geliştirerek memnuniyeti artırmak.	Politik
	Üniversitelerle iş birliği yaparak, kurum ve şehirle ilgili proje, analiz ve araştırma sayılarını artırmak.	Politik
	Muhtarlık hizmet standartlarının kalitesini ve verimliliğini artırmak.	Politik
Belediye kaynaklarımızı ve kurumsal yapımızı yenilikçi yöntemlerle geliştirmek.	Kurum bütçe ve kaynaklarını etkin bir şekilde yöneterek gelir/gider gerçekleşme oranlarını artırmak.	Ekonomik
	Belediyemizin insan kaynağını vizyon ve kültürümüze uygun geliştirerek çalışan memnuniyetini artırmak.	Sosyal
	Teknolojiden en üst seviyede yararlanarak hizmetlerimizde kalite ve memnuniyeti artırmak.	Teknoloji
	Kurum içi yönetim ve destek hizmetlerinin etkinliğini ve verimliliğini artırmak.	Politik
	Belediyemizin sorumluluğunda bulunan bina ve tesislerin sürdürülebilirliğini sağlayarak, enerji verimliliğini artırmak.	Teknoloji

Tablo 1’de Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2025-2029 Stratejik Planının nicel analizde belediye politikalarının PESTEL model faktörleri arasında eşitsiz dağıldığı görülmektedir. Toplam 9 amaç ve 39 stratejik hedef bulunmakta ve bunlar altı temel kategoriye ayrılmaktadır. Politik boyut, belediye yönetimi ve düzenlemesine önemli ölçüde odaklanıldığını yansıtan 11 hedefi içermektedir. Ekonomik kategoride, bölgede finansal büyümeye, yatırıma ve ekonomik istikrara güçlü bir yönelim olduğunu gösteren 5 hedef yer almaktadır. Öte yandan kapsayıcı ve eşitlikçi politikalarla nüfusun yaşam kalitesinin iyileştirilmesine ilgi gösteren sosyal alana ilişkin 16 hedef yer almaktadır. Yenilik ve dijital gelişim açısından Teknoloji kategorisinin 4 hedefi bulunmaktadır. Çevre açısından, belediyenin sürdürülebilirlik, doğal kaynak yönetimi ve iklim değişikliğiyle mücadele konusundaki kararlılığını yansıtan 3 hedef bulunmaktadır. Son olarak yasal çerçevede hedef bulunmaması sürdürülebilirlik standartlarına uyumu güçlendiren düzenleme ve kurallar açısından daha fazla gelişmeye ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Bu nicel bulgular Kocaeli’nin stratejik planının çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik büyüme, sosyal içermeye ve dijital dönüşüm arasında bir denge kurduğunu ancak hukuki boyutta bir boşluk bulunduğunu göstermektedir. Bu bütünlük yaklaşım, şehrin iklim değişikliğiyle ve hızlanan kentleşmenin getirdiği zorluklarla başa çıkma kapasitesini güçlendirerek uzun vadeli sürdürülebilir kalkınmayı sağlamaktadır.

Politik Değerlendirme

Kocaeli’ndeki belediye politikaları, sürdürülebilir kalkınma için katılımcı yönetime ve stratejik planlamaya güçlü bir bağlılığı yansıtmaktadır. Belediye kaynaklarının etkin yönetimi ve dengeli kentsel gelişmeyi teşvik edici düzenlemelerin hayata geçirilmesine ilişkin hedeflerin belirlendiği görülmektedir. Stratejik karar alma sürecinde vatandaş katılımı ve kamu kurumlarıyla koordinasyon da önemli rol oynamaktadır.

Amaç örneği: “Halkla birlikte yönetim ilkesi doğrultusunda iletişim ve işbirliği hizmetlerini güçlendirmek.”

Amaç Ethisi: Belediye politikalarının meşruiyetinin artması ve çevre düzenlemelerinin uygulanmasında daha fazla verimlilik.

Kocaeli’nin planı diğer belediyelerde gözlemlenen uygulamalarla uyumlu olarak belediye yönetimi ve düzenlemesine vurgu yapmaktadır. Örneğin, Lima Büyükşehir Belediyesi’nin (Peru) 2020-2025 Kurumsal Stratejik Planı, kamu yönetiminde kurumların güçlendirilmesinin ve vatandaş katılımının önemini vurgulamaktadır (Municipalidad Metropolitana de

Lima, 2022). İklim değişikliği ve sürdürülebilir kalkınma gibi zorlukları ele alan politikaların etkili bir şekilde uygulanması için yerel yönetime odaklanmanın önemi büyüktür.

Kocaeli, Ankara Kent Konseyi gibi girişimlerle de yönetim ve katılım açısından uyumludur. Kent Konseyi; sokak, mahalle, ilçe ve şehir düzeylerinde toplumsal çabaları ve vatandaş girişimlerini birleştirerek önemli kentsel politikalar tanımlamayı, sürdürülebilir kalkınma ve iyi yönetim konusunda toplumsal farkındalığı artırmayı amaçlayan özerk bir katılımcı örgüttür (OIDP, 2024). Katılımcı yaklaşım belediye politikalarının meşruiyetini güçlendirmekte ve daha kapsayıcı bir yönetimi teşvik etmektedir.

Ekonomik Değerlendirme

Stratejik planda üretim sektörlerinin çeşitlendirilmesi, turizm ve sanayinin güçlendirilmesi yoluyla sürdürülebilir ekonomik büyümenin önemi vurgulanmaktadır. Sürdürülebilir altyapıya yatırımlar ve kilit sektörlerle yönelik teşvik programları yoluyla ekonomik kalkınmanın çevre korumayla dengelenmesinin amaçlandığı görülmektedir.

Amaç örneği: “Kentın ekonomik faaliyetlerine katkı sağlamak.”

Amaç ethisi: Yerel istihdamın teşvik edilmesi, Kocaeli’nin turizm cazibesinin artırılması ve iklim değişikliğine karşı ekonomik dayanıklılığın güçlendirilmesi.

Ekonomik alanda Kocaeli, finansal büyümeye ve ekonomik istikrara yönelim göstermektedir. Bu durum benzer şekilde 2025 yılı bütçesi ilk kez 500 milyon Euro’yu aşan ve şehir projesinin yeniden başlatılmasına ve stratejik projelerin tamamlanmasının sağlanmasına odaklanan Murcia Belediyesi (İspanya) gibi diğer belediyeler tarafından da paylaşılmaktadır (Cadena SER, 2024). Yatırım çekmek ve yerel kalkınmayı teşvik etmek için dinamik bir ekonomik ortamın teşvik edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu durum diğer Türk belediyelerinde de benzerlik göstermektedir. Örneğin İstanbul çevre yönetimini iyileştirmek ve sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı teşvik etmek amacıyla, kısmen Avrupa Birliği’nin Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı (IPA) tarafından finanse edilen katı atık ve atık su arıtma tesislerinin inşası gibi önemli altyapı projeleri uygulanmaktadır (ICEX, 2023).

Sosyal Değerlendirme

Kocaeli planında sosyal politikalar, kapsayıcı ve eşitlikçi belediye hizmetleriyle nüfusun yaşam kalitesinin iyileştirilmesine odaklandığı görülmektedir. Eğitim, halk sağlığı ve

kentsel gelişimde kırılğan grupların entegrasyonu gibi konular ele alınmaktadır.

Amaç örneği: “Kadın ve aileye duyarlı sosyal belediyeçilik anlayışıyla doğrudan insana dokunan hizmetler sunmak.”

Amaç etki: Temel hizmetlere erişimdeki eşitsizliklerin azaltılması ve şehrin sosyal sermayesinin güçlendirilmesi.

Kocaeli’nin toplumsal eşitliğe ve vatandaşlarının yaşam kalitesinin iyileştirilmesine olan bağlılığı stratejik hedeflerine de yansımaktadır. Bu yaklaşım, belediye yönetimini etkileyen sosyal faktörleri belirlemek için PESTEL analizini içeren Font de la Figuera Stratejik Planı 2025-2029 ile tutarlıdır (Ajuntament de la Font de la Figuera, 2023). Toplumsal uyumun ve toplumsal refahın teşviki için toplumsal ihtiyaçların karşılanması kritik öneme sahiptir. Bu durum, toplumsal uyumu ve toplumsal refahı güçlendirmeyi amaçlayan diğer Türkiye kentlerindeki uygulamalarla da örtüşmektedir (Şahinoğlu ve Yılmaz, 2022).

Teknolojik Değerlendirme

Belediye stratejisinde hizmetlerin dijitalleştirilmesi ve kentsel yönetime yenilikçi teknolojilerin dâhil edilmesi yer almaktadır. Akıllı ulaşım sistemlerinin hayata geçirilmesi ve kamusal hizmet altyapısının yeni teknolojilerin kullanımı yoluyla modernizasyonuna ilişkin hedefler bulunmaktadır.

Amaç örneği: “Sürdürülebilir kentsel hareketlilik kapsamında güvenli, erişilebilir ve kesintisiz ulaşım ağı kurmak.”

Amaç etki: Trafik yönetiminde daha fazla verimlilik, karbon emisyonlarının azaltılması ve şehirdeki hava kalitesinin iyileştirilmesi.

Teknolojilerin kent yönetimine entegre edilmesi Kocaeli için öncelikli bir konu olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Cartago Belediyesi’nin (Kosta Rika) 2025-2028 Stratejik Yatırım Planı, bölgelerin sosyoekonomik kalkınmasında bilimin, teknolojinin ve inovasyonun önemini vurgulamaktadır (Municipalidad de Cartago, 2024). Benzer şekilde Türkiye’de de İstanbul çevre yönetimini ve şehir sakinlerinin yaşam kalitesini iyileştirmek amacıyla ileri teknolojilere sahip atık su arıtma tesislerinin inşası gibi teknolojik altyapı projeleri geliştirmiştir (ICEX, 2023). Yenilikçi teknolojik çözümlerin benimsenmesi, kamusal hizmetlerin verimliliğini ve kentin rekabet gücünü artırmaktadır.

Çevresel Değerlendirme

Çevresel sürdürülebilirliğe olan bağlılık Kocaeli stratejik

planının temel dayanaklarından biri olarak görülmektedir. Kirliliğin azaltılması, doğal alanların korunması ve kentsel yönetimde yenilenebilir enerjinin benimsenmesi yönünde girişimler teşvik edilmektedir.

Amaç örneği: “Gelecek nesillere temiz ve yeşil bir çevre bırakmak.”

Amaç etki: İklim değişikliğine karşı daha fazla dayanıklılık ve kentsel çevrenin kalitesinin artması.

Kocaeli’nin çevresel sürdürülebilirliğe olan bağlılığı diğer belediyelerde görülen eğilimlerle örtüşmektedir. Örneğin Kopenhag Belediyesi (Danimarka) Kurumsal Stratejik Planında, sürdürülebilir kalkınma ve çevre yönetimiyle bağlantılı stratejik hedeflere öncelik vermektedir (Kopenhag Belediyesi, 2021). Benzer şekilde Türkiye’de Gaziantep katı atık yönetimini iyileştirmek ve çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmek amacıyla Avrupa Birliği tarafından finanse edilen bir atık yönetim tesisi uygulamaya koymuştur (ICEX, 2023). İklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ve doğal kaynakları korumak için güçlü çevre politikalarının uygulanması şarttır.

Yasal Değerlendirme

Kocaeli’nin yasal düzenleme çerçevesinden ziyade sürdürülebilirlik ve kentsel dayanıklılığa odaklanan düzenlemelerle yer verildiği görülmektedir. Emisyonları azaltmak, sürdürülebilir altyapı geliştirmek, şehrin kültürel ve çevresel mirasını korumak için yeni düzenlemelere yer verilmiştir.

Kocaeli’nin hedefleri yasal boyutta daha düşük bir temsiliyet gösterse de düzenleyici çerçevenin belediye stratejilerinin etkili bir şekilde uygulanması açısından temel olduğunu kabul etmek önemlidir. Türk kamu sektöründe stratejik planlamaya ilişkin yapılan çalışmalar, stratejik girişimlerle desteklemek ve sürdürülebilirliğini sağlamak için güçlü bir yasal çerçeveye ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadır (Demirkaya, 2015). Yasal yapıların güçlendirilmesi, yönetimi iyileştirme ve belediye politikalarına uyumu sağlama potansiyeline sahiptir.

Bu bulgular doğrultusunda Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2025-2029 Stratejik Planı; politik, ekonomik, sosyal, teknolojik ve çevresel boyutlara ilişkin kapsamlı bir yaklaşım ortaya koymakta bu stratejilerin dayandığı yasal çerçevenin güçlendirilmesine yönelik de fırsatlar sunmaktadır. Diğer uluslararası ve ulusal kentlerdeki uygulamalar ve stratejik planlarla karşılaştırma yapılması, belediye politikalarının uluslararası ve ulusal düzeydeki en iyi uygulamalara göre iyileştirilmesi ve uyarlanması açısından önemlidir.

Sonuç

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2025-2029 Stratejik Planı, PESTEL çerçevesiyle uyumlu stratejilerle sağlıklı ve sürdürülebilir kentlerin teşvik edilmesine yönelik kapsamlı bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Çalışmanın genelinde belediye politikalarının yönetişimi, ekonomik istikrarı, sosyal eşitliği, teknolojik yeniliği ve çevresel sürdürülebilirliği ön planda tuttuğu tespit edilmiştir. Ancak hukuki boyutun daha az temsil edilmesi, iklim değişikliği ve sürdürülebilir kentsel gelişime ilişkin düzenleyici çerçevenin güçlendirilmesi için bir fırsat olduğunu göstermektedir.

Kocaeli politik açıdan sürdürülebilir yönetişimin uluslararası modellerine uygun olarak vatandaş katılımını ve bölgesel planlamayı teşvik eden stratejiler geliştirmiştir. Ekonomik açıdan yatırım çekme ve temel sektörleri güçlendirme konusunda bir ilgi bulunmaktadır.

Stratejik planda en çok güçlendirilen alanlardan biri sosyal alan olmuş, yaşam kalitesinin iyileştirilmesi ve kamu hizmetlerine erişilebilirliğin sağlanması hedeflenmiştir. Teknolojik alanda Kocaeli dijital dönüşümde henüz başlangıç aşamasında olmasına rağmen, kentsel yönetim için yenilikçi çözümler entegre etmeye başlamıştır.

Çevresel boyut açısından Kocaeli'nin sürdürülebilirliğe olan bağlılığı atık yönetimi, enerji verimliliği ve yeşil planlama alanlarında belirgindir ancak uzun vadeli etkinliğin sağlanması için daha fazla düzenleyici desteğe ihtiyaç vardır. Yasal çerçevenin belediye düzenlemelerini geleceğin çevresel ve kentsel zorluklarıyla uyumlu hale getirmek için daha güçlü bir geliştirmeye ihtiyacı vardır.

Kocaeli'yi sağlıklı ve sürdürülebilir bir şehir yapmak adına

iklim değişikliğine ilişkin uygulamalarda ihtiyaç duyulan yasal çerçevenin gerçekleştirilmesi, 2025-2029 Stratejik Planında yer alan stratejilerin tüm paydaşları da sürece dahil ederek uygulanması, izlenmesi ve ölçülmesi stratejik açıdan oldukça önemlidir.

Bu doğrultuda araştırmacılara ve uygulayıcılara aşağıdaki öneriler sunulmaktadır.

Araştırmacıların belediye stratejilerinin kentsel sürdürülebilirlik ve iklim dayanıklılığı üzerindeki gerçek etkisini daha fazla araştırmaları teşvik edilmelidir. Gelecekteki çalışmalar, karbon emisyonlarının azaltılması, doğal kaynakların kullanımındaki verimlilik ve vatandaşların uygulanan politikaların etkinliğine ilişkin algısı gibi ölçülebilir metriklerin değerlendirilmesine odaklanabilir.

Uygulayıcılar ve politika yapıcılar açısından kentsel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğine ilişkin yasal çerçevenin güçlendirilmesi, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi 2025-2029 Stratejik Planında formüle edilen stratejilerin etkin uygulama ve izleme mekanizmalarına sahip olmasının sağlanması önerilmektedir.

Bu çalışmada özellikle iklim değişikliğine bağlı olarak sağlıklı ve sürdürülebilir şehirlerin ilgili teknik süreçlerini tasarlamada ve uygulamada planlamanın önemi Kocaeli özelinde uygulanmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda gelecekte yapılacak olan çalışmalar ve araştırmalar planlama dahilinde alınacak kararların ve gerçekleştirilecek faaliyetlerin kent sakinlerinin yaşam kalitelerine olan etkilerinin neler olabileceğini saptamak yönünde olabilir.

Kaynakça

- Ajuntament de la Font de la Figuera. (2023). Font de la Figuera Stratejik Turizm Planı 2025-2029. Erişim adresi: https://www.la-fontdelafiguera.es/sites/www.lafontdelafiguera.es/files/PLAN%20ESTRAT%20C3%89GICO%20DE%20TURISMO%20FONT%20DE%20LA%20FIGUERA%202025-2029_%20Salto%20Consultores_0.pdf
- Bulkeley, H. (2013). Cities and Climate Change. Routledge.
- Buye, R. (2021). Critical Examination of the PESTEL Analysis Model. Project: Action Research for Development.
- Cadena SER. (2024). "Gelir ve Gider İlk Kez 500 Milyonu Aşacak". Erişim adresi: <https://cadenaser.com/murcia/2024/09/13/por-primera-vez-los-ingresos-y-gastos-superaran-los-500-millon-murcia-aprueba-las-lineas-fundamentales-de-sus-presupuestos-radio-murcia/>
- Campbell, S., Greenwood, M., Prior, S., Shearer, T., Walkem, K., Young, S., ... & Walker, K. (2020). Purposeful Sampling: Complex or Simple? Research Case Examples. Journal of Research in Nursing, 25(8), 652-661.
- Chataut, G., Bhatta, B., Joshi, D., Subedi, K., & Kafle, K. (2023). Greenhouse Gases Emission from Agricultural Soil: A review. Journal of Agriculture and Food Research, 11, 100533.
- Cobbinah, P. B. (2021). Urban Resilience in Climate Change Hotspot. Land use policy, 100, 104948.
- Cohen, J. E. (2010). Population and Climate Change. Proceedings of the American Philosophical Society, 154(2), 158-182.
- Çelebi, B. (2021). Kentlerde İklim Değişikliği Yönetişimi ve Yerel Yönetimlerin Rolü: Londra, Sao Paulo ve İstanbul Örnekleri (Master's thesis, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Dalglish, S. L., Khalid, H. and McMahon, S. A. (2020). "Document Analysis in Health Policy Research: The READ Approach". Health Policy and Planning, 2020, 1-8.
- Demirkaya, Y. (2015). Strategic Planning in the Turkish Public Sector. Transylvanian Review of Administrative Sciences, 11(SI), 15-29.
- Esringü, A., & Toy, S. (2021). Determination of University Students' Solutions to Climate Change Through PESTEL Analysis in the Sample of Atatürk University. Erzincan University Journal of Science and Technology, 14(3), 1087-1110.
- ICEX. (2023). Türkiye'deki Altyapı Projeleri. Erişim adresi: https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/008/documentos/2023/12/otros-documentos/OD_PROYECTOS%20DE%20INFRAESTRUCTURA%20en%20TR_2023.pdf
- İlhan, A. (2022). Yerel Yönetimlerin İklim Değişikliği Yönetişimi Çerçevesinde Dirençli Şehirler Oluşturmadaki Rolü. Vizyoner Yönetim, 25.
- Kocaeli Büyükşehir Belediyesi. (2025). 2025-2029 Stratejik Planı. Erişim adresi: https://www.kocaeli.bel.tr/files/uploads/documents/1733317663_2025-2029-stratejik-plan_ek_kb-b-2025-2029-stratejik-planipdf.pdf
- Kopenhag Belediyesi. (2021). Kurumsal Stratejik Plan. Erişim adresi: <https://international.kk.dk/sites/default/files/2021-09/%C3%98KF%20International%20strategi%20KK%20A4%20UK.pdf>
- Lesnikowski, A., Biesbroek, R., Ford, J. D., & Berrang-Ford, L. (2021). Policy Implementation Styles and Local Governments: The Case of Climate Change Adaptation. Environmental Politics, 30(5), 753-790.
- Lin, B. B., Ossola, A., Alberti, M., Andersson, E., Bai, X., Dobbs, C., ... & Tan, P. Y. (2021). Integrating Solutions to Adapt Cities for Climate Change. The Lancet Planetary Health, 5(7), e479-e486.
- Mukim, M., & Roberts, M. (2023). Thriving: Making Cities Green, Resilient and Inclusive in a Changing Climate. World Bank Publications.
- Municipalidad de Cartago. (2024). 2025-2028 Stratejik Yatırım Planı. Erişim adresi: <https://www.muni-carta.go.cr/wp-content/uploads/2024/10/Plan-Estrategico-y-de-Inversiones-Municipales-2025-2028-MC-VF.pdf>
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (2022). 2020-2025 Kurumsal Stratejik Planı. Erişim adresi: <https://www.munlima.gob.pe/wp-content/uploads/2024/05/Plan-Estrategico-Institucional-2024-2029-1.pdf>
- Orsetti, E., Tollin, N., Lehmann, M., Valderrama, V. A., & Morató, J. (2022). Building Resilient Cities: Climate Change and Health Interlinkages in the Planning of Public Spaces. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(3), 1355.
- Shi, L. (2021). From Progressive Cities to Resilient Cities: Lessons from History for New Debates in Equitable Adaptation to Climate Change. Urban Affairs Review, 57(5), 1442-1479.
- Şahinoğlu, İ., & Yılmaz, N. (2022). 1980 Sonrası Türkiye'de Refah Rejimi ve Kent Yoksullarının Yoksullukla Mücadele Stratejilerinin Dönüşümü: Sultanbeyli Örneği. Öneri Dergisi, 17(57), 417-446.
- Uysal, Y. (2022). İklim Değişikliği ve Küresel Isınma ile Mücadelede Yerel Yönetimlerin Rolü: Tespitler ve Öneriler. Kesit Akademi Dergisi, 8(30), 324-354.
- Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2018). Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri (11. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Yusop, Z. (2018). PESTEL Analysis. Paper Presented at COMRAP, 34-39.
- Yüksel, I. (2012). Developing a Multi-Criteria Decision Making Model for PESTEL Analysis. International Journal of Business and Management, 7(24), 52.



ŞURA KENT POLİTİKALARI VE ARAŞTIRMALARI MERKEZİ

Kozluk Mahallesi Mehmet Ali Kağıtçı Sokak no:71 İzmit/KOCAELİ

+90 262 270 01 01 | bilgi@suraakademi.org.tr

www.suraakademi.org.tr

Ozon Konsantrasyonunun Marmara Bölgesi İstasyonlarındaki Hava Kirliliği ve
Meteorolojik Ölçümler Kullanılarak Makine Öğrenmesi Modelleriyle Tahmini
*Prediction of Ozone Concentration Using Machine Learning Models Based on Air Pollutants and
Meteorological Variables in the Marmara Region*

Prof. Dr. Pınar ERGENEKON, Arş. Gör. Gizem ÇELİK, Şeymanur SÜLÜN, Serhat KEÇECİ

Samsun İli İlkadım İlçesi Kalkancı Bölgesinde Sürdürülebilir Atık Yönetiminin Ağ Analizi ile Değerlendirilmesi
Evaluation of Sustainable Waste Management in the Kalkancı Region of İlkadım District, Samsun Province, with Network Analysis
Prof. Dr. Ayşe KULEYİN, Yasin ASLAN

Boyar Madde Gideriminde Çam Kozalaklarının Adsorban Olarak Kullanımının Araştırılması
Investigation of the Use of Pine Cones as Adsorbents for Dye Removal in Wastewater Treatment
Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ, Sema DİDİNÇ, Petek Elif FİDAN, Selen Öksüz, Arş. Gör. Eda CEYLAN

Türkiye’de Hava Kalitesinin Korunmasına Yönelik Yasal Düzenlemeler
Legal Regulations for the Protection of Air Quality in Turkey
Doç. Dr. Hayrettin ŞAHİN

Çevresel Sürdürülebilirlik Bağlamında Sağlık Yönetimi
Health Management in the Context of Environmental Sustainability
Prof. Dr. Yeter USLU, Dr. Öğr. Üyesi Meryem DEMİRTAŞ

İklim Değişikliği Karşısında Sağlıklı ve Sürdürülebilir Şehirlerin Teşvik Edilmesinde
Yerel Yönetimlerin Rolü: Kocaeli Örneği
*The Role of Local Governments in Promoting Healthy and Sustainable Cities
in the Face of Climate Change: The Case of Kocaeli*
Prof. Dr. Yeter USLU, Öğr. Gör. Dr. Ersin KOCAMAN