

**SÜRDÜRÜLEBİLİR**

Çevre araştırmaları üzerine 6 ayda bir yayınlanmaktadır.  
Published every 6 months on environmental research.



# CEVRE

**JOURNAL OF SUSTAINABLE ENVIRONMENT DERGİSİ**  
Cilt: 4 Sayı: 1 Yıl: 2024 Vol: 4 Issue: 1 Year: 2024



ISSN: 2791 - 7444

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/cevder>



## Dergi Kurulları

### Editör

---

**Prof. Dr. Eyüp DEBİK**

debik@yildiz.edu.tr

Yıldız Teknik Üniversitesi

### Editör Yardımcıları

---

**Prof. Dr. İsmail KOYUNCU**

koyuncu@itu.edu.tr

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Bekir KAYACAN**

bekirkayacan@istanbul.edu.tr

İstanbul Üniversitesi

**Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Emin PAŞAOĞLU**

mpasaoglu@itu.edu.tr

İstanbul Teknik Üniversitesi

### Alan Editörleri

---

**Prof. Dr. Ali ATA**

aliata@gtu.edu.tr

Gebze Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Ali Toptaş**

aliozturk@istanbul.edu.tr

İstanbul Üniversitesi

**Prof. Dr. Bahadır TUNABOYLU**

bahadir.tunaboyle@marmara.edu.tr

Marmara Üniversitesi

**Doç. Dr. Haldun KARAN**

haldun.karan@tubitak.gov.tr

Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Başkanlığı

**Doç. Dr. Süleyman KAYA**

suleymankaya@ibu.edu.tr

Bolu Abant Baysal Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali UĞUR**

mehmetali.ugur@yalo.edu.tr

Yalova Üniversitesi

### Dil Editörü

---

**Prof. Dr. Bekir KAYACAN**

bekirkayacan@istanbul.edu.tr

İstanbul Üniversitesi

### Sekreter

---

**Seçkin ORAK**

seckin.orak@cevrevakfi.org.tr

Çevre Vakfı

Sürdürülebilir Çevre Dergisi

Dergi Sayfası: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cevder>

ISSN :2791 - 7444



## İçindekiler


---


- Araştırma Makalesi / Research Paper 01-18  
Otomotiv Sektöründe Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetiminin  
Bibliyometrik Analiz ile İncelenmesi  
*Innovative Nanofibrous Air Filters: Advancing Air Quality and Health Protection*  
(Biset Toprak, Şevval Zülal Katmış, Dilara Bektaş)
- Araştırma Makalesi / Research Paper 19-28  
Doğrusal Regresyon Analizi ve Parametrik Olmayan Mann-Kendall  
Testi ile Türkiye'deki Yağış Eğilimleri Üzerine Bir Araştırma  
*A Study on Precipitation Trends in Türkiye via Linear Regression Analysis and  
Non-Parametric Mann-Kendall Test*  
(Tuğba Çelebioğlu, Mete Tayanç)
- Araştırma Makalesi / Research Paper 29-40  
Yenilikçi Nanolifli Hava Filtreleri: Hava Kalitesinin Geliştirilmesi ve Sağlığın  
Korunması  
*Innovative Nanofibrous Air Filters: Advancing Air Quality and Health Protection*  
(Ali Toptaş)
- Derleme Makalesi /Review Paper 41-54  
Demokratik Kongo Cumhuriyeti'nde Gıda Atıklarının Biyokompozit Takviyesi  
için Sürdürülebilir Yeniden Kullanımı  
*Sustainable Reuse of Food Waste in the Democratic Republic of the Congo for  
Biocomposite Reinforcement*  
(Alif Ngimbi Diambu, Mehmet Çevik)
- Araştırma Makalesi / Research Paper 55-63  
Marmara Bölgesi'nde Görülen Müsilaj Sırasında Meteorolojik Değişkenlerin  
Analizi  
*Analysis of Meteorological Variables During Mucilage in the Marmara Region*  
(Mert Işın, Bahtiyar Efe)
- Araştırma Makalesi / Research Paper 64-87  
Basel Çevre Rejiminin Gelişimi ve Türkiye'nin Rejime Uyum Politikalarının İnce-  
lenmesi  
*Evolution of Basel Environment Regime and Analysis of Türkiye's Adaptation  
Policies*  
(Abdullah Muhsin Yıldız)

## Otomotiv Sektöründe Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetiminin Bibliyometrik Analiz ile İncelenmesi

Biset Toprak   
biset.toprak@izu.edu.tr

Şevval Zülal Katmış   
sevvalzulalkatmis@gmail.com

Dilara Bektaş   
dilarabektas25@outlook.com

Dilara Çakmak   
dilarackmk00@gmail.com

Emine Elif Nebati\*   
emine.nebati@izu.edu.tr

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Geliş Tarihi: 06.05.2024 / Kabul Tarihi: 30.05.2024

### Özet


Otomotiv tedarik zinciri, birçok araç parçası ve tedarikçiler, distribütörler, bayiler, düzenleyici kurumlar ve sigorta şirketleri gibi çoklu paydaşlardan oluşması nedeniyle diğer tedarik zincirlerine kıyasla daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu sebeple, otomotiv sektöründe tedarik zinciri yönetimindeki zorluklarla başa çıkabilmek için otomotiv ekosisteminin paydaşlar tarafından daha iyi anlaşılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, hem müşteri talepleri hem de düzenleyici kurumlardan gelen baskılar nedeniyle tedarik zincirinde sürdürülebilirlik uygulamalarının geliş-tirilmesi otomotiv sektörünün ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bu çalışma, otomotiv sektö-ründeki sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine yönelik Web of Science (WoS) veri tabanında 2006-2023 yılları arasında yayınlanan 220 adet makalenin VOSviewer (sürüm 1.6.20) programı kullanılarak yapılan bibliyometrik analizini içermektedir. Bu çalışma ile, WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri alanındaki makalelerin yıllara göre dağılımı, makalelerde öne çıkan ülkeler ve kurumlar, makalelerin endekslere ve yayımlandıkları dergilere göre dağılımı, en çok atıf alan makaleler ve makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin dağılımı incelenerek gelecek araştırmalar için araştırmacılara ve uygulayıcılara rehberlik edebilecek kat-kılar sunulması amaçlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bibliyometrik analiz, otomotiv sektörü, sürdürülebilir tedarik zinciri.

## A Bibliometric Analysis of Sustainable Supply Chain Management in the Automotive Sector

Biset Toprak   
biset.toprak@izu.edu.tr

Şevval Zülal Katmış   
sevvalzulalkatmis@gmail.com

Dilara Bektaş   
dilarabektas25@outlook.com

Dilara Çakmak   
dilarackmk00@gmail.com

Emine Elif Nebati\*   
emine.nebati@izu.edu.tr

İstanbul Sabahattin Zaim University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Industrial  
Engineering, Türkiye

Arrival Date: 06.05.2024 / Accepted Date: 30.05.2024

## Abstract

The automotive supply chain, consisting of multiple vehicle parts and various stakeholders such as suppliers, distributors, dealers, regulatory agencies, and insurance companies, possesses a more complex structure compared to other supply chains. Therefore, in order to cope with the challenges in the supply chain management in the automotive industry, stakeholders need to better understand the automotive ecosystem. In addition, the development of sustainability practices in the supply chain has become an integral part of the automotive industry due to both customer demands and pressures from regulatory agencies. This study includes a bibliometric analysis of 220 articles on sustainable supply chain management in the automotive sector published in the Web of Science (WoS) database between 2006 and 2023 using VOSviewer (version 1.6.20). In the study, the distribution of articles in the field of sustainable supply chain in the automotive sector in the WoS database by years, the countries and institutions featured in the articles, the distribution of articles according to the indexes and journals in which they are published, the most cited articles and the distribution of keywords used in the articles were analysed. It is hoped that the study will provide contributions that can guide researchers and practitioners in the future.

**Keywords:** Bibliometric analysis, automotive industry, sustainable supply chain,

### 1. Giriş

Tedarik zinciri yönetimi hammaddenin tedarik edilmesinden ürünün tüketiciye ulaşmasına kadar geçen süreçteki bilgi, ürün ve finans aşamalarının yönetilmesidir. İşletmelerin başarısını arttırabilmeleri ve rekabet dünyasında aktif rol oynayabilmeleri için zincirdeki tüm süreçlerini başarılı bir şekilde yönetmeleri gerekmektedir. Küresel ısınma, ekolojik dengenin bozulması, doğal kaynaklarda meydana gelen kıtlık şüphesiz tedarik zinciri yönetimini etkilemiş ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi kavramını ortaya çıkarmıştır. Günümüzde, endüstrilerin karşılaştığı karmaşık ve çeşitli zorluklar, şirketleri sürdürülebilirlik ilkelerine yönlendirmektedir. İşletmeler tedarik zincirlerini ekonomik ve sosyal boyutun yanı sıra çevresel açıdan da ele almaya başlamıştır.

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, geleneksel tedarik zinciri yönetimi ilkelerini çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik prensipleriyle birleştirir. Bu bağlamda, müşteri ve paydaş ihtiyaçlarına dayalı olarak sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarını göz önünde bulundurulur ve işletmeler arasında malzeme, bilgi ve sermaye akışlarını yönetir ve iş birliğini sağlar. Bu süreçte, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlar arasında denge sağlanması sürdürülebilirliğin önemli bir unsuru olarak ortaya

çıkır (Gedik, 2021). İşletmeler, sürdürülebilir rekabet üstünlüğü elde edebilmek için sürdürülebilir stratejiler geliştirirler. Bu bağlamda, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, paydaşların ve müşterilerin ihtiyaçlarından türetilen, sürdürülebilir kalkınmayı, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları dikkate alan ve aynı zamanda tedarik zinciri boyunca işletmeler arasında sermaye, malzeme ve bilgi akışlarının devamlılığını sağlayan bir iş birliği yönetimidir (Govindan vd., 2015).

Birleşmiş Milletler 2010 yılında yayınladığı Global Impact Raporu'nda işletmelerin tedarik zinciri sürdürülebilirliği yolculuğuna başlamalarını gerektiren birçok sebep bulunmaktadır. Bu sebepler arasında, yasalara ve düzenlemelere uyum sağlama, uluslararası ilkeleri takip etme ve sürdürülebilir iş uygulamalarını destekleme yer almaktadır (Gedik, 2021). Şirketler de bu sebeple, karbon ayak izlerini azaltmak, enerji verimliliğini artırmak ve atık yönetimini iyileştirmek için çeşitli stratejiler geliştirmektedir. Sürdürülebilirlik kavramı akla yalnızca yeşil uygulamaları getirmemelidir. Yalın temelli üretim süreçlerinin korunması ve farklı tekniklerle geliştirilmesi, özellikle tedarikçi seçiminden sonra gelen üretim fonksiyonunda, ürünlerin firmadan çıkma aşamasına kadarki sürecin hızlı, akıcı ve devamlı olması da bu sürecin bir parçasıdır.

Motorlu taşıtların tasarlanması, imalatı, geliştirilmesi, pazarlanması ve satışıyla ilgilenen geniş bir firma yelpazesinden oluşan otomotiv endüstrisi, sermaye yoğun bir endüstri olarak bilinir ve ülkelerin ekonomisini ve büyümesini şekillendirmede önemli bir role sahiptir (Yu vd., 2022). Otomotiv tedarik zinciri birçok araç parçası ve tedarikçiler, distribütörler, bayiler, düzenleyici kurumlar ve sigorta şirketleri gibi çoklu paydaşlardan oluşur. Bu nedenle, tedarik zincirindeki zorluklarla başa çıkabilmek için paydaşların otomotiv ekosisteminin daha iyi anlamaları oldukça önemlidir. Son yıllarda otomotiv endüstrisinde, veri toplama ve performans izlemeye yardımcı olması için yeni dijital teknolojilere yatırım yapılmaktadır (Reddy vd., 2021). Diğer tedarik zincirleri ile karşılaştırıldığında, otomotiv tedarik zincirinin daha karmaşık bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Bunun bir nedeni, araçların farklı coğrafi konumlardaki çeşitli tedarikçilerden ve dış kaynaklardan, değişen maliyetlerle temin edilen çok sayıda bileşen ve parçadan oluşması ve dolayısıyla sıradan bir tedarik zinciri yapısının kullanmanın bu ürünler için pek uygun olmamasıdır (Oluğu vd., 2011). Otomotiv tedarik zincirleri sürdürülebilirlik uygulamalarını geliştirmeleri için hem müşteriler hem de düzenleyici kurumlar tarafından baskı altındadır; bu nedenle sürdürülebilirlik küresel otomotiv endüstrisinin kaçınılmaz bir parçasıdır (Nassar vd., 2020; Oluğu vd., 2011). Son yıllarda, otomotiv şirketleri, tedarik zincirlerinde çevreci kavramları uygulamaya başlamış olmalarına rağmen, otomotiv endüstrisinin en azından çevresel kavramların uygulanmasında diğer sektörlerin gerisinde olduğu söylenebilir (Siems vd., 2021).

Bu çalışmada, Web of Science (WoS) veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanındaki çalışmalar bibliyometrik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Çalışmanın literatüre katkısı, otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zincirine yönelik çalışmaların değerlendirilmesi ve bu alandaki boşluğun vurgulanmasıdır. Sürdürülebilir tedarik zinciri kavramının uluslararası literatürde nasıl ele alındığı, hangi temaların ön plana çıktığı ve hangi konularda araştırma

açıklarının bulunduğunu tespit etmek, araştırmacılara ve sektördeki uygulayıcılara gelecek çalışmalar için katkı sağlayacaktır. Ayrıca, otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi ile ilgili sık tartışılan konuları ve bu konulardaki trendleri değerlendirme açısından yazına katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Çalışma sırasıyla; literatür araştırması, araştırmanın yöntemi, veri analizi ve bulgular, sonuç ve tartışma bölümleriyle devam etmektedir.

## 2. Literatür Araştırması

Literatürde sürdürülebilir tedarik zinciri konusuna ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu bölümde, öncelikle son yıllarda bu alanda öne çıkan ve ardından otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zincirine yönelik çalışmaların bazılarını yer verilmiştir. Son olarak ise sürdürülebilir tedarik zinciri konusunda yapılan bibliyometrik analiz çalışmalarına değinilmiştir.

Büyüközkan ve Vardaloğlu tarafından yapılan çalışmada (2008), son yıllarda gündeme sıklıkla gelen çevreye duyarlılık kavramının işletmeler tarafından tedarik zinciri kapsamında nasıl iyileştirmeler yapılabileceği incelenmiştir. Demirci vd. (2017), işletmelerin, fabrikaların hayata geçirdikleri çevreci çabaları, üretimin ilk aşamasından tüketimdeki son noktaya, tüketimdeki son noktadan ise üretimin başladığı ilk aşamaya kadar tüm aksiyonları kavrayacak şekilde “Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi” kavramının uygulanması ile çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu anlayış, Mersin ili üzerinde yapılan bir inceleme çalışmasıyla desteklenmiştir. Çalışmada, “Tanımlayıcı (Betimsel) Araştırma Modeli” uygulanarak çalışma içeriğinde “Çevresel Farkındalık Düzeyi” ve “Yeşil Tedarik Zinciri Yönetim Faaliyetleri Farkındalık Düzeyi” bağımlı değişkenler, demografik sorular ise bağımsız değişkenler olarak ele alınmıştır. Terzi vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, tedarik zinciri yönetiminde Endüstri 4.0 ve nesnelerin interneti incelenmiştir. Endüstri 4.0 dönüşümü için nesnelerin interneti kullanılarak sürdürülebilir tedarik

zincirinde bulunan potansiyel fırsatlar araştırılmıştır. Tedarik zinciri yönetiminde endüstri 4.0 dönüşümüne hazır olan işletmelerin nasıl bir dönüşüm sağlayacakları ve kriterlerinin neler olduğu belirlenmiştir. Kriterler, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemleri ile önceliklendirilmiştir. Özkaya ve Kazançoğlu (2020) yılında yaptığı çalışmada, lojistik firmalarının yeşil tedarik zincirini nasıl karşıladıkları incelemiştir. Yeşil tedarik zincirinin pazar ve rekabetteki yerinin önemi ve işletmeleri bunu tercih etmeye yönelten etkenlerin neler olduğu analiz edilmiştir. Gedik (2021) tarafından sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi ve sürdürülebilirliğin tedarik zinciri yönetimi üzerindeki etkilerini incelemek için bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada sürdürülebilirliğin sosyal, ekonomik ve çevresel boyutu dikkate alınmıştır. Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin avantajlarına ve dezavantajlarına yer veren çalışma sonunda sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının işletme faaliyetleri üzerinde hem kolaylaştırıcı hem de zorlaştırıcı etkileri olduğu sonucuna varılmıştır. Chaudhuri vd. (2023) çalışmalarında, yeşil tedarik zincirinin benimsenmesinin kurumsal performansı nasıl iyileştirebileceği araştırmışlardır. Yeşil tedarik zinciri faaliyetlerini yürüten 307 şirketten gelen geri bildirimler ile bir kavramsal model geliştirilmiş, model neticesinde ürün-hizmetteki inovasyonun yeşil tedarik zinciri teknolojisinin benimsenmesinde olumlu etkisi olduğu ve yeşil tedarik zinciri teknolojisinin şirketlerde değer yaratan bir unsur olabileceği açıklanmıştır. Khanal vd. (2023), yapısal eşitlik modeli kullanarak imalat işletmelerinde yeşil tedarik zinciri yönetiminin operasyonel ve organizasyonel performans üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda, işletmelerin operasyonel verimlilik sağlayabilmeleri için yeşil tedarik zinciri uygulamalarını işletme bünyesine entegre etmeleri gerektiği ifade edilmiştir. Safarlı ve Avunduk (2023), üretim esnasındaki fazla atık üretimi, sanayileşme, çevre bilincinin eksikliği ve doğal kaynakların kontrolsüz kullanılması doğal çevreyi doğrudan olumsuz etkilediğini vurgulayarak bu zararların giderilmesi adına yeşil tedarik zincirinin uygulanmasının Azerbaycan'da faaliyet gösteren işletmelerin performanslarına

etkisi incelenmiştir.

Otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine yönelik çalışmalar aşağıda özetlenmiştir: Diabat vd. (2013), bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak otomotiv sektöründe yeşil tedarik zinciri uygulamaları ile performans arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Çalışmada 10 kriter ele alınmış olup müşteri ilişkileri, ters lojistik ve çevre tasarımı kriterlerinin en önemli üç kriter olduğu sonucuna varılmıştır. Sanghavi vd. (2015), otomotiv sektöründe yeşil tedarik zinciri uygulamalarını ele almışlardır. Her ne kadar yeşil tedarik zinciri uygulamalarının kalite, performans ve güvenilirlikten ödün vermeden ciddi çevresel katkılar sağlayacağı belirtilse de yeşil tedarik zinciri uygulamalarının önünde ekonomik ve sosyal engeller olduğu ifade edilmiştir. Acar ve Çağlıyan (2021) tarafından yayınlanan çalışmada sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamalarının otomotiv sektörü ile ilişkisi araştırılmıştır. Sürdürülebilir tedarik zincirinin ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları dikkate alınarak korelasyon ve regresyon analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen verilerin anlamlı olduğu ve işletme performansı ile sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamalarının pozitif ilişkisi olduğu kanısına varılmıştır. Esmailian vd. (2020) tarafından yazılan makale, sürdürülebilir tedarik zinciri için blokzincir teknolojisi ve Endüstri 4.0'ı ele almaktadır. Ayrıca, akıllı fabrikalarda Internet of Things (IoT) destekli enerji yönetimi, akıllı lojistik ve taşımacılık, sürdürülebilirlik için Endüstri 4.0'a yönelik akıllı iş modelleri üzerine araştırmaları içermektedir. Koca ve Behdioğlu (2019), sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin çevresel boyutu olan yeşil tedarik zinciri yönetimini otomotiv sektörü bağlamında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak incelemiştir. Sebastianelli ve Tamimi (2020), stratejik faktörlerin, yani yönetim kurulu özellikleri ile ilişkili sürdürülebilirlik konusundaki proaktif bir kurumsal duruşun, sürdürülebilir (çevresel ve sosyal) tedarik zinciri girişimlerinin öncülleri olarak önemli olduğu sonucuna varmışlardır. Petljak ve Kotzab (2020), sürdürülebilir perakende tedarik zinciri yönetimi araştırma alanının, sürdürülebilirlik, perakende, lojistik,

operasyonlar, tedarik zinciri yönetimi ve tedarik zincirinin tüketici tarafı dâhil olmak üzere çeşitli alt disiplinlerde yer aldığını göstermektedir. Ghadge vd. (2022), otomotiv sektöründe endüstri 4.0 uygulamaları, yeşil tedarik zinciri uygulamaları ve yeşil tedarik zinciri performansı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Avrupa'daki otomotiv sektöründe faaliyet gösteren uzmanlardan alınan cevaplar ile analiz gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, yeşil tedarik zinciri uygulamalarının, özellikle de ters lojistik ve yeşil satın almanın teknolojilerden büyük ölçüde etkilenmekte olduğunu ve yeşil tedarik zinciri performansında önemli paya sahip olduğu ifade edilmiştir. Tanrıverdi (2023), otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamalarının hangi içerikler ve başlıklar adı altında ele alındığına yönelik çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma verileri 2021 yılında yayınlanan Kurumsal Sürdürülebilirlik Raporu'ndan elde edilmiştir. Çalışmanın örneklemini oluşturan 8 işletmenin tedarik zinciri yönetimi dikkate alınarak, tedarik yönlü sürdürülebilirlik tasarımı, talep yönlü sürdürülebilirlik tasarımı, sürdürülebilir süreç tasarımı, sürdürülebilir ürün tasarımı olarak 4 ana kategori ve alt kategoriler belirlenmiştir. Sonuç olarak çevreye duyarlı süreç tasarımı, teknolojik yeniliklere adaptasyon, müşteri memnuniyeti, kalite ve güvenlik konularının ön plana çıkan başlıklar olduğu görülmektedir. Literatürde tedarik zinciri ve sürdürülebilir tedarik zinciri alanlarında yapılan bibliyometrik analiz çalışmaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Ye (2019), WoS veri tabanındaki tedarik zinciri yönetimi çalışmalarını sosyal ağ perspektifinden 2003'ten 2018'e kadar bibliyometrik analiz ile değerlendirmiştir. Muñoz-Villamizara vd. (2019), sürdürülebilirlik ve dijitalleşme alanında tedarik zinciri yönetimine ilişkin Scopus veritabanında 2002-2018 yılları arasında yayınlanmış bilimsel araştırmaları bibliyometrik analiz yöntemiyle incelemiştir. Borregan-Alvarado vd. (2020), sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi kapsamında endüstri 4.0 ve modern üretimin eğilimlerini bibliyometrik analiz çerçevesinde araştırmışlardır. Rejeb vd. (2021), helal gıda tedarik zincirinin sürdürülebilirliğini

incelemek ve helal gıda tedarik zincirlerinin sürdürülebilirlikle ilişkilerini ele alan akademik çalışmaların bibliyometrik analizini Scopus ve WoS'ta yapmışlardır. Huang vd. (2023), 2000-2022 yılları arasında WOS veri tabanında yayınlanan 866 makale üzerinden otomotiv tedarik zinciri kesintisi risk yönetimi alanında kapsamlı bir bibliyometrik analiz yapmışlardır. Yapılan literatür araştırması sonucunda, yazarların bildiği kadarıyla otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri alanında bibliyometrik analiz çalışmasına rastlanmamıştır.

### 3. Araştırmanın Yöntemi

#### 3.1 Bibliyometrik Analiz

Bu çalışmada, bibliyometrik analiz adı verilen bir nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Bibliyometrik analiz, matematiksel ve istatistiksel yöntemler kullanılarak, belirli bir araştırma alanındaki bileşenlerin performanslarını analiz etmek ve değerlendirmek, incelenen alandaki sosyal, entelektüel ve kavramsal yapıyı görselleştirmek için kullanılır (Toptaş ve Gürler, 2022). Bibliyometrik analiz ile, akademik yayınlar, makaleler, kitaplar, tezler ve diğer bilimsel yayınlar gibi yazılı bilgi kaynaklarının konu, yayınlanma yılı, yazarları, gibi çeşitli kategorilerde nicel ve nitel özelliklerin incelenmesiyle veriler sistemli bir şekilde analiz edilebilmektedir. Bibliyometrik çalışmalar, belli bir alanın keşfedilmesi ve o alandaki araştırma dokusunun daha iyi anlaşılması ve yorumlanması adına büyük öneme sahiptir (Kokol vd., 2021). Bu analiz sayesinde, bilimsel alanlardaki gelişmeleri, trendleri, araştırma eğilimlerini ve kaynaklar arasındaki ilişkileri anlamak kolaylaşmaktadır. Ayrıca, bilimsel bilgi geliştirmede ve paylaşım süreçlerini takip etmeyi, araştırma eğilimlerini ortaya çıkarmayı ve bilimsel alanlarda mevcut olan açıkları tespit etmede yardımcı olmaktadır. Günümüzde bilimsel çalışmaların değerlendirilmesi ve literatür taraması için önemli bir araç haline gelen bibliyometrik analizin sunduğu en önemli avantaj, akademik yazına genel bir bakış açısı sunmayı mümkün kılmasıdır (Van Nunen vd., 2018; Işıklar ve Yeşiltuna 2022). Ek olarak, bilimsel veri tabanlarından elde edilen yayınları detaylı bir şekilde inceleyerek, belirli bir zaman dilimindeki



makale sayıları, yayın yılı dağılımları, önde gelen yazarlar ve anahtar kelimeler gibi önemli parametrelerin analiz edilerek konu özelinde bilimsel bilgi üretimindeki eğilimleri anlamak ve gelecekteki araştırmalara yön vermek adına kapsamlı bilgiler sunmaktadır (Işıklar ve Yeşiltuna, 2022).

Bu çalışmada, WoS veri tabanında 2006-2023 yılları arasında “otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi” alanında taranan makaleler, bibliyometrik analiz ile incelenerek aşağıdaki soruların yanıtlanması amaçlanmaktadır:

- WoS veri tabanında yer alan makalelerin yıllara göre dağılımı nasıldır?
- WoS veri tabanında yer alan makalelerde hangi ülkeler ön plana çıkmaktadır?
- WoS veri tabanında yer alan makalelerde hangi kurumlar ön plana çıkmaktadır?
- WoS veri tabanında yer alan makalelerin endekslere göre dağılımı nasıldır?
- WoS veri tabanında yer alan makalelerin yayımlandıkları dergilere göre dağılımı nasıldır?
- WoS veri tabanında en çok atıf alan makaleler hangileridir?
- WoS veri tabanındaki makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin dağılımı nasıldır?

### 3.2 Veri toplama

Öncelikle, WoS veri tabanında başlık, özet, ve anahtar kelimeleri kapsayan aşağıdaki arama formülü kullanılarak arama yapılmış ve konu bazlı arama sonucunda 275 yayına ulaşılmıştır.

(TS=(automobile\* OR car OR automotive\*) AND TS=(“sustainable supply chain\*” OR “sustainability in supply chain” OR “green supply chain” OR “environmentally-friendly supply chain” OR “eco-friendly supply chain” OR “ethical supply chain” OR “responsible supply chain” OR “supply chain resilience”))

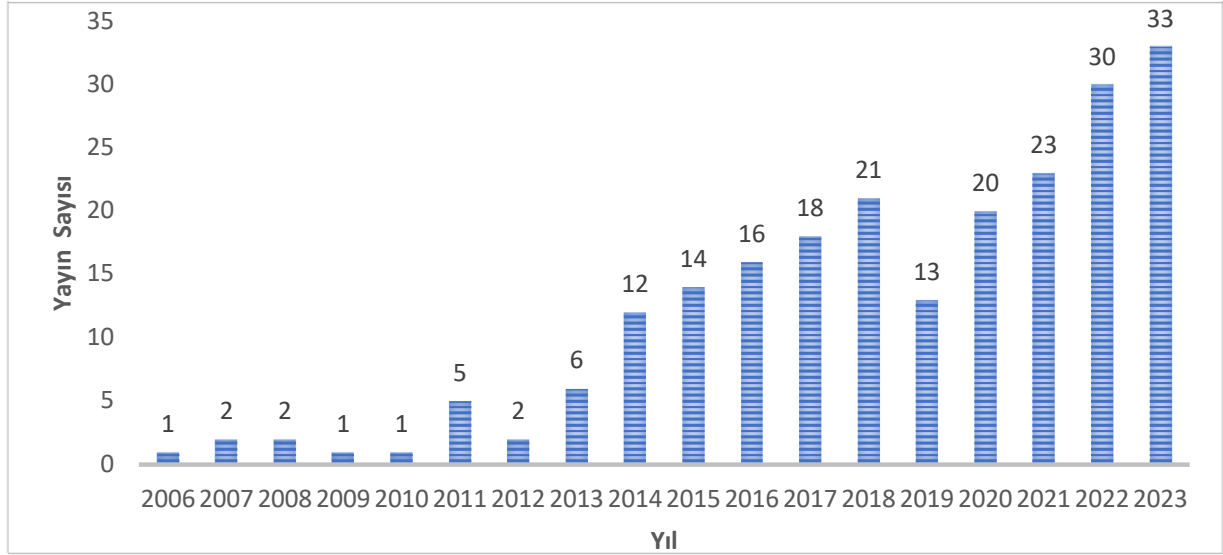
Elde edilen yayınlar arasından sadece İngilizce makaleleri kapsayacak şekilde filtreleme yapıldığında yayın sayısı 233'e düşmüştür. İlgili çalışma 15.04.2024 tarihinde yapıldığı için 2024 yılındaki makaleler veriye

dahil edilmediğinden bibliyometrik analizde kullanılacak toplam makale sayısı 220'ye düşmüştür. Arama sonuçlarında 2006 yılı öncesine dair herhangi bir kaynağa ulaşılamadığından çalışmamız 2006-2023 yılları arasında WoS veri tabanında yayınlanan 220 makaleyi kapsamaktadır.

Elektrikli araçlar ve içten yanmalı motora sahip konvansiyonel araçlar, ürün yaşam döngülerindeki farklılıklar nedeniyle tedarik zincirlerinde belirli ayırt edici faktörlere sahiptir. Örneğin; elektrikli araçlarda geleneksel benzinli motor kullanılmamasından ötürü yakıt, şanzıman, egzoz ve soğutma sistemleri gibi bazı konvansiyonel araçların temel bileşenleri, elektrikli araçlarda mevcut değildir. Bu nedenle elektrikli araçlar, konvansiyonel araçlara kıyasla daha az otomobil parçası içerdiğinden daha basit bir yapıya sahiptir. Ayrıca bu iki tedarik zinciri; inovasyon kapsamı, pazar dinamikleri, hammadde, tedarikçilerin rolü, altyapı, teknoloji kullanımı, kesinti ve direnç riski ve düzenlemeler yönleriyle de farklılaşmaktadır (Huang vd., 2023; Jagani vd., 2024). Bu nedenle; bu çalışmada, tedarik zincirlerindeki farklılıklar nedeniyle otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri kapsamında sadece konvansiyonel araçlarla ilgili çalışmalara ve bu doğrultudaki trendlere odaklanılmıştır.

### 4. Veri Analizi ve Bulgular

Araştırma kapsamında WoS veri tabanından elde edilen 220 yayının VOSviewer kullanılarak bibliyometrik analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Konu ile ilgili makalelerin bibliyometrik analizi ile WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri alanındaki makalelerin yıllara göre dağılımı, makalelerde öne çıkan ülkeler ve kurumlar, makalelerin endekslere ve yayımlandıkları dergilere göre dağılımı, en çok atıf alan makaleler ve makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin dağılımı incelenerek elde edilen veriler çeşitli görseller ile desteklenmiştir.



**Şekil 4.1.** WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanında 2006-2023 yılları arasında yayınlanan makalelerin dağılımı

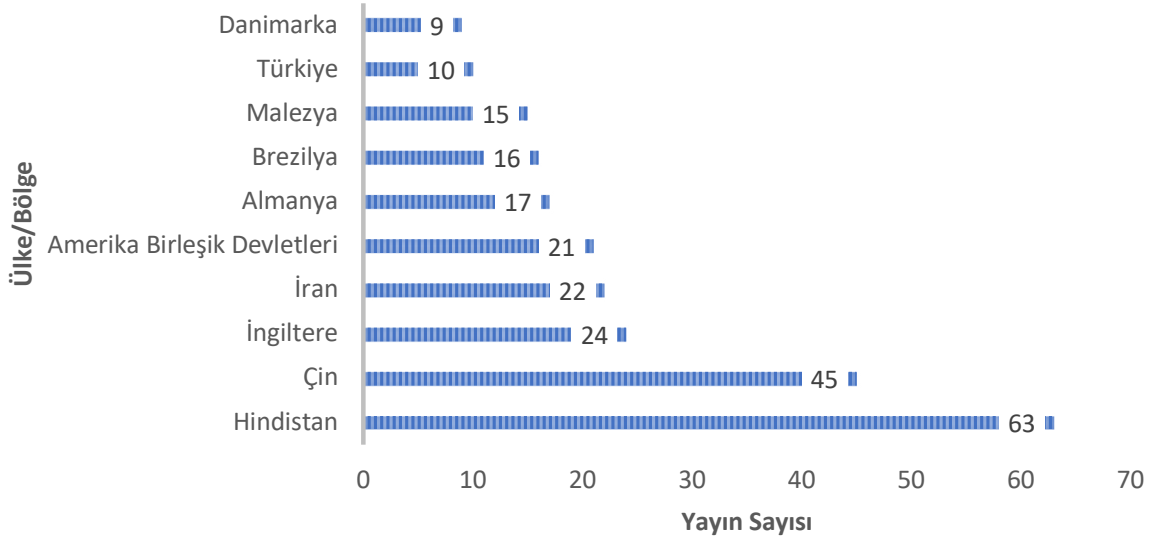
Şekil 4.1’de WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanında 2006-2023 yılları arasında yayınlanan makalelerin dağılımı gösterilmiştir. İlgili yıllar arasında otomotiv sektöründe sürdürülebilirlik kavramı üzerine yapılan yayınların sayısındaki değişimleri etkileyen bazı küresel sebepler mevcuttur. 2008’den sonra yaşanan küresel ekonomik krizin, tedarik zinciri maliyetlerini dolaylı yoldan artırıp dört yıl sonrası için otomotiv şirketlerini sürdürülebilirlik konusunda daha verimli olmaya ve atık maliyetlerini azaltmaya teşvik etmesinin, bu alanda yapılan yayınların sayılarına yansıdığı görülmektedir. 2015 yılında Volkswagen “emiyon skandalı” ve ardından 2016 yılında yürürlüğe giren Paris İklim Anlaşması’yla beraber otomotiv sektöründe şeffaflık ve çevresel uyum gerekliliğini vurgulanmıştır. Dolayısıyla Şekil 4.1’de de görüldüğü üzere 2014 yılı ve sonrasında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri alanındaki çalışmaların artmasına sebep olarak; şirket ve araştırmacıların, sürdürülebilirlikle ilgili daha katı standartlar ve etik uygulamalar konusunda yayınlar ortaya koyması gösterilebilir. Yine şekilde görüldüğü üzere 2019’da yaşanan düşüş COVID-19 pandemisinin diğer tüm sektörlerde yansımaları gibi otomotiv sektöründe de tedarik zinciri kesintileri, talep düşüşleri ve üretim durmaları kaynaklı olup 2020’den bugüne, COVID-19 pandemiden

kısmen etkilenen literatürde ve bilimsel araştırmalarda hızlı bir artış olduğu görülmektedir.

Şekil 4.2’de konu ile ilgili yayınların ülkelere göre dağılımına bakıldığında Hindistan’ın 63 yayın ile otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde en çok yayın yapan ülke olduğu görülmektedir. Otomotiv sektöründe hızla büyüyen bir pazar ve üretim üssü olarak bilinen Hindistan’da ülkedeki ekonomik büyüme ile artan talebin ve Hindistan’ın çevre sorunlarına ve sosyal adaletsizliklere göstermiş olduğu duyarlılığın da sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi konusunda yapılan araştırmaların sayısını etkilemiş olabileceği sonucuna varılabilir (Tiftikçigil ve Toptaş; 2021; Çokgezen, 2022). Hindistan’dan sonra bu alanda en çok yayın yapan ülkelerin sırasıyla Çin (45 yayın) ve İngiltere (24 yayın) olduğu görülmektedir. Çin, otomotiv endüstrisindeki büyük üretim hacmi ve geniş tedarik zinciri ağı ile dikkat çekmektedir. Ülkedeki yoğun üretim faaliyetleri, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi konusunda yapılan araştırmaların sayısının yüksek olmasına neden olabilir. Aynı zamanda, Çin’in çevresel endişeleri ve sürdürülebilirlik odaklı politikaları da bu alandaki araştırmaları teşvik etmiş olabileceği söylenebilir. Diğer ülkelerdeki sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi konulu yayın sayıları, ülkelerin oto-

motiv sektöründeki endüstriyel yapıları, çevresel politikaları, ekonomik koşulları ve araştırma yatırımları gibi çeşitli faktörlere bağlı olabilir. Örneğin Türkiye’de yerli elektrikli araç üretimi ve endüstriyel tesislerde enerji verimliliği gibi alanlarda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Ancak, Türkiye’nin sürdürülebilirlik konusundaki araştırma ve yayın sayısı

diğer bazı ülkelerle karşılaştırıldığında daha azdır. Bu durum, ülkedeki sürdürülebilirlik bilincinin ve araştırma yatırımlarının henüz tam olarak gelişmediğini gösterebilir. Ancak, Türkiye’nin bu alandaki potansiyeli ve çabaları dikkate alındığında, gelecekte sürdürülebilirlik konusunda yapılan araştırmaların artması ve yayın sayısının artması beklenmektedir.



**Şekil 4.2.** WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi makalelerinin ülkelere göre dağılımı

Çizelge 4.1’de, otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri alanında yapılan yayınların kurumlara göre dağılımı verilmiştir. En yüksek yayın sayısına sahip ilk on kurumun gösterildiği tabloda ilk iki sırada sırasıyla

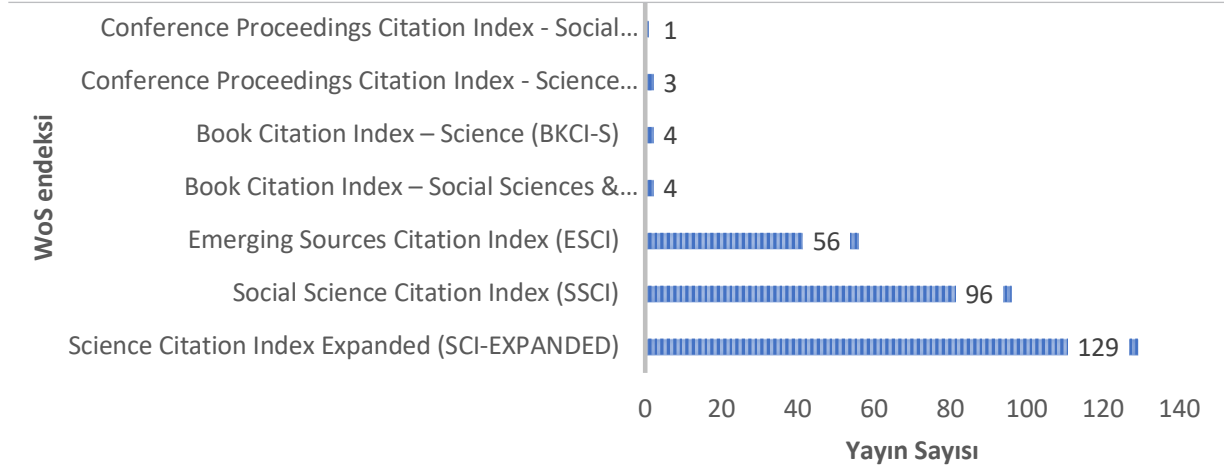
17 ve 16 yayın ile Hindistan’dan “Indian Institute of Technology” ve “National Institute of Technology” olduğu görülmektedir. Bu konuda “Islamic Azad University” ise yayın sayısı bakımından üçüncü sırada yer almaktadır.

**Çizelge 4.1.** WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanında en yüksek makale sayısına sahip yapan ilk on kurum

Kurum	Ülke	Yayın Sayısı
Indian Institute of Technology (IIT)	Hindistan	17
National Institute of Technology	Hindistan	16
Islamic Azad University	İran	8
University of Southern Denmark	Danimarka	8
Indian Institute of Technology (IIT), Roorkee	Hindistan	7
Dalian University of Technology	Çin	5
Hong Kong Polytechnic University	Çin	5
Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology	Hindistan	5
Universidade Nove De Julho	Brezilya	5
Universiti Teknologi Malaysia	Malezya	5

Şekil 4.3'te verilen otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanındaki yayınların endekslerdeki dağılımını göstermektedir. WoS veri tabanındaki yayınların endekslere göre dağılımı; Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED), 129 yayın; Social Sciences Citation Index (SSCI), 96 yayın; Emerging Sources Citation Index (ESCI),

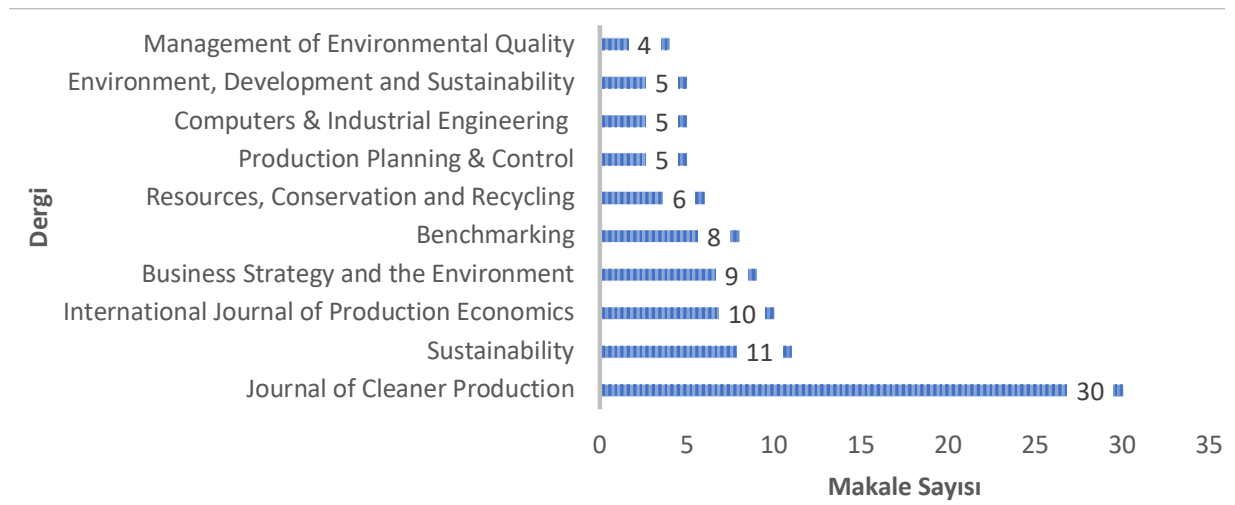
56; Book citation Index - Social Sciences & Humanities (BKCI-SSH), 4 yayın; Book Citation Index-Science (BKCI-S), 4 yayın; Conference Proceedings Citation Index - Science (CPCI- S), 3 yayın; ve Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities (CPCI-SSH), 1 yayını şeklindedir.



**Şekil 4.3.** WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanındaki yayınların endekslere göre dağılımı

Şekil 4.4, WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanındaki çalışmaların en yaygın ilk 10 dergiyi ve ilgili makale sayısını göstermektedir. İlk 10 dergide yayınlanan makale sayısı, yayınlanan toplam makale miktarının %42,27'sini oluşturmaktadır. “Journal of

Cleaner Production”, toplam makale sayısının %13,64'sını oluşturan 30 makale ile bu alanındaki çalışmaların en çok yayınlandığı dergidir. “Sustainability” ve “International Journal of Production Economics” sırasıyla toplamın %5'ini ve %4,54'ünü oluşturan ikinci ve üçüncü en yüksek makale sayısına sahiptir.



**Şekil 4.4.** WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanındaki makalelerin en çok yayınlandığı on dergi

Çizelge 4.2’ de yer alan veriler incelendiğinde, WoS’da en çok atıf alan ilk on yayının 2006-2020 yılları arasında yayımlandığı görülmektedir. Zhu vd.’nin 2007 yılında yayınladığı “Green Supply Chain Management: Pressures, Practices and Performance within The Chinese Automobile Industry” çalışmasının 723 atıf ile en çok atıf yapılan makale olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, Çin’deki 89 otomotiv işletmesinde yapılan anketler ile yeşil tedarik zincirine geçiş yönündeki etkenleri, ilgili girişimlerini ve performansları araştırmıştır. Analiz sonuçları, Çin’de otomobil sektörünün artan düzenleyici ve pazar baskılarına maruz kaldığını ve aynı zamanda yeşil tedarik zinciri yönetimi uygulamasının benimsenmesi için güçlü iç güçlere sahip olduğunu göstermiştir. Luthra ve diğerleri tarafından 2017 yılında yapılan “An Integrated Framework for Sustainable

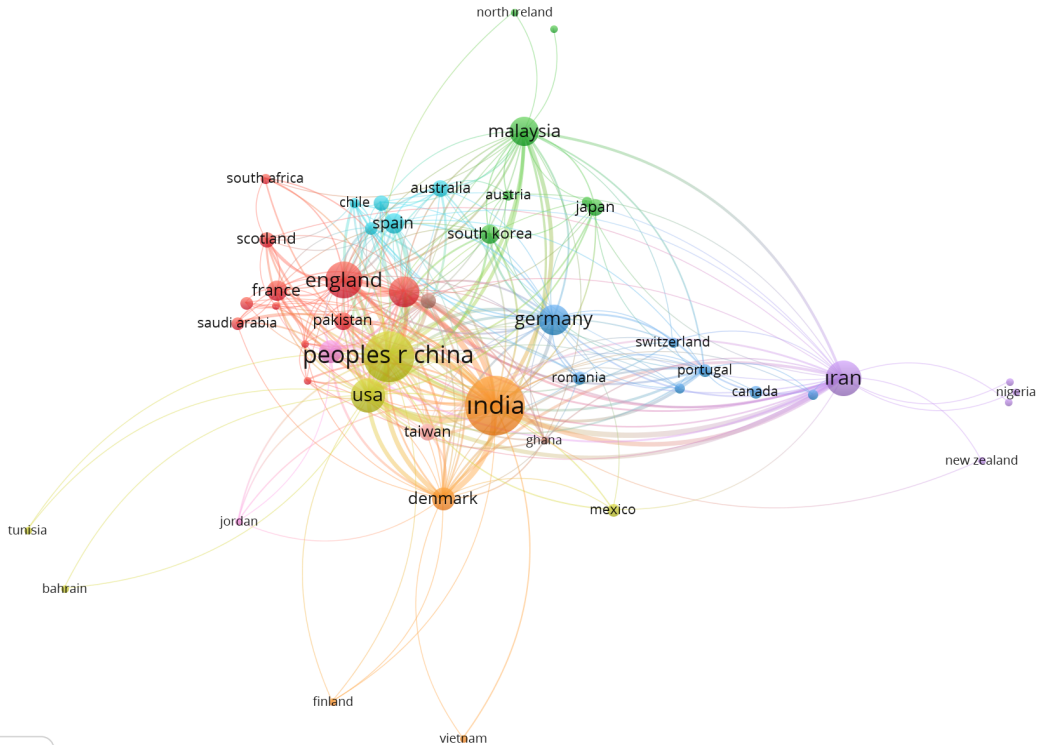
Supplier Selection And Evaluation In Supply Chains” başlıklı çalışma 528 atıf ile en çok atıf alan ikinci çalışma olmuştur. Çalışmada, bütünlük AHP-VIKOR (ViseKriterijumska Optimacija I Kompromisno Resenje) çok kriterli karar verme metodolojisi önerilerek Hindistan’daki bir otomobil şirketinde sürdürülebilir tedarikçi seçimi uygulaması yapılmıştır. Sürdürülebilir tedarikçi seçiminde kriterleri ağırlıklandırmak için AHP, ilgili tedarikçileri sıralamak için ise VIKOR yöntemi kullanılmıştır. Ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere üç ana başlıkta gruplandırılan 22 adet sürdürülebilir tedarikçi kriteri arasından “Çevresel maliyetler”, “Ürün kalitesi”, “Ürün fiyatı”, “İş sağlığı ve güvenliği sistemleri” ve “Çevresel yetkinlikler” en önemli beş sürdürülebilir tedarikçi seçim kriteri arasında yer almıştır.

**Çizelge 4.2.** Otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanında WoS veri tabanında en çok atıf alan ilk on yayın

Yazar	Makale Başlığı	Makalenin Yayınlandığı Dergi	Yıl	WoS Atıf Sayısı
Zhu vd.	Green Supply Chain Management: Pressures, Practices and Performance within the Chinese Automobile Industry	Journal of Cleaner Production	2007	723
Luthra vd.	An Integrated Framework for Sustainable Supplier Selection and Evaluation in Supply Chains	Journal of Cleaner Production	2017	528
Zhu vd.	An Inter-Sectoral Comparison of Green Supply Chain Management in China: Drivers and Practices	Journal of Cleaner Production	2006	527
Kannan vd.	An Integrated Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method and Multi-Objective Programming Approach for Supplier Selection and Order Allocation in a Green Supply Chains	Journal of Cleaner Production	2013	521
Zhu vd.	Green Supply Chain Management Implications for Closing the Loop	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	2008	368
Hashemi vd.	An Integrated Green Supplier Selection Approach with Analytic Network Process and Improved Grey Relational Analysis	International Journal of Production Economics	2015	364

**Çizelge 4.2.** Otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanında WoS veri tabanında en çok atıf alan ilk on yayın (devamı)

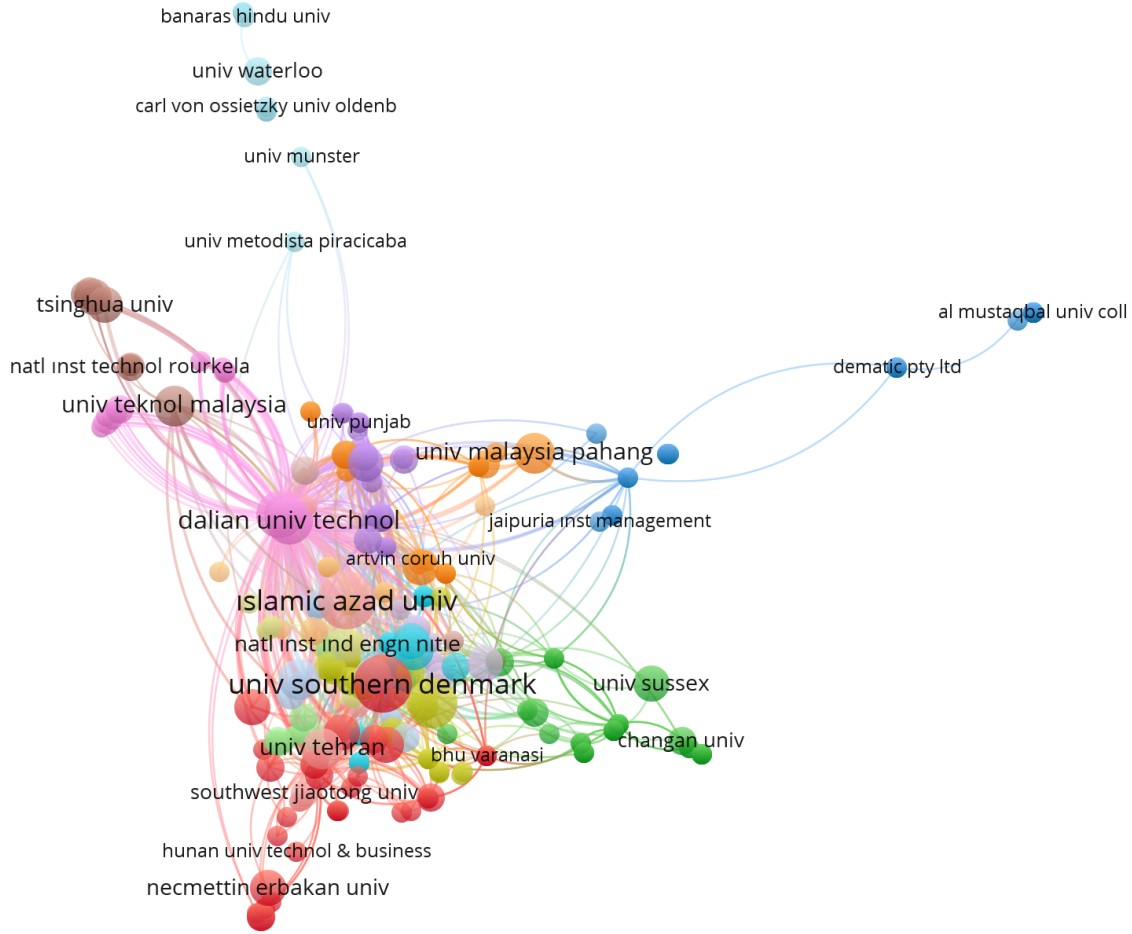
Yazar	Makale Başlığı	Makalenin Yayınlandığı Dergi	Yıl	WoS Atıf Sayısı
Azevedo vd.	The Influence of Green Practices on Supply Chain Performance: A Case Study Approach	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	2011	331
Govindan vd.	Intuitionistic Fuzzy Based DEMATEL Method for Developing Green Practices and Performances in a Green Supply Chain	Expert Systems with Applications	2015b	318
Tian vd.	A System Dynamics Model Based on Evolutionary Game Theory for Green Supply Chain Management Diffusion Among Chinese Manufacturers	Journal of Cleaner Production	2014	307
Yadav vd.	A Framework to Overcome Sustainable Supply Chain Challenges Through Solution Measures of Industry 4.0 And Circular Economy: An Automotive Case	Journal of Cleaner Production	2020	297



**Şekil 4.5.** WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanındaki makalelerin atıf ve ülke/bölge ilişkisinin ağ görselleştirilmesi

Şekil 4.5'te makalelerin yayınlandıkları ülkelere göre aldıkları atıflara dair ağ haritası oluşturulmak üzere bir ülke tarafından en az 1 eser yayınlanması ve 1 atıf alınması kriteri kapsamında aralarında ilişki bulunan 49 gözlem birimi üzerinden analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 10 küme, 289 bağlantı ve 1219

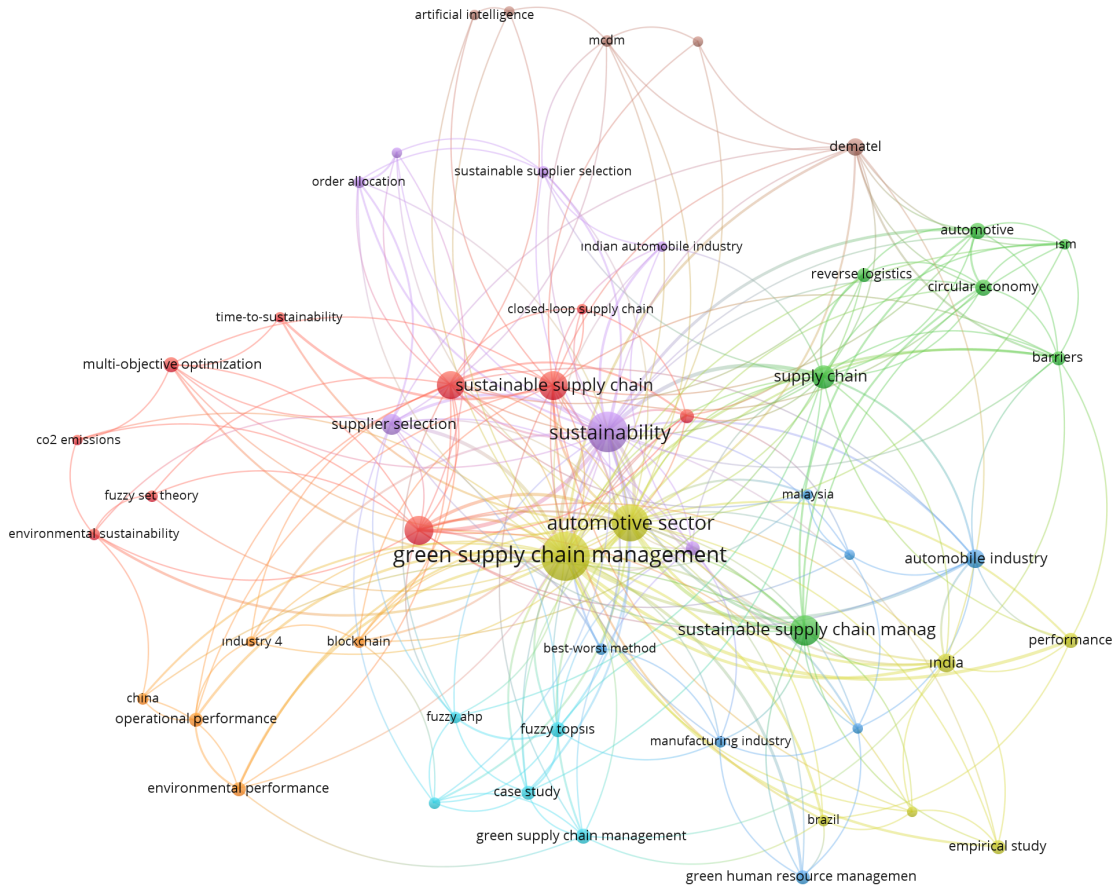
toplam bağlantı gücü tespit edilmiştir. En fazla atıf alan ülkeler Çin (4275 atıf), Hindistan (3586 atıf), Amerika Birleşik Devletleri (3349 atıf), Danimarka (2188 atıf) ve İngiltere (1776 atıf) olmuştur. Eser sayısı olarak ise sıralama Hindistan (63 yayın), Çin (45 yayın) ve İngiltere (24 yayın) şeklindedir.



**Şekil 4.6.** WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanındaki makalelerin atıf ve kurum ilişkisinin ağ görselleştirmesi

Makalelerin yayınlandıkları kurumlara göre aldıkları atıflara dair ağ haritası oluşturmak üzere bir kurum tarafından en az 1 eser yayınlanması ve 1 atıf alınması kriteri kapsamında aralarında ilişki bulunan 291 gözlem birimi üzerinden analiz yapılarak Şekil 4.6'daki ağ görselleştirmesi elde edilmiştir. Toplamda 17

küme, 2123 bağlantı ve 2643 toplam bağlantı gücü tespit edilmiştir. Dalian University of Technology, Clark University, ve Hong Kong Polytechnic University'nin sırasıyla 2221, 1914, ve 1740 atıf sayısı ile WoS veritabanında en çok atıf alan kurumlar oldukları görülmektedir.



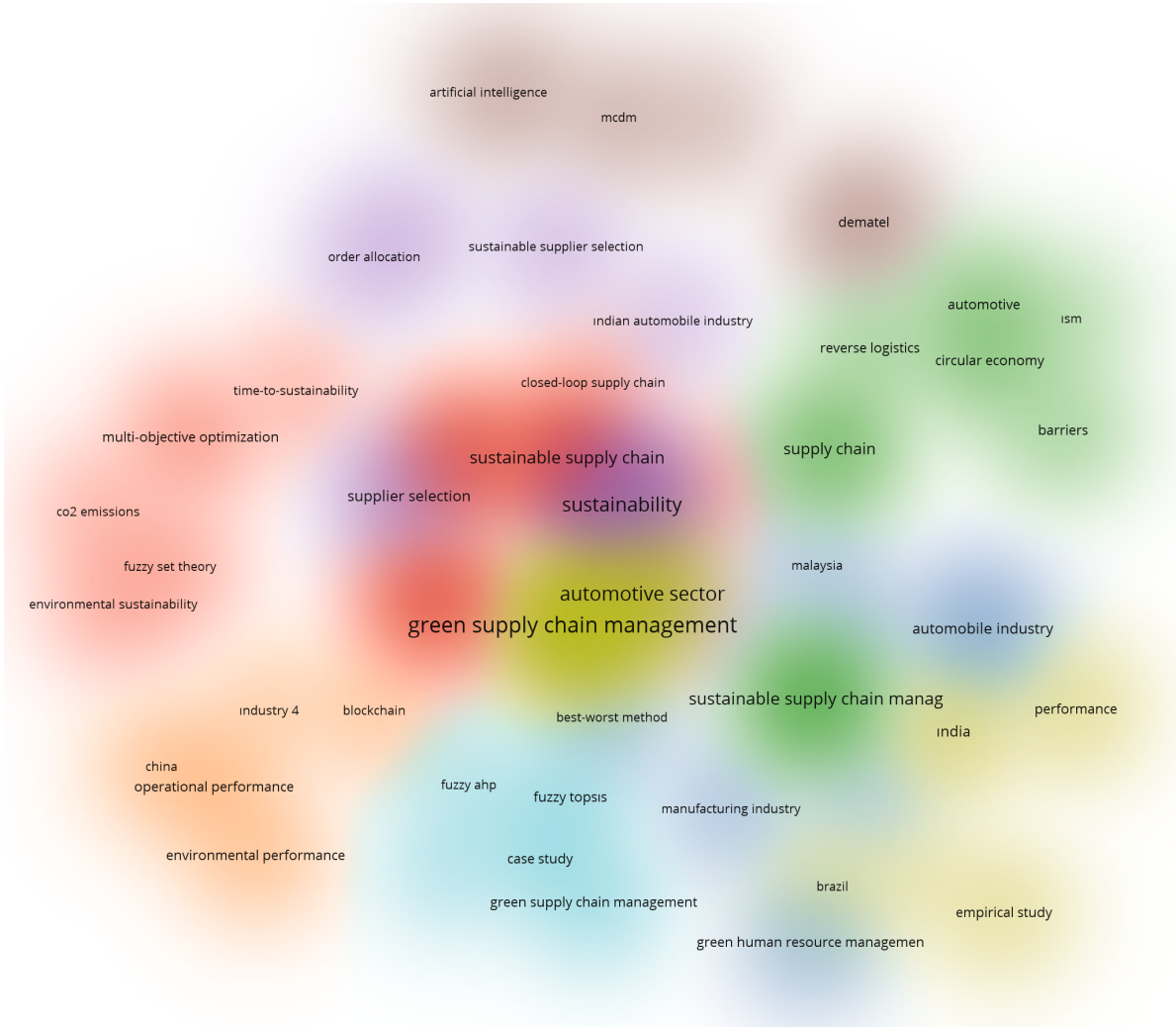
**Şekil 4.7.** WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanında yazarların en çok birlikte kullandıkları kelimelerin ağ görselleştirmesi

WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanında yazarların en çok birlikte kullandıkları kelimelerin ağ ve yoğunluk görselleştirmeleri sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de sunulmuştur. Anahtar kelimelerin eş anlamlı olması, birbiri ile aynı kelimelerin kullanılan harflerden kaynaklanarak ayrı ayrı ele alındığı ya da bir kelimenin kısaltmasının ayrı bir şekilde ele alınarak varyantlarının oluşmasının önüne geçmek analiz öncesinde eş anlamlılar sözlüğü “VOSviewer thesaurus file” dosyası hazırlanarak sisteme yüklenmiştir. En az 3 defa tekrarlanan ve aralarında ilişki bulunan 53 gözlem birimi ile yapılan analiz neticesinde toplam 8 küme, 269 bağlantı ve 407 toplam

bağlantı gücü tespit edilmiştir. Şekil 4.8’de her bir küme ayrı renklerle gösterilmiş olup toplamda 8 kümenin olduğu görülmektedir. Çizelge 4.3’te ise, her bir küme içerisinde yer alan anahtar kelimeler listelenmiştir.

Buna göre, en fazla “Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi”, “Sürdürülebilirlik” “Otomotiv Sektörü”, “Tedarik Zinciri Yönetimi”, “Sürdürülebilir Tedarik Zinciri”, “Yeşil Tedarik Zinciri”, “Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi” kelimeleri kullanılmıştır. Şekil 4.8’de görüldüğü üzere yazarlar tarafından en fazla kullanılan bu kelimenin dairelerinin daha büyük olduğu görülmektedir.





**Şekil 4.8.** WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanındaki makalelerde en çok birlikte kullanılan kelimelerin yoğunluk görselleştirilmesi

### 5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, WoS veri tabanında 2006-2023 yılları arasında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri ile ilgili 220 makalenin bibliyometrik analizi yapılmıştır. Konu ile ilgili makalelerin bibliyometrik analizi ile WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri alanındaki makalelerin yıllara göre dağılımı, makalelerde öne çıkan ülkeler ve kurumlar, makalelerin endekslere ve yayımlandıkları dergilere göre dağılımı, en çok atıf alan makaleler ve makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin dağılımı incelenerek elde edilen veriler çeşitli görseller ile desteklenmiştir. Elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

Otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri alanındaki çalışmalarda 2014 yılından itibaren bir artışın olduğu, 2019 yılına gelindiğinde ise yaşanan düşüşün COVID-19 pandemisinden kaynaklı olabileceği ve 2020'den itibaren otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri alanındaki bilimsel araştırmaların tekrardan hızlı bir artışa geçtiği görülmektedir. Hindistan'ın otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde en çok yayın yapan ülke olduğu, Çin ve İngiltere'nin de Hindistan'ı takip ettiği görülmektedir. Bu alanda en çok yayın sayısına sahip kurumların ise sırasıyla Hindistan'dan "Indian Institute of Technology" ve "National Institute of Technology" ve İran'dan "Islamic Azad University" olduğu sonucuna varılmıştır.

Toplam makale sayısına göre bu alandaki çalışmaların en çok yayınlandığı dergi “Journal of Cleaner Production” olmuştur. Bu alandaki çalışmaları ile en fazla atıf alan ülkelerin sırasıyla Çin, Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri, Danimarka, ve İngiltere olduğu görülmüştür. Makalelerin yayınlandıkları kurumlara göre aldıkları atıflar incelendiğinde, Dalian University of Technology (2221), Clark University (1914), ve Hong Kong Polytechnic University’nin (1740) sırasıyla, WoS veritabanında en çok atıf alan kurumlar oldukları gözlenmiştir. WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanında yazarların en çok birlikte kullandıkları kelimelerin ağ ve yoğunlukları incelendiğinde, 8 küme görülmektedir. En fazla “Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi”, “Sürdürülebilirlik” “Otomotiv Sektörü”, “Tedarik Zinciri Yönetimi”, “Sürdürülebilir Tedarik

Zinciri”, “Yeşil Tedarik Zinciri”, “Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi” kelimeleri kullanılmıştır. Bunun yanısıra, yeşil tedarik zinciri yönetimi ve tedarikçi değerlendirme-lerinde, Bulanık mantığın öne çıktığı ve ANP, AHP, TOPSIS gibi yöntemlerin kullanıldığı, Blokszincir gibi Endüstri 4.0 teknolojilerinin performans değerlendirmelerinde tercih edildiği, sürdürülebilir performans ölçümünde, BWM, DEMATEL ve yapısal eşitlik gibi modellemelere başvurulduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre, bu alanda yapılan çalışmaların son yıllarda gösterdiği artış ivmesi önümüzdeki yıllarda hız kazanarak devam edecektir. Bu noktadan hareketle, işletmelerin rekabet avantajı elde etme konusunda rakiplerine göre farklı bir konuma geçebilmek amacıyla sürdürülebilirliği iş süreçlerinin odak noktası haline getirmeleri gerektiği söylenebilir.

**Çizelge 4.3.** WoS veri tabanında otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanındaki yayınlarda en çok birlikte kullanılan kelimelerin kümelere göre dağılımı

<b>Küme 1</b>	Kapalı Döngü Tedarik Zinciri, CO <sub>2</sub> Emisyonları, Bulanık Küme Teorisi, Yeşil Tedarik Zinciri, Çok Amaçlı Optimizasyon, Performans Ölçümü Tedarik Zinciri Yönetimi, Sürdürülebilir Tedarik Zinciri, Sürdürülebilirlik Zamanı	<b>Küme 5</b>	Analitik Ağ Süreci (AHP), Hint Otomobil Endüstrisi, Siparişin Karşılansması, Tedarikçi Değerlendirmesi, Tedarikçi Seçimi
<b>Küme 2</b>	Otomotiv, Engeller, Döngüsel Ekonomi, Tedarik Yönetim Enstitüsü (ISM), Tersine Lojistik, Tedarik Zinciri, Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi	<b>Küme 6</b>	Vaka Çalışması, Bulanık Analitik Ağ Süreci (F-AHP), Bulanık TOPSIS, Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, Tedarik Zinciri Performansı
<b>Küme 3</b>	Otomobil Endüstrisi, En İyi-En Kötü Yöntemi (BWM), Yeşil İnsan Kaynakları Yönetimi, Malezya, İmalat Endüstrisi, Yapısal Eşitlik Modellemesi, Sürdürülebilir Performans	<b>Küme 7</b>	Blokszincir, Çin, Çevresel, Performans, Endüstri 4.0, Operasyonel Performans
<b>Küme 4</b>	Ampirik Çalışma, Çevre Yönetimi, Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, Hindistan, Performans	<b>Küme 8</b>	Yapay Zekâ, DEMATEL, Çok Kriterli Karar Verme, Performans Değerlendirmesi Sürdürülebilir Kalkınma

Türkiye'deki otomotiv endüstrisinde sürdürülebilirlik konusundaki farkındalık son yıllarda artmıştır. Şirketler, tedarik zinciri boyunca çevresel, sosyal ve ekonomik etkileri azaltmak için çeşitli önlemler almaya başlamıştır. Türkiye'deki otomotiv üreticileri, üretim süreçlerinde yeşil teknolojileri benimsemekte ve çevre dostu uygulamalara yönelmektedir. Atık azaltma, geri dönüşüm ve enerji verimliliği gibi uygulamalar, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin önemli bir parçası haline gelmiştir. Bunun yanı sıra her ne kadar gelişmeler olsa da yeterli düzeyde olmadığı görülmektedir. Özellikle Türkiye'deki otomotiv şirketleri, tedarik zinciri yönetimi süreçlerinde sürdürülebilirlik ilkelerini benimseyerek tedarikçilerini de bu doğrultuda teşvik etmelidir. Bu süreçte, sürdürülebilir tedarikçilerle işbirliği, sertifikasyon programları ve tedarikçi eğitimleri gibi uygulamalar, sürdürülebilirlik standartlarının yükseltilmesine katkı sağlayacaktır.

Tedarik zinciri yönetim süreçleri stratejik bir rekabet unsuru olarak değerlendirildiğinde

ise, araştırmacıların ve yöneticilerin sürdürülebilirliği en çok incelemesi ve uygulaması gereken iş süreçlerinden biri olarak görmeleri önemlidir. Bu alanda yapılacak araştırmaların güncel eğilimleri dikkate alarak değerlendirilmesi, sürece olumlu katkı sunacaktır. Her araştırmada olduğu gibi, bu makalede de araştırma çerçevesi belirli sınırlamalara tabi olduğu için bazı kısıtlar söz konusudur. Bu çalışmanın örnekleminin sadece WoS veri tabanında listelenen makalelerle sınırlı olması, çalışmanın bir kısıtı olarak kabul edilebilir. Gelecek çalışmalarda, bu kısıt esnetilerek, Scopus ve TR-Dizin gibi diğer veri tabanları da analizlere dahil edilebilir. Ek olarak, tedarik zincirlerindeki farklılıklar nedeniyle, bu çalışmada otomotiv sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri kapsamında içten yanmalı motorlu araçlarla ilgili çalışmalara ve bu doğrultudaki trendlere odaklanılmıştır. Elektrikli araçların, otomotiv tedarik zinciriyle ilgili gelişmeleri ve bu alanda günümüzde öne çıkan trendleri daha net görebilmek amacıyla bu doğrultuda ayrıca bir bibliyometrik analiz çalışması yapılması faydalı olacaktır.

## Kaynakça

- Acar ÖE., Çağlıyan V. (2021). Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Uygulamaları ve Dış Kaynak Kullanımının İşletme Performansına Etkisi: Otomotiv Sektöründe Bir Araştırma, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(1), 408-433. <https://doi.org/10.33437/ksusbd.613616>.
- Azevedo SG., Carvalho H., Machado VC. (2011). The Influence of Green Practices on Supply Chain Performance: A Case Study Approach, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 850-871.
- Büyüközkan G., Vardaloğlu Z. (2008). Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, *Lojistik Dergisi*, 8, 66-73.
- Borregan-Alvarado J., Alvarez-Meaza I., Cilleruelo-Carrasco E., Garechana-Anacabe G. (2020). A bibliometric Analysis in Industry 4.0 and Advanced Manufacturing: What About The Sustainable Supply Chain? *Sustainability*, 12 (19). 1-28.
- Chaudhuri R., Chatterjee S., Gupta S., Kamble S. (2023). Green Supply Chain Technology and Organization Performance: Moderating Role of Environmental Dynamism and Product-Service Innovation Capability, *Technovation*, 128, 102857.
- Çokgezen JY. (2022). Çin Otomotiv Sektörünün Gelişimi, *Eurasian Academy of Sciences Social Sciences Journal*, 104-127.
- Demirci A., Çalışkan A., Yelok Y. (2017). Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi ve Çevresel Sürdürülebilirlik Olgusuna İlişkin Farkındalık Düzeyinin Ölçülmesi: Mersin İli Örneği, *The International New Issues in Social Sciences*, 5(5), 601-626.
- Diabat A., Khodaverdi R., Olfat L. (2013). An Exploration of Green Supply Chain Practices and Performances in an Automotive Industry, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68, 949-961.
- Esmailian B., Sarkis J., Lewis K., Behdad S. (2020). Blockchain for the Future of Sustainable Supply Chain Management in Industry 4.0, *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 105064.
- GEDİK Y. (2021). Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi: Kuramsal Bir Değerlendirme, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 17(3), 830-860. <https://doi.org/10.17130/ijmeh.780246>.
- Ghadge A., Mogale DG., Bourlakis M., Maiyar LM., Moradlou H. (2022). Link Between Industry 4.0 and Green Supply Chain Management: Evidence from the Automotive Industry, *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108303.

- Govindan K., Jafarian A., Nourbakhsh V. (2015). Bi-objective Integrating Sustainable Order Allocation and Sustainable Supply Chain Network Strategic Design with Stochastic Demand Using a Novel Robust Hybrid Multi-Objective Metaheuristic, *Computers & Operations Research*, 62, 112-130.
- Govindan K., Khodaverdi R., Vafadarnikjoo A. (2015b). Intuitionistic Fuzzy Based DEMATEL Method for Developing Green Practices and Performances in a Green Supply Chain, *Expert Systems with Applications*, 42(20), 7207-7220.
- Hashemi SH., Karimi A., Tavana M. (2015). An Integrated Green Supplier Selection Approach with Analytic Network Process and Improved Grey Relational Analysis, *International Journal of Production Economics*, 159, 178-191.
- Huang K., Wang J., Zhang J. (2023). Automotive Supply Chain Disruption Risk Management: a Visualization Analysis Based on Bibliometric, *Processes*, 11(3), 710.
- Işıklar ZE., Yeşiltuna C. (2022). Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi Çalışmalarının Bibliyometrik Analizi, *R&S-Research Studies Anatolia Journal*, 5(1), 100-120.
- Jagani S., Marsillac E., Hong P. (2024). The Electric Vehicle Supply Chain Ecosystem: Changing Roles of Automotive Suppliers, *Sustainability*, 16(4), 1570.
- Kannan D., Khodaverdi R., Olfat L., Jafarian A., Diabat, A. (2013). Integrated Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method and Multi-Objective Programming Approach for Supplier Selection and Order Allocation in a Green Supply Chain, *Journal of Cleaner production*, 47, 355-367.
- Khanal G., Shrestha R., Devkota N., Sakhakarmy M., Mahato S., Paudel UR., Khanal CK. (2023). An Investigation of Green Supply Chain Management Practices on Organizational Performance Using Multivariate Statistical Analysis, *Supply Chain Analytics*, 3, 100034.
- Koca G., Behdioğlu S. (2019) Multi-Criteria Decision Making in Green Supply Chain Management: An Example of Automotive Main Industry, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 14 (3), 675-698.
- Kokol P., Blažun Vošner H., Završnik J. (2021). Application of Bibliometrics in Medicine: a Historical Bibliometrics Analysis, *Health Information & Libraries Journal*, 38(2), 125-138.
- Luthra S., Govindan K., Kannan D., Mangla SK., Garg, C. P. (2017). An Integrated Framework for Sustainable Supplier Selection and Evaluation in Supply Chains, *Journal Of Cleaner Production*, 140, 1686-1698.
- Martins CL., Pato MV. (2019). Supply Chain Sustainability: A Tertiary Literature Review, *Journal of Cleaner Production*, 225, 995-1016.
- Muñoz-Villamizar A., Solano E., Quintero-Araujo C., Santos J. (2019). Sustainability and Digitalization in Supply Chains: A Bibliometric Analysis, *Uncertain Supply Chain Management*, 7 (4), 703-712.
- Nassar S., Kandil T., Er Kara M., Ghadge A. (2020). Automotive Recall Risk: Impact of Buyer-Supplier Relationship on Supply Chain Social Sustainability, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 69(3), 467-487.
- Olugu EU., Wong KY., Shaharoun AM. (2011). Development of Key Performance Measures for the Automobile Green Supply Chain, *Resources, Conservation And Recycling*, 55(6), 567-579.
- Özkaya B., Kazançoğlu İ. (2020). Lojistik İşletmelerini Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimine Yönlendiren Etkenlerin Değerlendirilmesi, *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15(59), 490-502.
- Toptaş O., Gürlü G. (2022). Bir Literatür İncelemesi Aracı Olarak Bibliyometrik Analiz, Ankara: Nobel Yayınevi.
- Petljak K., Kotzab H. (2020). Sustainable Retail Supply Chain Management—A Bibliometric Viewpoint, In *Dynamics in Logistics: Proceedings of the 7th International Conference LDIC 2020*, Bremen, Germany 215-224, Springer International Publishing.
- Reddy KRK., Gunasekaran A., Kalpana P., Sreedharan VR., Kumar SA. (2021). Developing a Blockchain Framework for the Automotive Supply Chain: A Systematic Review, *Computers & Industrial Engineering*, 157, 107334.
- Rejeb A., Rejeb K., Zailani S. (2021). Are Halal Food Supply Chains Sustainable: A Review And Bibliometric Analysis, *Journal of Foodservice Business Research*, 24 (5), 554-595.
- Safarli V., Avnduk, H. (2023). Yeşil Tedarik Zinciri Uygulamalarının Tedarik Zincirine Etkisi Üzerine Azerbaycan İşletmelerinde Bir Araştırma, *Journal of Business in The Digital Age*, 6 (Özel Sayı), 15-29.
- Sanghavi P., Rana Y., Shenoy S., Yadav R. (2015). A Review on Green Supply Chain Management in Automobile Industry, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(6), 3697-3702.
- Sebastianelli R., Tamimi N. (2020). Antecedents of Sustainable Supply Chain Initiatives: Empirical Evidence from the S&P 500, *Business and Society Review*, 125(1), 3-22.
- Siems E., Land A., Seuring S. (2021). Dynamic Capabilities in Sustainable Supply Chain Management: An Inter-Temporal Comparison of the Food and Automotive Industries, *International Journal of Production Economics*, 236, 108128.
- Tanrıverdi İ. (2023). Otomotiv Sektöründe Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Uygulamalarına Yönelik Bir İçerik Analizi, *Journal of Yaşar University*, 18(70).
- Terzi S., Gür Ş, Eren T. (2020). Sürdürülebilir Tedarik Zincirine Endüstri 4.0 Etkisinin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(1), 511-528.
- Tian Y., Govindan K., Zhu Q. (2014). A System Dynamics Model Based on Evolutionary Game Theory for Green Supply Chain Management Diffusion Among Chinese Manufacturers, *Journal of Cleaner Production*, 80, 96-105.

- Tiftikçigil BY., Toptaş AC. (2021). Hindistan Otomobil Endüstrisinin Gelişiminde Devletin Rolü, *Neşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 11(2), 944-968.
- Van Nunen K., Li J., Reniers G., Ponnet K. (2018). Bibliometric Analysis of Safety Culture Research, *Safety Science*, 108, 248-258.
- Yadav G., Luthra S., Jakhar SK., Mangla SK., Rai DP. (2020). A Framework to Overcome Sustainable Supply Chain Challenges Through Solution Measures of Industry 4.0 and Circular Economy: An Automotive Case, *Journal of Cleaner Production*, 254, 120112.
- Ye Y. (2019). A Bibliometric Analysis of Supply Chain Management Research From The Perspective of Social Network, *Science & Technology Libraries*, 38 (2). 224-242.
- Yu Z., Khan S., Umar M. (2022). Circular Economy Practices and Industry 4.0 Technologies: A Strategic Move of Automobile Industry, *Business Strategy and The Environment*, 31(3), 796-809.
- Zhu Q., Sarkis J. (2006). An Inter-Sectoral Comparison of Green Supply Chain Management in China: Drivers and Practices, *Journal of Cleaner Production*, 14(5), 472-486.
- Zhu Q., Sarkis J., Lai KH. (2007). Green supply chain management: pressures, practices and performance within the Chinese automobile industry, *Journal of Cleaner Production*, 15(11-12), 1041-1052.
- Zhu Q., Sarkis J., Lai, KH. (2008). Green supply chain management implications for "closing the loop", *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 44(1), 1-18.

## A Study on Precipitation Trends in Türkiye via Linear Regression Analysis and Non-Parametric Mann-Kendall Test

Tuğba ÇELEBİOĞLU\*<sup>1</sup>   
t.celebioglu2021@gtu.edu.tr

Mete TAYANÇ<sup>2</sup>   
mtayanc@marmara.edu.tr

<sup>1</sup> Gebze Technical University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Eng., Kocaeli

<sup>2</sup> Marmara University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Eng., Istanbul

Arrival Date: 24.05.2024 / Accepted Date: 15.06.2024

### Abstract

Climate change, a significant global issue, has recently become a pivotal area for many researchers. Climate is defined as the long-term average of meteorological parameters such as temperature, precipitation, wind speed, and air pressure of a region. Precipitation is an important climatic parameter that can be variable at the temporal and spatial scales. A half-century precipitation dataset was selected and analyzed to reveal the effects of global climate change on the rainfall amounts of Türkiye. Precipitation data of each geographical region have been analyzed with respect to annual and seasonal basis in the period of 1969-2018. For this purpose, the non-parametric Mann-Kendall trend test which is recommended by World Meteorological Organizations (WMO) and linear regression method have been implemented to each geographical region of Türkiye. As a result of analysis belonging to 85 meteorological stations, the presence of any increasing and decreasing linear trends in annual and seasonal precipitation series have been studied on a regional scale. While the Black Sea Region has the highest increase with 148 mm/50 years, the total annual precipitation in the Southeastern Anatolia Region has decreased by 3.2 mm/50 years. Another important finding of linear regression has been observed that increase in precipitation has occurred in the Black Sea Region in all seasons, as a consequence of seasonal analysis. To determine whether these trends are statistically significant, we used Mann-Kendall test results. The test proved the existence of an increasing trend at 99% significance level in the annual precipitation series of the Black Sea Region. A statistically significant increasing trend was also obtained for the autumn season of the Black Sea Region at a 95% confidence level.

**Keywords:** Precipitation, Linear regression, Mann-Kendall test, Trend analysis

## Doğrusal Regresyon Analizi ve Parametrik Olmayan Mann-Kendall Testi ile Türkiye'deki Yağış Eğilimleri Üzerine Bir Araştırma

Tuğba ÇELEBİOĞLU\*<sup>1</sup>   
t.celebioglu2021@gtu.edu.tr

Mete TAYANÇ<sup>2</sup>   
mtayanc@marmara.edu.tr

<sup>1</sup> Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş Tarihi: 24.05.2024 / Kabul Tarihi: 15.06.2024

### Özet

Önemli bir küresel sorun olan iklim değişikliği, son dönemlerde pek çok araştırmacının odak noktası haline gelmiştir. İklim, bir bölgenin sıcaklık, yağış, rüzgâr hızı ve hava basıncı gibi meteorolojik parametrelerinin uzun vadeli ortalaması olarak tanımlanır. Yağış ise, zamansal ve mekânsal ölçekte sık

\* Corresponding Author: Tuğba Çelebioğlu

değişiklik gösteren önemli bir iklim parametresidir. Bu çalışma kapsamında, küresel ölçekte yaşanan iklim değişikliğinin Türkiye üzerindeki etkilerini ortaya koymak için yarım asırlık yağış verileri seçilerek, analiz edilmiştir. Türkiye'nin coğrafi bölgelerine ait yağış değerleri 1969-2018 dönemi için yıllık ve mevsimsel olarak analiz edilmiştir. Bu amaçla, Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından da meteorolojik verilerdeki trendlerin belirlenmesi için önerilen parametrik olmayan Mann-Kendall trend testi ve doğrusal regresyon yöntemi Türkiye'nin bölgelerine ait yağış verilerine uygulanmıştır. Gerçekleştirilen analizler neticesinde, Türkiye'de homojen olarak dağılan 85 meteoroloji istasyonuna ait bulgular bölgesel ölçekte yıllık ve mevsimsel yağış verilerinde doğrusal artma ve azalma eğilimlerinin varlığı ortaya konulmuştur. Yıllık yağış miktarında en fazla artış 148 mm/50 yıl değeri ile Karadeniz Bölgesi'nde tespit edilirken, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yıllık yağış miktarı 3,2 mm/50 yıl azalma göstermiştir. Lineer regresyonun bir diğer önemli bulgusu, coğrafi bölgelere ait mevsim bazlı analizler neticesinde ortaya çıkan Karadeniz Bölgesi'nde tüm mevsimlerde gerçekleşen toplam yağış miktarlarında artan bir eğilimin olduğudur. Bu verilere ilave olarak, her bir bölge için parametrik olmayan Mann-Kendall testi uygulanması ile istatistiki açıdan önemli olan eğilimler çalışılmış ve anlamlı trendlerin yalnızca Karadeniz Bölgesi'nde olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, 50 yıllık yağış serisinde gerçekleşen %99'luk önem düzeyinde bir artış eğiliminin varlığı gösterilmiştir. Bir diğer önemli tespit ise sonbahar mevsiminde Karadeniz Bölgesi'nde yaşanan %95 güvenilirlik seviyesinde bir artış eğiliminin varlığı olmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Yağış, Lineer regresyon, Mann-Kendall test, Trend analizi

### 1. Introduction

Global warming, leading to a global surface temperature increase of 1.1°C above pre-industrial levels during the period from 2011 to 2020, has indisputably been brought about via human activities, primarily through the release of greenhouse gases (IPCC, 2023). It has been observed intense and quick changes in the atmosphere, cryosphere, ocean, and biosphere. Numerous weather and climate extremes are presently being influenced by human-induced climate changes all over the world. Consequently, this has engendered extensive detrimental repercussions and associated losses and harm to both ecosystems and human populations. Notably, susceptible communities, historically contributing minimally to ongoing climate transformations, are disproportionately impacted (IPCC, 2023).

In recent years, the certain recognition of human-induced climate change as a pressing issue, coupled with the experience of unprecedented impacts, has led many researchers to focus intensively on studies in this field (Karaca et al., 1995; Tayanç and Toros, 1997; Tayanç et al., 1997; Tayanç et al., 2009; Deniz et al., 2011; Unal et al., 2012; Gocic

and Trajkovic, 2013; Toros et al., 2017; Yang et al., 2017; Sa'adi et al. 2019; Çelebioğlu et al. 2021).

Previously, Çelebioğlu et al. (2021) studied the temperature variabilities and trends in a 50-year time period of 1969-2018 in Türkiye. Temporal and spatial variability of temperature was studied by linear regression analysis and Mann-Kendall trend test. Temperature increase in this time period was found to be in the Eastern Anatolia Region with a value of 1.74°C/50 years. The regions with the highest seasonal temperature increases are estimated to be the Aegean Region (1.61°C) in autumn, Eastern Anatolia Region (2.37°C) in winter, Eastern Anatolia Region (1.84°C) in spring and Marmara Region in summer (2.79°C). Meanwhile, annual average temperature trends showed increasing trends at a 99% confidence level in most stations.

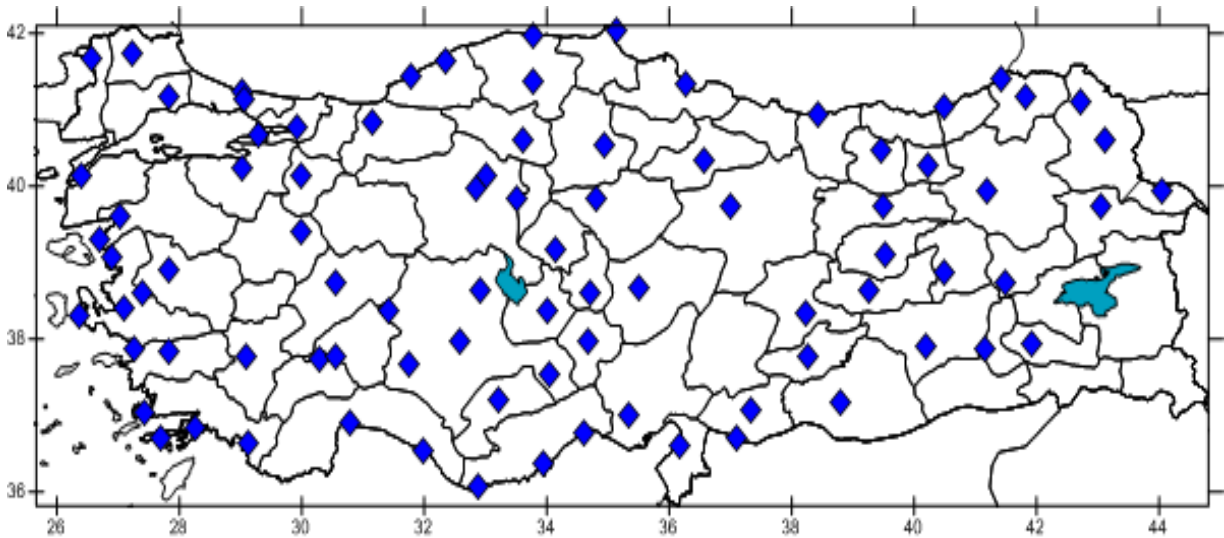
As a continuation of the above study, we evaluated the trends and variabilities of precipitation in Türkiye for the same 50-year time period of 1969-2018. To determine any existing trends in the precipitation series we used linear analyses and to find whether these

trends are statistically significant, we applied non-parametric Mann-Kendall trend. Therefore, the results of this study provide information about the recent climatic changes in Türkiye in terms of precipitation.

## 2. Material and Methods

The Turkish State Meteorological Service has provided precipitation data during the 1969-2018 period from 85 meteorological stations which are distributed uniformly across Türkiye, as illustrated in Figure 2.1. First of all, a quality control process has been applied to the dataset. The selected time period was divided into two parts to assess the any missing data in precipitation datasets across the stations. The first period was selected as the 50-year period between 1969-2018 years, whereas the second period was also the 20-year period during 1999-2018 years. For each

station, if the data was missing for more than 10% of the first period, that station was excluded from the data set. Similarly, if the data was missing for more than 10% of the second period, the station was also disqualified. In addition, missing data at stations that met these criteria (ie, less than 10%) were completed by averaging the data from the same time of the previous year and the data from the same time of the following year. Annual and seasonal total precipitation data of each geographical region have been generated from the original daily precipitation values. Subsequently, data of each geographical region has been subjected to extensive analysis by Mann-Kendall trend test and linear regression methods to assess changes and trends in precipitation during the half century period of 1969-2018 on regional basis.



**Figure 2.1.** Spatial distribution of meteorological stations in Türkiye

World Meteorological Organization (WMO) recommended the use of Mann-Kendall test for climatic parameters (Rustum et al., 2017). The Mann-Kendall trend test, originally developed by Mann (Mann, 1945) and later by Kendall (Kendall, 1975), gained prevalent recognition with its application to detect significant trends within the time series like temperature, precipitation, streamflow. The purpose of the Mann-Kendall test is to statistically assess if there is a monotonic up-

ward or downward trend of the variable of interest over a time period. A monotonic upward or downward trend means that the variable consistently increases or decreases through time, but the trend may or may not be linear. The Mann-Kendall test can be used in place of a parametric linear regression analysis, which can be used to test if the slope of the estimated linear regression line is different from zero. The regression analysis requires that the residuals from the fitted regression line be



normally distributed; an assumption not required by the non-parametric Mann-Kendall test, that is, the test is a distribution-free test. Mann-Kendall test is best viewed as an exploratory analysis and is most appropriately used to identify stations where changes are significant or of large magnitude and to quantify these findings by many researchers (Agbo et al., 2021; Ye and Kameyama, 2021; Verma et al., 2022).

Non-parametric tests, such as the Mann-Kendall test, are preferred over parametric counterparts when dealing with datasets that deviate from normal distribution

### 3. Results and Discussion

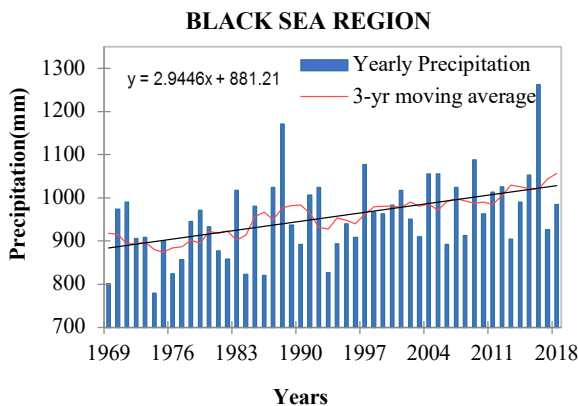
Following annual analysis of the precipitation data belonging to each geographical region, it was found that precipitation has been increasing in each region, except for the Southeastern Anatolia Region. Results in Figure 3.1 reveal that the greatest increase in precipitation has been taking place in the Black Sea Region, with a value of 2.95 mm per year and a total of 148 mm for the specified period of 2069-2018. Meanwhile, the Southeastern Anatolia Region has experienced a decrease of 3.2 mm/50 years. Based on the linear equation, the projected increase of precipitation in the Black Sea Region is anticipated to cause an approximate increase of 300 mm in precipitation by the year 2070 since 1969. In

contrast, a decline of 6.4 mm by 2070 can be foreseen for the Southeastern Anatolia Region. Based on climatic research, a decrease in precipitation is expected in areas along the Mediterranean coast and regions characterized by Mediterranean type of climate. Similar to our results, another study done by Bahadır (2011) found a precipitation increase of roughly 25-50 mm in stations located in the Black Sea climate zone. Additionally, Bahadır (2011) predicted precipitation decreases of roughly 2-100 mm in Continental and Mediterranean climate zone stations.

In this study, both annual and seasonal 50-year precipitation values for each station and region have been analyzed by using linear regression and the Mann-Kendall test to identify climate trends. Thus, the study aims to examine the impact of global climate change on Türkiye in terms of precipitation.

Tayanç et al. (2009) analyzed precipitation features of Eastern, Central and Southeastern

a)



b)

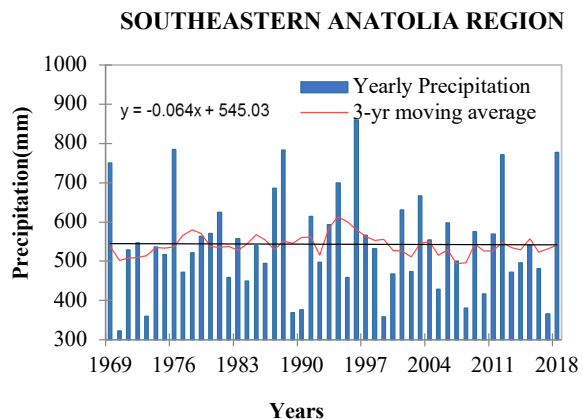
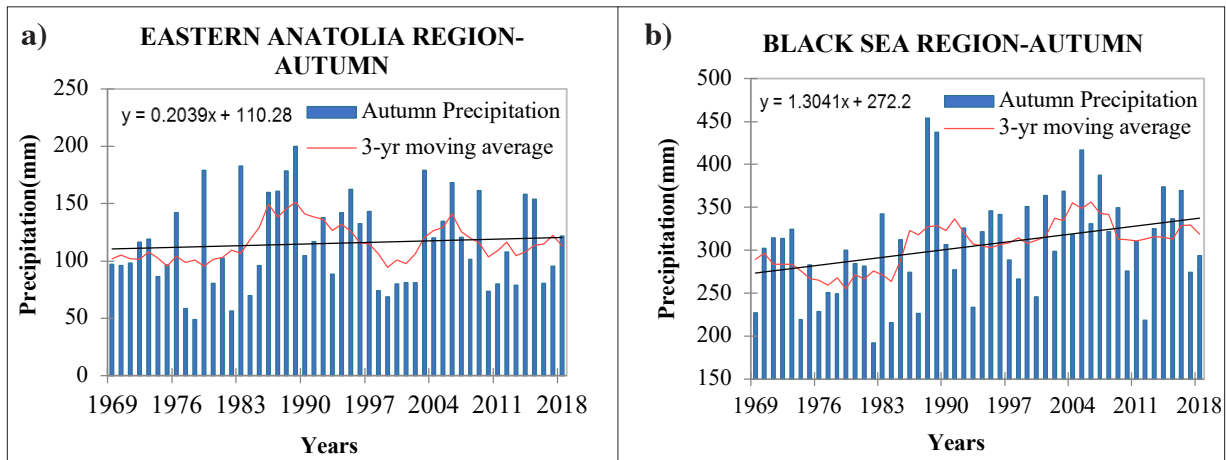


Figure 3.1. Regional annual precipitation variability

Anatolia Region and concluded that a drier climate has been observed in those 3 regions since the 1950s. Analysis of Central Anatolia Region shows that precipitation had decreased during the 1952-1973 period. The precipitation levels in the Southeastern Anatolia Region remained below the average values for an extended period from 1958 to 1976, with the exception of a few years in the late 1960s. No significant change was reported for the Eastern Anatolia Region until 1983 (Tayanç et al., 2009). In contrary, interesting results was obtained for the Mediterranean Region that precipitation was found to show an increasing trend (Tayanç et al., 2009).

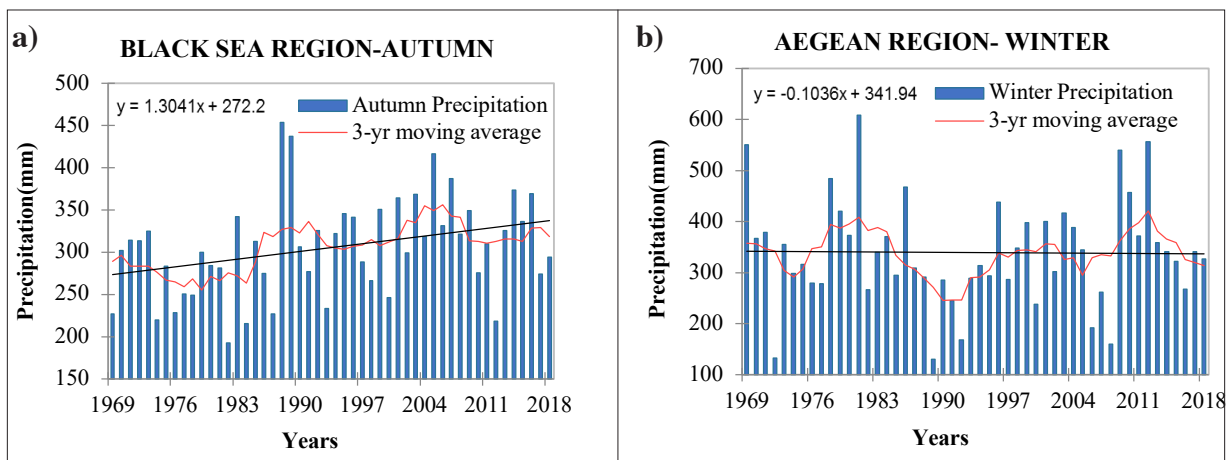
Presence of increase in precipitation of autumn season has been detected among all geographical the regions. During the 50-year period, especially notable observations in Figure 3.2 for the autumn season include a 66 mm increase in the Black Sea Region and a 10.2 mm increase in the Eastern Anatolia Region. As per the linear regression analysis, precipitation levels in the Black Sea Region is expected to increase by 132 mm till 2070. Additionally, assessments suggest that precipitation patterns will undergo a 22 mm increase in Eastern Anatolia by 2070.



**Figure 3.2.** Autumn season precipitation variability

The winter precipitation mainly exhibits its increasing trends across regions, apart from the Mediterranean and Aegean regions. Figure 3.3 represents a slight decrease of 5 mm/50 years in Aegean Region, experienced highest decline during this period. The highest value of increase has been also found out

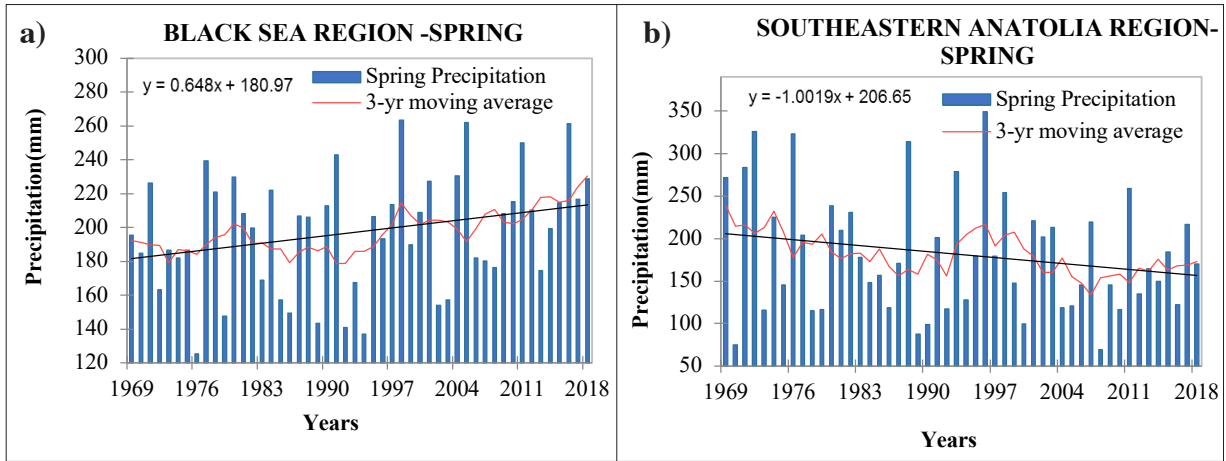
in the Black Sea Region with a value of 27 mm, in Figure 3.3. In contrast, while precipitation change is supposed to reach to 54 mm in Black Sea Region by 2070, a decrease with a value of 10 mm/100 years has been observed in the Aegean Region



**Figure 3.3.** Winter season precipitation variability

Figure 3.4 illustrates a decrease of precipitation during spring in most regions, including Eastern Anatolia, Southeastern Anatolia over the span of five decades. Conversely, Aegean and Black Sea Region has experienced a rise in precipitation, in this period of time. Whereas the highest increase amount with 32.5 mm/50 years has been monitored

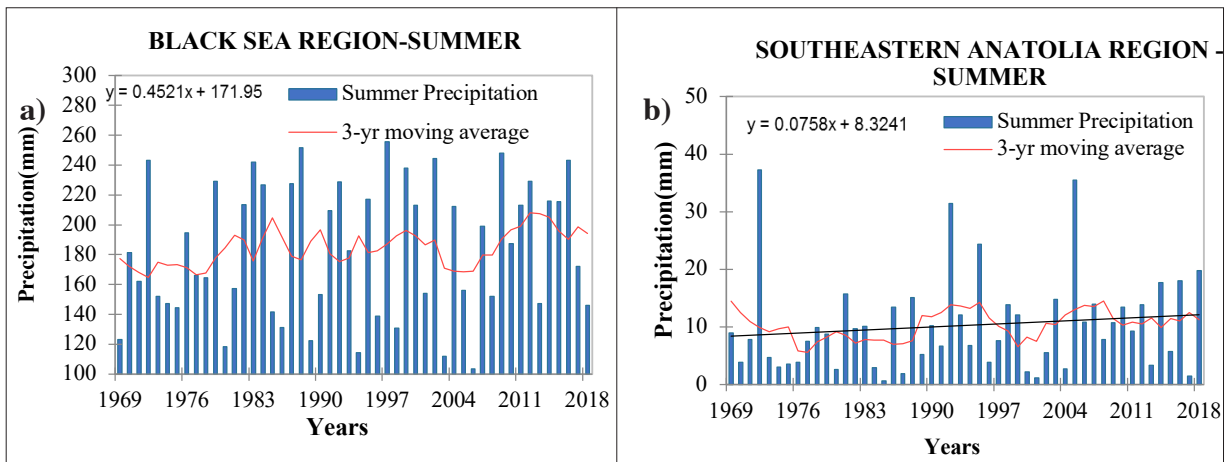
in the Black Sea Region, Southeastern Anatolia Region has highest decrease amount with 55 mm/50 years. Most important future observations respectively indicate a rise with 65 mm/100 years in Black Sea Region and also a decline of 110 mm /100 years in Southeastern Anatolia Region.



**Figure 3.4.** Spring season precipitation variability

The most remarkable analysis of summer season depicted in Figure 3.5 for Black Sea and Southeastern Region. As a consequence of analyzing summer season, the presence of increase has been stated in all regions. In the light of these findings, the highest summer precipitation increases with a value of 22.5 mm in Black Sea Region, the lowest in-

crease has taken place in Southeastern Anatolia Region 3.75 mm in Southeastern Anatolia. Based on these findings, future predictions demonstrate further rises, with anticipated values of 45 mm/100 years in the Black Sea and 7.5 mm/100 years in Southeastern Anatolia Region.



**Figure 3.5.** Summer season precipitation variability

Table 3.1 represents the summary of important results of linear regression belonging to regions. Future predictions of annual precipitation revealed increases in precipitation apart from Southeastern Anatolia Region. While highest increase has occurred in Black Sea Region, a slight decrease has been detected in Southeastern Anatolia Region. Increases in autumn and summer precipitation across the regions have been also detected. Furthermore, winter precipitation demonstrates an

increase except for the Mediterranean and Aegean regions. A rise in spring precipitation is detected in only the Black Sea and Aegean regions

Precipitation data produced using HadGEM2-ES according to the RCP 4.5 scenario demonstrates that there will be a decrease of around 20% except for the Coastal Aegean, Central Black Sea, and Northeastern Anatolia regions in the spring precipitation for the period of 2071-2099. There will be an increase of around 10% in winter precipitation, especially along the coastline. There will be a decrease of up to 40% in summer precipitation except for the Aegean, Marmara and Black Sea coasts. It is noticeable that there will be decreases in autumn precipitation almost all over the country in the 2071-2099 (URL-1).

**Table 3.1.** Results of linear regression

Regions	Equation	Variability-Estimation
Black Sea-Annual	$y=2.9446x+881.21$	+148 mm/50 years +300 mm/100 years
Southeastern Anatolia - Annual	$y=0.064x+545.03$	-3.2 mm/50 years -6.4 mm/100 years
Black Sea-Autumn	$y=1.3041x+272.2$	+66 mm/50 years +132 mm/100 years
Eastern Anatolia-Autumn	$y=0.2039x+110.28$	+10.2 mm/ 50 years +22 mm/100 years
Black Sea-Winter	$y=0.5405x+256.1$	+27 mm/50 years +54 mm/100 years
Aegean-Winter	$y=-0.1036x+341.94$	-5 mm/50 years -10 mm/100 years
Black Sea-Spring	$y=0.648x+180.97$	+32.5 mm/50 years +65 mm/100 years
Southeastern-Spring	$y=-1.0019x+206.65$	-55 mm/50 years -110 mm/100 years
Black Sea-Summer	$y=0.4521x+171.95$	+22.5 mm/50 years +45 mm/100 years
Southeastern-Summer	$y=0.0758x+8.3241$	+3.75 mm/50 years +7.5 mm/100 years

Another set of precipitation data produced by using HadGEM2-ES according to the RCP 8.5 scenario indicate that, there will be decreases of around 20% in regions during the spring months, except for the Coastal Aegean, the western part of the Central Black Sea and the Eastern Black Sea. Winter precipitation is expected to decrease in the Central and Eastern Mediterranean Region as well as the Southeastern Anatolia Region, while increases are anticipated in other areas, particularly along the Central and Eastern Black Sea coasts. In addition, while increases in summer precipitation are expected in the Marmara and Western Black Sea regions, it is noteworthy that there will be decreases in precipitation, especially in the Mediterranean and Eastern Anatolia regions. It is noteworthy that in the autumn, there will be decreases of up to 40% and sometimes up to 50% all over the country except the Marmara coast. for the period of 2071-2099 (URL-1).

While our linear regression result predicts an increase in autumn precipitation across all regions, the Turkish State Meteorological Service report (URL-1) expects decreases in almost the entire country according to the RCP 4.5 scenario HadGEM2-ES for the period 2071-2099. Additionally, according to the linear regression applied in this study, an

increase in summer precipitation is anticipated in all regions; however, the model results indicate decreases in summer precipitation except for the Aegean, Marmara, and Black Sea coasts. Furthermore, while the linear trend shows decreases in spring precipitation in most regions, the model result for spring precipitation is parallel to these findings. Whereas the RCP 4.5 scenario HadGEM2-ES result demonstrates an increase in winter precipitation in coastal regions, the linear regression indicates an increase except for the Aegean and Mediterranean regions.

According to RCP8.5/ HadGEM2-ES results, it is stated that there is a decrease in the whole country apart from Marmara coasts in the autumn, while linear regression result indicates an increase in all regions in the autumn season. Whereas result of model presents an increase in the Marmara and Western Black Sea in summer precipitation, linear regression proves the existence of increase in all regions. According to our future estimation, the decrease in precipitation in most regions is parallel to the decrease in precipitation in the spring precipitation in the RCP 8.5/ HadGEM2-ES. In addition, presence of increase is determined by linear regression in the Black Sea Region in winter precipitation, Turkish State Meteorological Service also predicts an increase especially in the Central and Eastern Black Sea coasts.

Statistically significant trend has not been mostly observed across Türkiye by implementing non-parametric Mann-Kendall trend test to annual precipitation dataset, as seen in Figure 3.6. However, increasing trends which are both at 95% and 99% confidence level have been mainly detected in stations in the north of Eastern Anatolia, central and eastern parts of the Black Sea Region. In the annual precipitation data sets for the Aegean and Mediterranean coasts, no statistically significant trends were identified. However, a notable exception is the presence of a strong increasing trend at the station located in Hatay, observed at the 99% confidence interval. Furthermore, the annual precipitation data for stations situated in the interior parts of the Aegean and Mediterranean regions also revealed no statistically significant

trends. Similarly, the majority of stations in the Marmara and Central Anatolia Regions exhibited no statistically significant trends in their annual precipitation data.

Statistically insignificant increasing trends in most regions have been revealed as a result of seasonal and annual analysis. Only annual precipitation of Black Sea Region indicates an increasing trend at the 99% confidence level among the seasonal analyses. Moreover, autumn precipitation in a half century over Black Sea Region has increasing trend at the 95% confidence interval.

Some researchers also determined significant increasing trends at some stations in the Black Sea and north of Eastern Anatolia Region. They mentioned the existence of a decreasing trend in precipitation in the Mediterranean, Mediterranean Transition Climate and Continental Mediterranean Climate Zone. No precipitation trend had been reported in Marmara and Central Anatolia Regions (Demir et al., 2008). Like our findings, increasing trends in annual precipitation all through the Black Sea Region have been found by other researchers (Tokgöz et al., 2020).

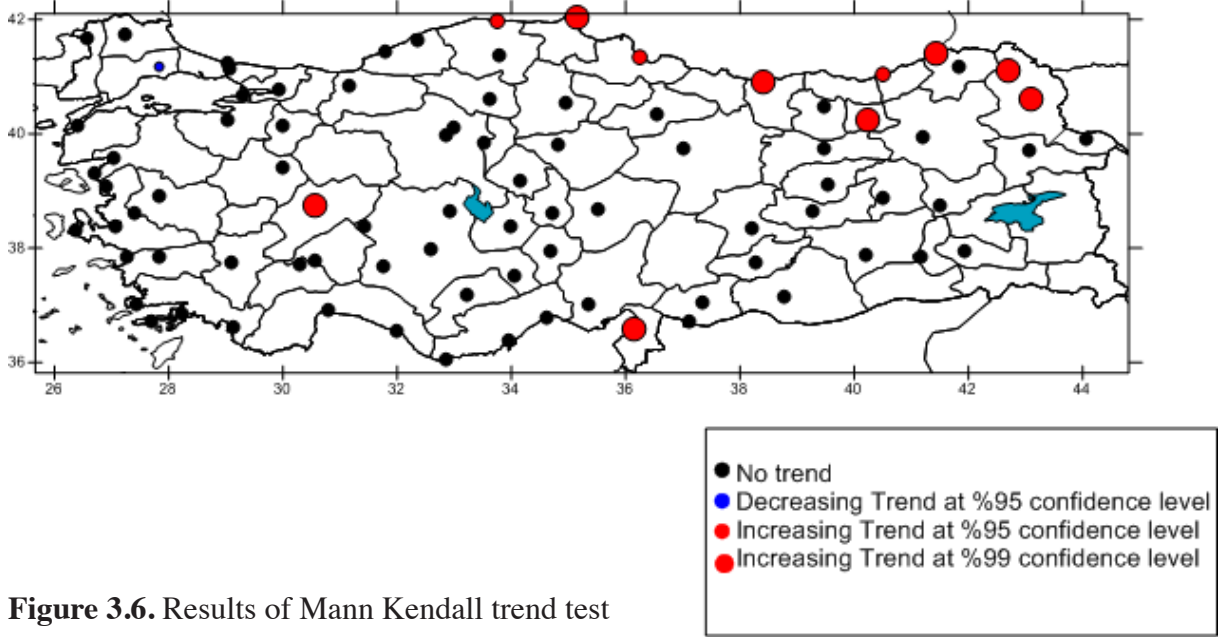
#### 4. Conclusions

Annual and seasonal precipitation values for each geographical region of Türkiye have been analyzed by using data collected from 85 meteorological stations for the period of 1969-2018. Time series of precipitation data for each station has been interpreted using linear regression analysis and Mann-Kendall trend test. The annual results of the linear regression analysis align with the findings of Mann-Kendall trend test.

Increasing linear trends in the annual total precipitation series of every region, except for the Southeastern Anatolia Region have been noted. Notably, a pronounced increasing trend has been identified in the precipitation series of the Black Sea region. While Black Sea Region has the highest increase in annual precipitation with a trend of 148 mm/50 years and significant at 99% confidence level, the annual precipitation of Southeastern Anatolia Region has

decreased by a trend of 3.2 mm/50 years that is not significant at 95% level. 95% significant increasing precipitation trend has also been obtained for the autumn season in the Black Sea Region. While there are increasing trends in winter, spring, and summer precipitation

values in most regions, majority of them are found to insignificant. Results of these analyses have provided insight into the changes and trends in the precipitation series of Türkiye over the past half-century.



**Figure 3.6.** Results of Mann Kendall trend test

## References

- Agbo EP., Ekpo CM., Edet CO. (2021). Analysis of the effects of meteorological parameters on radio refractivity, equivalent potential temperature and field strength via Mann-Kendall test, *Theoretical and Applied Climatology*, 143, 1437-1456.
- Bahadır M. (2011). Türkiye’de iklim değişikliğinin iklim bölgelerine yansımada kuzey-güney yönlü sıcaklık ve yağış değişim öngörütleri, *Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler E-Dergisi*, 26, 1-18.
- Brown TB., Barry RG., Doesken NJ. (1992, September). An exploratory study of temperature trends for Colorado paired mountain-high plains stations. In American Meteorological Society sixth conference on mountain meteorology, Portland, OR (pp. 181- 184).
- Çelebioğlu T., Tayanç M., Oruç H. (2021). Determination of temperature variabilities and trends in Turkey, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(3), 1003-1020.
- Dash SK., Hunt JCR. (2007). Variability of climate change in India, *Current Science* (00113891), 93(6).
- Deniz A., Toros H., Incecik S. (2011). Spatial variations of climate indices in Turkey, *International Journal of climatology*, 31(3), 394-403.
- Demir İ., Kılıç G., Coşkun M., Sümer UM. (2008). Türkiye’de maksimum, minimum ve ortalama hava sıcaklıkları ile yağış dizilerinde gözlenen değişiklikler ve eğilimler, TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu, *Bildiriler Kitabı*, 69, 84.
- Gocic M., Trajkovic S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen’s slope estimator statistical tests in Serbia, *Global and planetary change*, 100, 172-182.
- Hussain A., Hussain I., Ali S., Ullah W., Khan F., Ullah S., Zhou J. (2023). Spatiotemporal temperature trends over homogenous climatic regions of Pakistan during 1961–2017, *Theoretical and Applied Climatology*, 153(1), 397-415.
- IPCC 2023. Summary for Policymakers. – In: Core Writing Team, Lee, H. and Romero, J. (eds), . *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, Geneva, Switzerland, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001*. p. 1–36.
- Karaca M., Tayanç M., Toros H. (1995). Effects of urbanization on climate of Istanbul and Ankara, *Atmospheric Environment*, 29(23), 3411-3421.
- Kendall M. (1975). Rank Correlation Methods, 4th ed. Charles Griffin, San Francisco.
- Mann HB. (1945). Non-parametric tests against trend, *Econometrica*, 13 (3), 245-259.

- Martinez CJ., Maleski JJ., Miller MF. (2012). Trends in precipitation and temperature in Florida, USA, *Journal of Hydrology*, 452, 259-281.
- Partal T., Kahya E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data, *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(9), 2011-2026.
- Rustum R., Adeloye AJ., Mwale F. (2017). Spatial and temporal Trend Analysis of Long Term rainfall records in data-poor catchments with missing data, a case study of Lower Shire floodplain in Malawi for the Period 1953–2010, *Hydrology and earth system sciences discussions*, 2017, 1-30.
- Sa'adi Z., Shahid S., Ismail T., Chung ES., Wang, XJ. (2019). Trends analysis of rainfall and rainfall extremes in Sarawak, Malaysia using modified Mann–Kendall test, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131, 263-277.
- Sanogo A., Kabange RS., Owusu PA., Djire BI., Donkoh RF., Dia N. (2023). Investigation into recent temperature and rainfall trends in mali using mann-kendall trend test: case study of Bamako, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 11(3), 155-172.
- Tayanç M., Toros, H. (1997). Urbanization effects on regional climate change in the case of four large cities of Turkey, *Climatic change*, 35(4), 501-524.
- Tayanç M., İm U., Doğruel M., Karaca M. (2009). Climate change in Turkey for the last half century, *Climatic change*, 94(3), 483-502.
- Tayanç M., Karaca M., Yenigün O. (1997). Annual and seasonal air temperature trend patterns of climate change and urbanization effects in relation to air pollutants in Turkey, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D2), 1909-1919.
- Tokgöz S., Partal T. (2020). Karadeniz Bölgesinde yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin yenilikçi şen ve mann-kendall yöntemleri ile trend analizi, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(2), 1107-1118.
- Toros H. (2012). Spatio-temporal precipitation change assessments over Turkey, *International Journal of Climatology*, 32(9), 1310-1325.
- Toros H., Abbasnia M., Sagdic M., Tayanç M. (2017). Long-term variations of temperature and precipitation in the megacity of Istanbul for the development of adaptation strategies to climate change, *Advances in Meteorology*, 2017, 1-14.
- URL-1. Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?s=proje-siyonlar>, (Date Accessed: 15 April 2024).
- Unal YS., Deniz A., Toros H., Incecik S. (2012). Temporal and spatial patterns of precipitation variability for annual, wet, and dry seasons in Turkey, *International Journal of Climatology*, 32(3), 392-405.
- Verma S., Prasad AD., Verma, MK. (2022). Trends of rainfall and temperature over Chhattisgarh during 1901–2010, *In Advanced Modelling and Innovations in Water Resources Engineering: Select Proceedings of AMIWRE 2021* (pp. 3-19). Springer Singapore.
- Yang P., Xia J., Zhang Y., Hong S. (2017). Temporal and spatial variations of precipitation in Northwest China during 1960–2013, *Atmospheric Research*, 183, 283-295.
- Ye F., Kameyama S. (2021). Long-term nationwide spatiotemporal changes of freshwater temperature in Japan during 1982–2016, *Journal of Environmental Management*, 281, 111866.

## **Innovative Nanofibrous Air Filters: Advancing Air Quality and Health Protection**

Ali TOPTAŞ   
atoptas34@gmail.com

Textile Technologies and Design Faculty, Istanbul Tech. Univ., 34437 Istanbul, Türkiye

Arrival Date: 28.05.2024 / Accepted Date: 15.06.2024

### **Abstract**

Air pollution is a significant global health concern, causing respiratory diseases, cardiovascular disorders, and various cancers. The increasing population, industrial activities, fuel emissions, and construction activities contribute to the formation of particulate matter, leading to air pollution. The inhalation of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and various toxic gases substantially exacerbates these health risks. Traditional air filtration systems, while relatively effective at capturing larger particles, fall short in capturing nanoscale pollutants. To address these deficiencies, nanofibrous air filters have emerged as a significant innovation. Due to their large surface area and high porosity, nanofibrous filters can effectively capture smaller particles and harmful gases. Research has demonstrated that nanofibrous filters exhibit high efficiency in filtering PM<sub>2.5</sub> and smaller particles, as well as bacteria, and viruses. Furthermore, the long-term use of these filters presents a significant potential to reduce health risks associated with air pollution. This study emphasizes the critical importance of developing and implementing nanofibrous filter technology and the innovative research in this field to improve air quality and protect public health. The widespread adoption of this technology is viewed as an effective strategy to mitigate the adverse health effects of air pollution and create healthier living environments. In this context, the study presents insights into the current and future applications of nanofibrous air filters.

**Keywords:** Air pollution, Air filtration, Nanofibrous filters, Electret filter

## **Yenilikçi Nanolifli Hava Filtreleri: Hava Kalitesinin Geliştirilmesi ve Sağlıkın Korunması**

Ali TOPTAŞ   
atoptas34@gmail.com

Tekstil Teknolojileri ve Tasarım Fakültesi, İstanbul Teknik Üniv., 34437 İstanbul, Türkiye

Geliş Tarihi: 28.05.2024 / Kabul Tarihi: 15.06.2024

### **Özet**

Hava kirliliği, küresel ölçekte solunum yolu hastalıkları, kardiyovasküler rahatsızlıklar ve kanser türleri gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Artan nüfusa, endüstriyel faaliyetlere, yakıt emisyonlarına ve inşaat faaliyetlerine bağlı olarak oluşan partikül maddeler hava kirliliğine neden olmaktadır. Özellikle, ince partikül maddelerin (PM<sub>2.5</sub>) ve çeşitli toksik gazların inhalasyonu, bu sağlık risklerini önemli ölçüde artırmaktadır. Geleneksel hava filtreleme sistemleri, büyük partikülleri yakalama konusunda nispeten etkili olsalar da nano boyutta kirleticilerin tutulmasında yetersiz kalmaktadır. Bu eksiklikleri gidermek amacıyla, nanolifli hava filtreleri



önemli bir yenilik olarak ortaya çıkmıştır. Nanolifli filtreler, geniş yüzey alanları ve yüksek porozite özellikleri sayesinde daha küçük partikülleri ve zararlı gazları etkin bir şekilde yakalayabilmektedir. Yapılan araştırmalar, nanolifli filtrelerin PM2.5 ve daha küçük partiküllerin yanı sıra çeşitli toksik gazların, bakteri ve virüslerin filtrasyonunda yüksek verimlilik gösterdiğini doğrulamaktadır. Ayrıca, bu filtrelerin uzun vadeli kullanımı, hava kirliliğine bağlı sağlık risklerini azaltmada önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu çalışma nanolifli filtre teknolojisinin ve bu alanda yapılan yenilikçi çalışmaların geliştirilmesi ve uygulanmasının, hava kalitesini iyileştirme ve halk sağlığını koruma açısından kritik önem taşıdığını vurgulamaktadır. Bu teknolojinin yaygınlaştırılması, hava kirliliğinin olumsuz sağlık etkilerini hafifletmek ve daha sağlıklı yaşam ortamları oluşturmak için etkili bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, nanolifli hava filtrelerinin mevcut ve gelecekteki uygulamaları için çalışmalar sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Hava kirliliği, Hava filtreleri, Lifli filtreler, Elektret filtre

## 1. Introduction

The increasing global population, rapid urbanization and industrialization, widespread use of agricultural chemicals and harmful substances, and the rise in motor vehicle usage have led to significant environmental issues (Roser, 2023). Foremost among these issues is air pollution, which has become a global threat. Air quality is a critical factor that directly affects human health. According to the World Health Organization (WHO), approximately 10 million people die prematurely each year from diseases related to air pollution (e.g., pneumonia, chronic obstructive pulmonary disease, lung cancer). Of these deaths, 4.2 million are attributable to outdoor air pollution, while 3.8 million result from indoor air pollution (Kumar et al., 2023).

Air quality is determined by the concentrations of pollutants in the air, such as particulate matter (PM), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), sulfur oxides (SO<sub>x</sub>), carbon monoxide (CO), and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) (Năstase et al., 2018). Particulate matter (PM) comprises a mixture of solid and liquid particles, including carbon, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, soil particles, sea salt, and radioactive substances (Yadav & Devi, 2018). The chemical and physical properties of PM are related to particle size and emission source. The United States Environmental Protection Agency (USEPA) classifies PM as particles with diameters less than 1 µm (PM<sub>1</sub>), less than 2.5 µm (PM<sub>2.5</sub>), and less than 10 µm

(PM<sub>10</sub>) (Vijayan et al., 2015). Smaller particles, particularly PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub>, can easily penetrate the bronchi and lungs, causing chronic respiratory diseases such as lung cancer, asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), bronchitis, and cardiovascular diseases (Taneja et al., 2008).

A significant portion of the world's population resides in urban centers, spending most of their daily lives indoors. Indoor air quality is adversely affected by pollutants from outdoor air and inadequate ventilation (Yang et al., 2021). Indoor air comprises gases such as oxygen, nitrogen, carbon dioxide, and hydrogen, and the ratios of these gases determine indoor air quality. Indoor air pollution is influenced by factors including outdoor air quality, human activities, population density, materials used, and indoor design (Kumar & Kumar, 2012). Poor indoor air quality can lead to various health issues such as coughing, nosebleeds, breathing difficulties, eye irritation, headaches, stomach discomfort, and allergic reactions (Pichatwatana et al., 2017). Therefore, it is essential to remove or filter these particles from the air. Filtration involves passing air through filter surfaces with nano- or micropores to separate particulate matter. High-Efficiency Particulate Air (HEPA) or Ultra-Low Penetration Air (ULPA) filters are used in environments such as intensive care units, operating rooms, and patient areas in hospitals to filter the air (Schroth, 1996). Additionally, it is crucial for individuals working in high PM environments to use face masks.

Nonwoven surfaces with nano- and micropores are used in the production of filtration surfaces like filters and face masks to minimize the harmful effects of inhaled air.

Since the pore sizes on the surface formed by microfibers are very large, filtration efficiency is low. Capturing very small particles is not possible with traditional filters. This situation has led to the development of nanofiber filters as a solution to traditional filters. The pore sizes in nanofibrous surfaces are also at the nanoscale, making it possible to filter nanoparticles with these filters. Consequently, nanofibrous filters offer higher filtration efficiency than microfibrinous filters for air filtration. Filter surfaces composed of very fine nanofibers (below 65 nm) can achieve high solidity values through dense packing of nanofibers (Bui et al., 2022). This condition increases the pressure drop, causing the filter surface to clog quickly and preventing effective particle filtration, which hinders the easy passage of air through the filter surface (Barhate & Ramakrishna, 2007). To prevent rapid clogging of filter surfaces and high pressure drop values, filter surfaces combining nano- and microfibers are utilized (Gungor et al., 2022). In bimodal filter structures, the presence of both nano- and microfibers results in air flow values that span a wide Knudsen range, allowing easier air passage through the filter surface. The presence of mechanically stronger microfibers in the filter surface enhances mechanical durability. Using bimodal structures, filters with high filtration efficiency, low pressure drop, and high mechanical durability can be achieved (Lin et al., 2022). Early studies on bimodal filter structures in the literature are mainly based on simulations or theoretical calculations. Initial studies on bimodal fiber production were achieved using the melt blowing method. These studies demonstrated surfaces composed of “island-in-the-sea” type fibers obtained from two different polymers with varying melting temperatures and molecular weights, either extruded separately, from a single extruder, or converging at the die orifice (Soltani & Macosko, 2018). Additionally, there are studies in the literature where bimodal structures are

formed by layering thick fiber layers and thin fiber layers (Wang et al., 2017). Noteworthy studies in this area include those incorporating nanonets in their structure (Robert & Nallathambi, 2020). Furthermore, there are bimodal studies that combine electrospinning and melt blowing (MB) methods to create filter surfaces. These studies utilize various polymers. Fibrous surfaces produced from solutions can be made from synthetic polymers like polyvinylidene fluoride (PVDF), polyacrylonitrile (PAN), thermoplastic polyurethane (TPU), polyamide-6 (PA-6), polyamide-6.6 (PA-6.6), polyvinyl alcohol (PVA), polytetrafluoroethylene (PTFE), or from naturally derived polymeric materials such as gelatin, collagen, chitosan, carboxymethyl cellulose (Han et al., 2017). Fibrous surfaces obtained from melts using the MB method can be produced from various thermoplastic polymers like polyester (PET), polypropylene (PP), polybutylene terephthalate (PBT), polylactic acid (PLA), or naturally derived materials such as glass wool (Kilic et al., 2015).

In this study, air pollution and air pollutants will be mentioned and the filtration performance and applications of nanofibrous air filters will be examined. After the production processes and structural features of nanofibrous filters, bimodal filters and electret filters are explained, the effectiveness of these filters on PM<sub>2.5</sub> will be evaluated with experimental data. Additionally, the potential health benefits of long-term use of these filters and their advantages over existing filter systems will be analyzed. Finally, the role of widespread use of innovative filters in improving air quality will be discussed.

## 2. Air Pollution

All gases, particles, and microorganisms that degrade overall air quality and harm human health are generally referred to as pollutants. Multiple factors contribute to the formation of pollutants, including outdoor air, materials used in the environment, human density and activities, design and equipment, cleaning agents, temperature, humidity, and HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) systems. To prevent air pollution,

it is essential first to eliminate the sources of pollution and then to clean the air and the environment. Unless the source of pollution is entirely eradicated, pollutants will continue to recur even if they are temporarily removed from the environment. Air quality can be improved through natural ventilation achieved by using breathable walls in buildings. To fully ensure air quality, it is crucial to have detailed knowledge about pollutants. This section examines pollutants under two main headings.

### 2.1 Particle pollutants

Industrial activities, fossil fuel consumption, materials used in indoor design and equipment, HVAC systems, building materials, carpets, furniture, and office supplies interact with outdoor air, leading to the formation of particulate matter (PM) and indoor air pollution. PM refers to a mixture of solid particles and liquid droplets suspended in the air (Chuang et al., 2014). These particles vary widely in size; while particles such as dust, smoke, and soot are visible to the naked eye, much smaller particles can only be observed with a microscope. The size of the particles is crucial concerning their health effects. Fine particles can penetrate deeper into the lungs and may contain organic matter and heavy metals. The atmospheric lifespan of particles varies by size; PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub> particles can remain airborne for extended periods, whereas PM<sub>10</sub> particles settle quickly (Li et al., 2015).

Outdoor sources of PM include construction activities, dust emissions, and fossil fuel usage. In residential areas, transportation plays a significant role in increasing PM<sub>2.5</sub> levels. Gasoline and diesel engines emit approximately 1 kg and 1.5 kg of particulate matter per cubic meter of fuel consumed, respectively, with 80% of these particles being smaller than 1 µm (Toptaş et al., 2021). Outdoor PM can be transported indoors by airflows, and indoor sources of PM include tobacco use, burning candles or incense, wood or coal burning, and cooking activities (especially grilling or frying). A significant portion of smoke consists of respirable particles small

enough to remain in the lungs.

Particulate matter comprises a mixture of organic and inorganic substances, including aromatic hydrocarbon compounds, heavy metals, nitrates, and sulfates (Ravindra et al., 2001). Considering these PM sources, indoor air quality may vary periodically. Particularly during periods of high fuel consumption, increased traffic, and construction activities, indoor air quality is expected to deteriorate. Due to the different formation mechanisms of PM, their content and health effects also vary. PM can contain toxic elements and semi-volatile organic compounds, posing significant health risks. Inhaled PM can cause respiratory irritation, allergies, and asthma, while asbestos fibers can accumulate in the lungs, leading to asbestosis and cancer (Rouf et al., 2022). The health effects of PM depend on particle size, concentration, physical and chemical properties, and exposure duration. The concentration of PM and exposure time in the air determines air quality.

### 2.2 Bioaerosols

Bioaerosols are a general term for airborne organic materials of biological origin, such as bacteria, fungi, viruses, pollen, algae, flies, and insects. Microbiological organisms that contribute to air pollution and facilitate disease transmission fall under the category of bioaerosols. These organisms can be classified as either single-celled or multicellular. Bioaerosols may include species that can cause disease or act merely as carriers (Li et al., 2017).

Bioaerosols typically thrive and spread in dirty, wet, and humid environments, including ceilings, furniture, and carpets. Additionally, ventilation systems such as air conditioners, steam-producing sources, beds, and pets can also be sources of bioaerosols. They can be transported from the external environment through air or inanimate objects and can also be carried as parasites on living organisms. Under suitable environmental conditions, millions of bioaerosols can form in a short period (Moon et al., 2014).

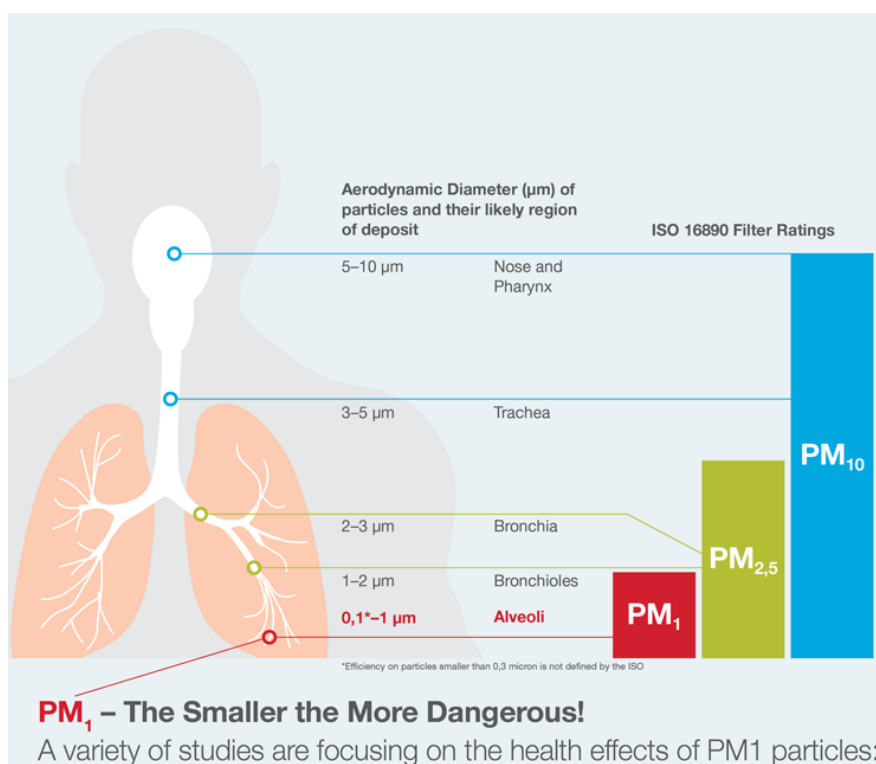
Bioaerosols can cause poisoning, allergies, and infectious diseases in humans.

The type and severity of the diseases caused by bioaerosols in humans depend on various factors such as the individual's immune level, the microorganisms' resistance to defense mechanisms, and air quality. Preventive measures to protect against bioaerosols should be implemented both at the individual level and by eliminating these aerosols from the environment (Zhang, 2004). Regular cleaning and maintenance of the filters and ducts of ventilation systems are essential to prevent the formation and proliferation of these microorganisms.

### 2.3 Effects of indoor air quality on health and performance

Air quality is a critical factor that significantly impacts human health and performance. Industrialization, increased vehicle traffic, and environmental factors can adversely affect air quality, thereby influencing individuals' health and performance. Consequently, air pollution and air quality are actively researched and addressed topics in the fields

of medicine and environmental sciences. Air pollution is a problem caused by the emission of various pollutants into the atmosphere. These pollutants include particulate matter (PM), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), carbon monoxide (CO), ozone (O<sub>3</sub>), and volatile organic compounds (VOCs). As shown in Figure 2.1, in particular, PM1 particles can cause inflammation and oxidative stress in lung tissues, causing damage to cells and deterioration in lung functions. This can trigger the development of respiratory diseases such as chronic bronchitis, asthma and COPD, or cause existing diseases to worsen. Additionally, these fine particles can pass from the respiratory system to the circulatory system, increasing the risk of cardiovascular disease and increasing the risk of heart attack and stroke. PM1 particles may increase the risk of lung cancer by causing DNA damage in lung tissue. It can disrupt the gas exchange process by damaging the alveolar walls, and disrupt the functioning of the immune system by interacting with immune cells, reducing resistance to infections and increasing the risk of infection (Maurya, 2019).



**Figure 2.1.** Locations accessible to PMs in the respiratory system (Maurya, 2019).

Air pollution is a particularly pronounced issue in large cities and industrial areas. Emissions from human activities such as vehicle emissions, industrial facilities, energy production, and domestic heating can significantly affect air quality. The release of these pollutants into the atmosphere can form clouds and enter the body through respiration. The effects of air pollution on human health are varied. Particulate matter can cause respiratory infections and diseases, while ozone can lead to asthma attacks and breathing difficulties. Nitrogen dioxide and sulfur dioxide can cause lung damage and cardiovascular diseases. Volatile organic compounds (VOCs) increase the risk of respiratory diseases and cancer. Air pollution affects not only physical health but also mental health and performance. Inhaling polluted air can cause symptoms such as mental fog, headaches, and fatigue, which can distract individuals and negatively impact their performance.

Research by the United Nations has revealed that 88% of people who spend a significant amount of time indoors experience various adverse effects associated with poor indoor air quality. Deteriorated indoor air quality not only harms individual health but also negatively affects personal performance and productivity of workers. Indoor air quality is defined by the United States Environmental Protection Agency (USEPA) as air that does not contain harmful concentrations at specified levels and where 80% of the people do not express dissatisfaction (EPA, 1997) of a healthy working environment.

It is important to note that health, comfort, and performance factors during work hours are critical not only for employees but also for employers. To ensure an efficient work environment, it is essential to provide employees with a healthy and comfortable indoor space. Cost-benefit analyses indicate that expenditures to improve indoor air quality can yield long-term benefits. One study observed that when the concentration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), a common indoor air pollutant, was at 600 ppm, decision-making performance

saw a moderate and statistically significant decline at 1000 ppm and a more pronounced decline at 2500 ppm (Satish et al., 2012). In a study by Wargocki et al., the impact of changes in indoor air quality on the performance of 10-12-year-old students was examined in classrooms that provided 100% outdoor air intake and were mechanically ventilated. An increase in student performance was observed with changes in the outdoor air supply rate, demonstrating that indoor air quality has a significant effect on students' learning and performance (Wargocki & Wyon, 2013).

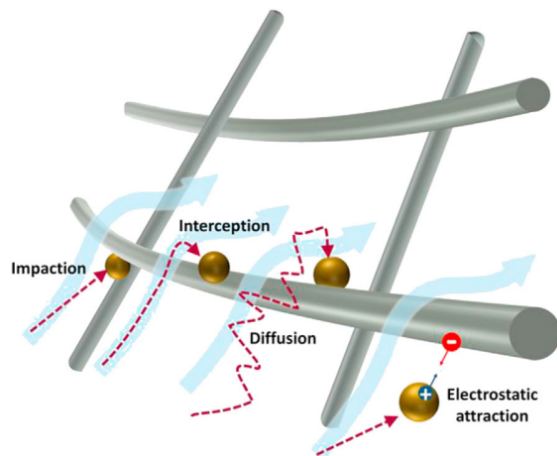
### 3. Air Filters

The filter surface is an advanced nonwoven textile product designed to filter a wide range of particles from the air flow, including microorganisms, fine dust, and pollen [52]. Achieving air quality with minimal concentrations of airborne particles, microorganisms, fine dust, and pollen in indoor environments is a goal of both academic and industrial significance. The increasing number of pandemic cases, environmental pollution, and the high demand for clean rooms and operating theaters have triggered significant growth in the filtration industry. Due to their high surface area-to-volume ratio, flexibility, small pore size, and controllable pore structure, nanofibrous surfaces are in high demand for various applications, including filtration, sensors, tissue engineering, wound dressings, energy generation and storage, and protective materials (Tayyab et al., 2020).

Nanofibrous surfaces are produced using various methods. These methods are fundamentally divided into two categories based on obtaining fibrous surfaces from polymer melts or solutions where polymers are dissolved in appropriate solvents at specific ratios. The melt blowing method is the most preferred technique for the industrial-scale production of fibrous surfaces with micron-level diameters. Methods such as electrospinning, solution blowing, centrifugal spinning, and electro-blowing are particularly favored for laboratory-scale production and research purposes.

### 3.1 Types of air filters and filtration media

Filtration media can be defined as environments that filter particles from air or other gases through a nanofibrous surface and a depth filtration layer in the reverse direction. This layer comprises a nanofibrous surface and a pre-filter surface where the nanofibrous surface comes into contact with the fluid during flow. Nonwoven fabrics, especially those made from melt-blown fibers, are used for pre-filtration. The determination of the filtration media type is generally dependent on the flow of the fluid with which the particles come into contact. It is categorized into two classes: depth filtration and surface filtration media. For depth filtration, particles tend to accumulate in the filter medium and penetrate into the network. In contrast, surface filtration collects particles on the surface of the network. It is known that spunbond or melt-blown webs, felts, and fabrics made from a variety of materials such as polyester (PET), polypropylene (PP), aramid, cellulose, and glass are used as filter media in depth filtration environments (Leung & Choy, 2018). The use of a static electric charge on the depth filtration media enhances the filtration efficiency of the melt-blown medium. The electrostatic filtration mechanism, as shown in Figure 3.1, is a system based on electrically charged particles to dramatically increase collection efficiency for a given pressure drop across the filter (Leung & Sun, 2020).



**Figure 3.1.** Filtration mechanism (Han et al., 2021)

Membrane is a type of surface filter that has become increasingly popular in certain applications such as liquid filtration involving liquid aerosols or harsh chemicals. They can be utilized in various fields due to their consistent filtration efficiencies. The filtration efficiency of a membrane is not dependent on the cake layer formed due to dust particles. Compared to depth filtration media, membranes may exhibit relatively high pressure drop and low dust capacity (Vijayan et al., 2015). Air filters composed of nanofibers can capture small particles more easily and experience less pressure drop due to the very small diameters of the fibers forming the structure. Decreasing fiber diameters positively affects the pore size distribution on the randomly formed surface of the fibers, leading to changes in the passing airflow, thereby reducing the pressure drop between the two sides of the filter and positively affecting pressure change (Yilmaz et al., 2011). While smaller fiber sizes lead to higher pressure drop, the interception and inertial effects compensate for the increase in pressure drop. Thus, for particle sizes above and below the micron level, better filtration efficiency can be achieved at the same pressure drop, or conversely, the same filtration efficiency can be achieved with smaller fiber sizes at lower pressure drop.

### 3.2 Performance criteria of air filters

Air filters are widely used in areas concerning human health (such as face masks and indoor air purifiers) and in places where low aerosol concentration is required (e.g., cleanrooms and sensitive instrument manufacturing facilities), hence, the most valued aspect is the effectiveness of filters. Filtration efficiency is defined as the ratio of particles collected by the filter, i.e., the ratio of the difference in number concentrations of particles between the upstream and downstream of the filter to the upstream concentration of the filter (Tang et al., 2017). This is expressed in Equation 1:

$$\eta = 1 - C_{down}/C_{up} \quad (1)$$

Here,  $\eta$  represents filtration efficiency,  $C_{\text{down}}$  represents the downstream particle concentration and  $C_{\text{up}}$  represents the upstream particle concentration. The mathematical expression for the quality factor (QF), which evaluates the quality of the filter sample considering both  $\eta$  and  $\Delta P$  (pressure drop), is given by Equation 2 (Givehchi et al., 2016).

$$QF = -\frac{\ln(1-\eta)}{\Delta P} \quad (2)$$

#### 4. Innovative Air Filters

Nanofibrous filters, electret air filters, and bimodal structures have emerged as significant components in the production of innovative air filters. Nanofibers offer effective particle capture capabilities due to their high surface areas and fine structures. These fibers are produced using methods such as electrospinning, solution blowing, centrifugal spinning, and electro-blowing, providing high efficiency in air filters through their micro-scale pore structures. Nanofibers play a critical role, particularly in filtering PM2.5 and smaller particles.

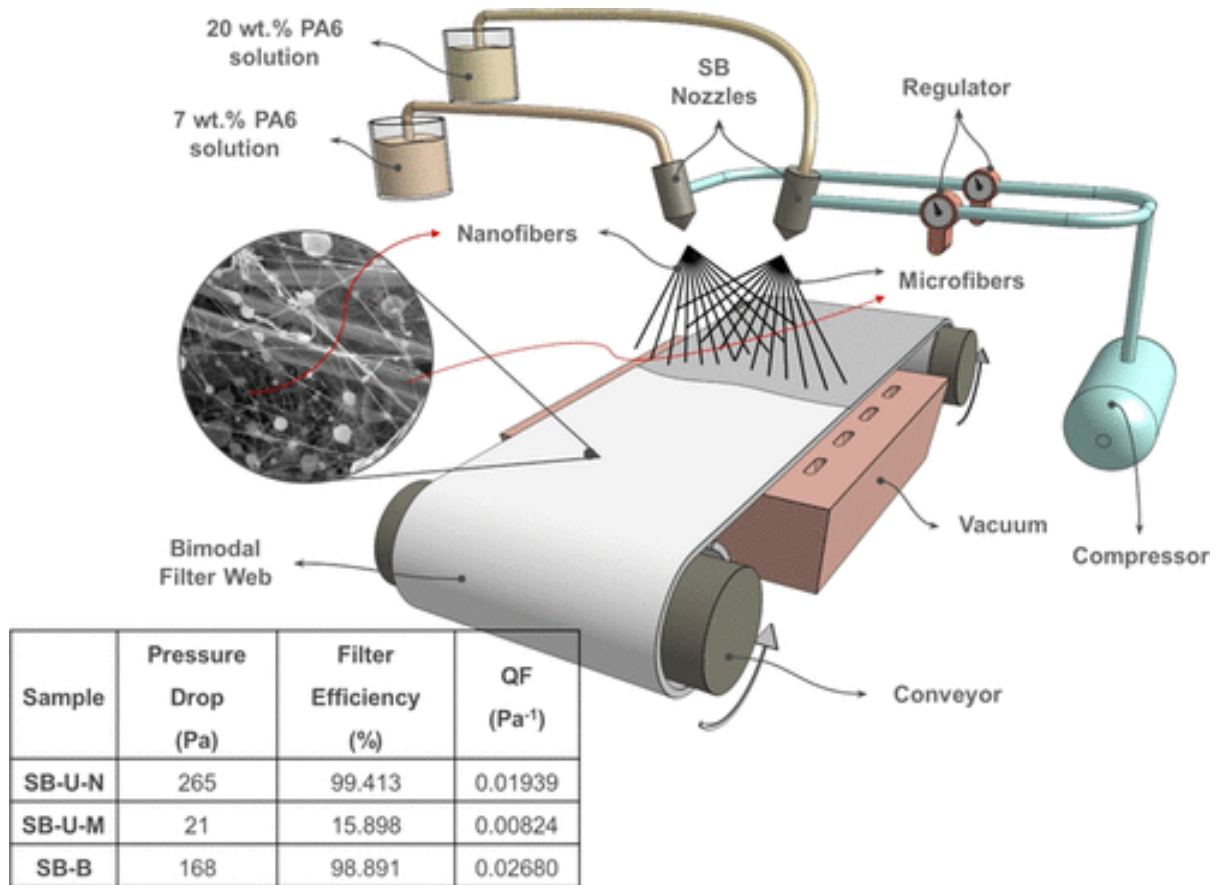
Electret air filters enable particle capture through electrostatic attraction using materials with permanent electric charges. These filters have advantages such as low pressure drop and high filtration efficiency. As electret materials can retain electric charges for extended periods, filters of this type may have longer lifespans compared to traditional mechanical filters. The performance of electret filters depends on the dielectric properties of the materials used and the distribution of electric charges.

Bimodal structures are created by combining two different filter layers to capture particles of different sizes and properties, or by uniformly distributing fibers with two dif-

ferent average diameters in one layer. These structures provide effective filtration across a wide range of particle sizes. Typically, the first layer in bimodal filters is designed to capture large particles, while the second layer targets smaller particles. This dual-layered structure enhances overall filter performance while minimizing pressure drop.

When nanofibers, electret air filters, and bimodal structures are used together, they can significantly enhance the effectiveness and efficiency of air filtration systems. The high surface area and fine pore structure of nanofibers, when combined with the electrostatic capture capability of electret filters, can achieve high filtration efficiency across a broad range of particle sizes. Meanwhile, bimodal structures support the multi-stage filtration capabilities of these systems by effectively capturing both large and small particles. These innovative approaches hold great potential for improving air quality and reducing adverse health effects.

In studies conducted within this scope, the filtration efficiencies of nanofibrous surfaces obtained by spraying PA6 solution on the same surface with different concentrations using two solution-blowing nozzles have been investigated as shown in Figure 4.1. The quality factors of bimodal fibrous filter surfaces obtained by homogeneously depositing nanofibers obtained with a 7 wt % solution and microfibers obtained with a 20 wt % solution on the same surface were much higher than those obtained from surfaces with only nanofibers or only microfibers. This demonstrates the impact of bimodal fibrous surfaces on filter performance (Gungor et al., 2022).



**Figure 4.1.** Bimodal fibrous study (Gungor et al., 2022)

In another study, filters with nanofiber/nanonet structures were produced using the electro-blowing method from solutions containing different ratios of PVDF and polyethylene glycol (PEG) polymers. In this study, it was found that increasing the content of water-soluble, low-molecular-weight PEG in the solution and applying a water bath process to remove the PEG from the structure, as designed uniquely within the scope of this thesis, resulted in reduced fiber diameters and more porous structures. The PVDF (3:7) sample with the highest PEG content exhibited structures resembling nanofiber/nanonets arranged in clusters with average diameters of around 170 nm and 50 nm. The filtration efficiency of this developed sample showed a 3.6% increase in value after the corona discharge process, and a 60% improvement in the quality factor. Consequently, as shown in Figure 4.2, the PVDF (3:7) sample demonstrated the successful production of nanofiber-based filters

with a very high  $\eta$  value (99.57%), a significantly low  $\Delta P$  (158 Pa), and thus a preferred quality factor (QF) of 0.0345 (Toptaş et al., 2023).

In another study, bimodal filters were obtained through the homogeneous distribution or layered use of nano- and microfibers on the filter surface. The effect of bimodal structural design was investigated by comparing the filtration performances of various layer configurations and different diameter fibers produced by melt blowing (MB), solution blowing (SB), and electro-blowing (EB) methods (Figure 4.3). While maintaining the basis weight of the filter samples at 30 gsm, the use of four-layer (4L) structures resulted in increased air permeability compared to single-layer samples (L). The 4L sample thus created had a pressure drop value of 148 Pa and the highest filtration efficiency (99.52%).



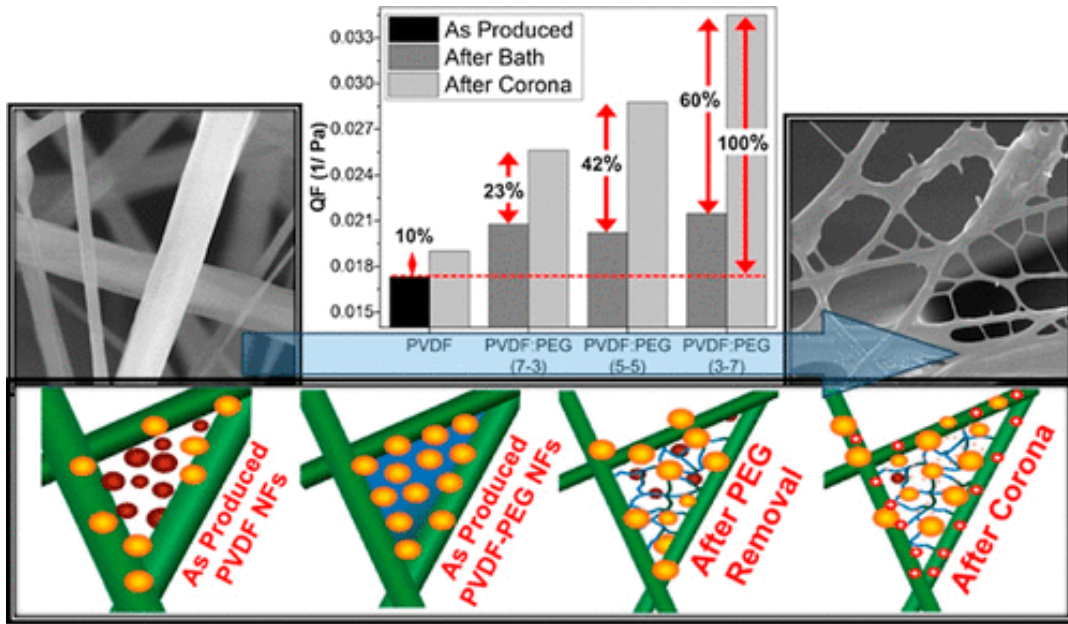


Figure 4.2. The effect of nanonet structures on filter performance (Toptaş et al., 2023)

Furthermore, replacing the MB layer in the 4L structure with a bimodal surface (BM) layer obtained by homogeneously incorporating SB nanofibers into the MB increased the filtration efficiency to 99.61% while  $\Delta P$  remained almost the same. The application of corona discharge treatment to the filter surface produced by melt blowing using PVDF

masterbatch resulted in the highest filtration efficiency (99.99%) in the 4BML sample with a bimodal structure. Even after one month, the filtration efficiency of these samples remained at 99.90%, demonstrating that bimodal fiber distribution provided the highest advantage in electret filters (Toptaş et al., 2024).

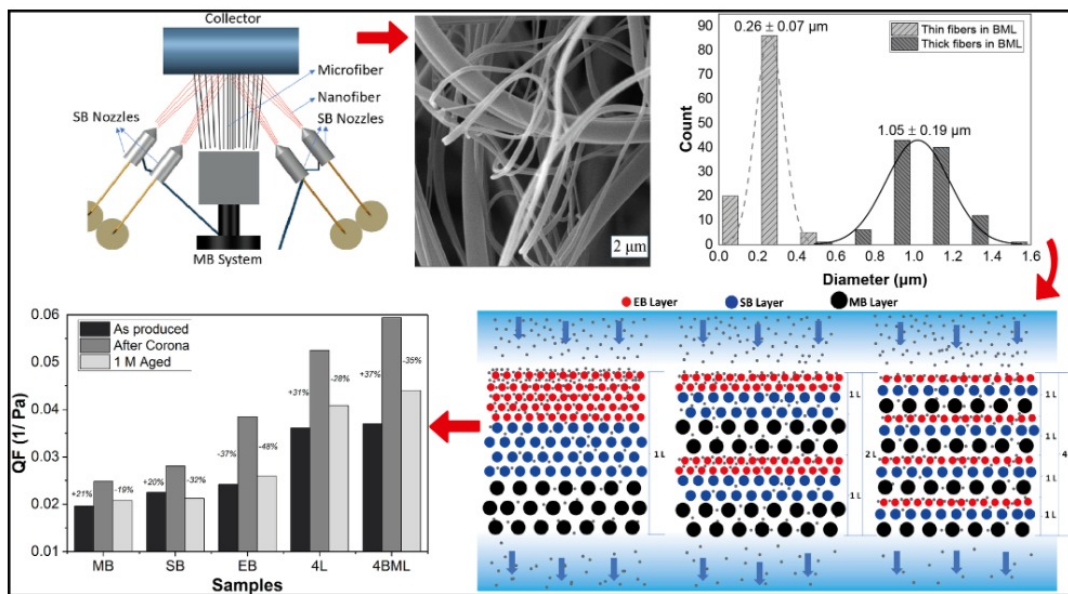


Figure 4.3. The effect of bimodal and electret structures on filter performance (Toptaş et al., 2024).

Studies show that electret filters provide effective filtration for much longer periods of time. Although they showed very high filtration values at first, filtration efficiency may decrease over time as a result of relaxation, the presence of moisture in the air and blockages. Compared to traditional filters, they still exhibit high filtration performance for months. In the study conducted by Zhang et al., this result was demonstrated by showing 98.5% filtration efficiency even after 2 months (Zhang et al., 2020).

## 5. Conclusion

The increasing population and rapid industrial development have led to a growing need for clean air, and the use of filters plays a significant role in purifying the air. Since the fibers called traditional filters are at the micron level, the size of these filters is larger and they are insufficient to detect PM<sub>2.5</sub> and smaller diseases that are dangerous to human health. In filter applications, the preference


for the use of nanofibrous surfaces for mask purposes is largely attributed to the low pressure drop and high filtration efficiency, which enable comfortable breathing. In this context, this study highlights the importance of using ultrafine nanofibers, bimodal filter surfaces obtained by combining thin and thick fibers, and electret filters in air filtration. The bimodal structure consisting of nano- and microfibers creates new airflow channels by dispersing fine nanofibers within the thick fibers, resulting in increased porosity. This enhances filtration efficiency without significant increase in pressure drop, indicating more effective use of the filter. This success not only substantially reduces the pressure drop value that filter surfaces should have but also enhances the mechanical strength of the filter surfaces due to the microfibers contained in the structure. This makes nanofibrous filters used in mask applications more comfortable for users and allows for effective filtration of particles.


## References

- Barhate RS., Ramakrishna S. (2007). Nanofibrous filtering media: Filtration problems and solutions from tiny materials, *Journal of Membrane Science*, 296(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.03.038>
- Bui TT., Shin MK., Jee SY., Long DX., Hong J., Kim MG. (2022). Ferroelectric PVDF nanofiber membrane for high-efficiency PM<sub>0.3</sub> air filtration with low air flow resistance, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 640, 128418. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128418>
- Chuang YH., Hong GB., Chang CT. (2014). Study on particulates and volatile organic compounds removal with TiO<sub>2</sub> nonwoven filter prepared by electrospinning, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64(6), 738–742. <https://doi.org/10.1080/10962247.2014.889614>
- Givhechi R., Li Q., Tan Z. (2016). Quality factors of PVA nanofibrous filters for airborne particles in the size range of 10–125 nm, *Fuel*, 181, 1273–1280. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.12.010>
- Gungor M., Selcuk S., Toptaş A., Kilic A. (2022). Aerosol Filtration Performance of Solution Blown PA6 Webs with Bimodal Fiber Distribution, *ACS Omega*, 7(50), 46602–46612. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05449>
- Han S., Kim J., Ko SH. (2021). Advances in air filtration technologies: Structure-based and interaction-based approaches, *Materials Today Advances*, 9, 100134. <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2021.100134>
- Han W., Xie S., Sun X., Wang X., Yan Z. (2017). Optimization of airflow field via solution blowing for chitosan/PEO nanofiber formation, *Fibers and Polymers*, 18(8), 1554–1560. <https://doi.org/10.1007/s12221-017-7213-9>
- Kilic A., Shim E., Pourdeyhimi B. (2015). Electrostatic Capture Efficiency Enhancement of Polypropylene Electret Filters with Barium Titanate, *Aerosol Science and Technology*, 49(8), 666–673. <https://doi.org/10.1080/02786826.2015.1061649>
- Kumar P., Singh AB., Arora T., Singh S., Singh R. (2023). Critical review on emerging health effects associated with the indoor air quality and its sustainable management, *Science of The Total Environment*, 872, 162163. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162163>
- Kumar S., Kumar R. (2012). *Air Quality: Monitoring and Modeling*. BoD – Books on Demand.
- Leung WWF., Sun Q. (2020). Electrostatic charged nanofiber filter for filtering airborne novel coronavirus (COVID-19) and nano-aerosols, *Separation and Purification Technology*, 250, 116886. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116886>
- Leung WWF., Choy HF. (2018). Transition from depth to surface filtration for a low-skin effect filter subject to continuous loading of nano-aerosols, *Separation and Purification Technology*, 190, 202–210. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.08.060>
- Li Y., Chen Q., Zhao H., Wang L., Tao R. (2015). Variations in PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1.0</sub> in an Urban Area of the Sichuan Basin and Their Relation to Meteorological Factors, *Atmosphere*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/atmos6010150>
- Li Y., Lu R., Li W., Xie Z., Song Y. (2017). Concentrations and size distributions of viable bioaerosols under various weather conditions in a typical semi-arid city of Northwest China, *Journal of Aerosol Science*, 106, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2017.01.007>

- Lin S., Fu X., Luo M., Zhong WH. (2022). Tailoring bimodal protein fabrics for enhanced air filtration performance, *Separation and Purification Technology*, 290, 120913. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120913>
- Maurya R. (2019, December 27). *Are PM1 Particles More Dangerous than We Think?* H<sub>2</sub>S Media. <https://www.how2shout.com/news/are-pm1-particles-are-more-dangerous-than-we-think.html>
- Moon KW., Huh EH., Jeong HC. (2014). Seasonal evaluation of bioaerosols from indoor air of residential apartments within the metropolitan area in South Korea, *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(4), 2111–2120. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3521-8>
- Năstase G., Șerban A., Năstase AF., Dragomir G., Brezeanu AI. (2018). Air quality, primary air pollutants and ambient concentrations inventory for Romania, *Atmospheric Environment*, 184, 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.034>
- Öztürk S., Gerçek D., Güven İT., Gaga E., Üzmez ÖÖ., Ci van M. (2021). Kocaeli İzmit İlçesi'nde Partikül Madde (PM<sub>2.5</sub>) Konsantrasyon Seviyeleri, Mekânsal ve Mevsimsel Değerlendirilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.21923/jesd.888896>
- Pichatwatana K., Wang F., Roaf S., Anunnathapong M. (2017). An integrative approach for indoor environment quality assessment of large glazed air-conditioned airport terminal in the tropics, *Energy and Buildings*, 148, 37–55. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.007>
- Ravindra Mittal AK., Van Grieken R. (2001). Health Risk Assessment of Urban Suspended Particulate Matter with Special Reference to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Review, *Reviews on Environmental Health*, 16(3). <https://doi.org/10.1515/REVEH.2001.16.3.169>
- Robert B., Nallathambi G. (2020). A concise review on electrospun nanofibres/nanonets for filtration of gaseous and solid constituents (PM<sub>2.5</sub>) from polluted air, *Colloid and Interface Science Communications*, 37, 100275. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2020.100275>
- Roser M. (2023). Data review: *How many people die from air pollution?* Our World in Data. <https://ourworldindata.org/data-review-air-pollution-deaths>
- Rouf Z., Dar IY., Javadi M., Dar MY., Jehangir A. (2022). Volatile Organic Compounds Emission from Building Sector and Its Adverse Effects on Human Health, In J. A. Malik & S. Marathe (Eds.), *Ecological and Health Effects of Building Materials* (pp. 67–86). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76073-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76073-1_5)
- Satish U., Mendell MJ., Shekhar K., Hotchi T., Sullivan D., Streufert S., Fisk WJ. (2012). Is CO<sub>2</sub> an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO<sub>2</sub> Concentrations on Human Decision-Making Performance, *Environmental Health Perspectives*, 120(12), 1671–1677. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104789>
- Schroth T. (1996). New HEPA/ULPA filters for clean-room technology, *Filtration & Separation*, 33(3), 245–244. [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(97\)84285-1](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(97)84285-1)
- Soltani I., Macosko CW. (2018). Influence of rheology and surface properties on morphology of nanofibers derived from islands-in-the-sea meltblown nonwovens, *Polymer*, 145, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.04.051>
- Taneja A., Saini R., Masih A. (2008). Indoor Air Quality of Houses Located in the Urban Environment of Agra, India, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1140(1), 228–245. <https://doi.org/10.1196/annals.1454.033>
- Tang M., Hu J., Liang Y., Pui DY. (2017). Pressure drop, penetration and quality factor of filter paper containing nanofibers, *Textile Research Journal*, 87(4), 498–508. <https://doi.org/10.1177/0040517516631318>
- Tayyab M., Wang J., Wang J., Maksutoglu M., Yu H., Sun G., Yildiz F., Eginligil M., Huang W. (2020). Enhanced output in polyvinylidene fluoride nanofibers based triboelectric nanogenerator by using printer ink as nano-fillers, *Nano Energy*, 77, 105178. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105178>
- EPA (1997). The Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of the United States: National sediment quality survey, Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency.
- Toptas A., Calisir MD., Gungor M., Kilic A. (2024). Enhancing filtration performance of submicron particle filter media through bimodal structural design, *Polymer Engineering & Science*, 64(2), 901–912. <https://doi.org/10.1002/pen.26593>
- Toptas A., Çalışır MD., Kılıç A. (2023). Production of Ultrafine PVDF Nanofiber-/Nanonet-Based Air Filters via the Electroblowing Technique by Employing PEG as a Pore-Forming Agent, *ACS Omega*, 8(41), 38557–38565. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c05509>
- Vijayan VK., Paramesh H., Salvi SS., Dalal AAK. (2015). Enhancing indoor air quality –The air filter advantage, *Lung India : Official Organ of Indian Chest Society*, 32(5), 473–479. <https://doi.org/10.4103/0970-2113.164174>
- Wang J., Zhao W., Wang B., Pei G., Li C. (2017). Multilevel-layer-structured polyamide 6/poly(trimethylene terephthalate) nanofibrous membranes for low-pressure air filtration, *Journal of Applied Polymer Science*, 134(16). <https://doi.org/10.1002/app.44716>
- Wargoeki P., Wyon DP. (2013). Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective, *Building and Environment*, 59, 581–589. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.007>
- Yadav I., Devi N. (2018). *Biomass Burning, Regional Air Quality, and Climate Change*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11022-X>
- Yang Z., Song Q., Li J., Zhang Y., Yuan XC., Wang W., Yu Q. (2021). Air pollution and mental health: The moderator effect of health behaviors, *Environmental Research Letters*, 16(4), 044005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe88f>
- Yilmaz ND., Banks-Lee P., Powell NB., Michielsen S. (2011). Effects of porosity, fiber size, and layering sequence on sound absorption performance of needle-punched nonwovens, *Journal of Applied Polymer Science*, 121(5), 3056–3069. <https://doi.org/10.1002/app.33312>
- Zhang H., Liu N., Zeng Q., Liu J., Zhang X., Ge M., Zhang W., Li S., Fu Y., Zhang Y. (2020). Design of Polypropylene Electret Melt Blown Nonwovens with Superior Filtration Efficiency Stability through Thermally Stimulated Charging, *Polymers*, 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/polym12102341>
- Zhang Y. (2004). *Indoor Air Quality Engineering*. CRC Press.

## Sustainable Reuse of Food Waste in the Democratic Republic of the Congo for Biocomposite Reinforcement

Alif Ngimbi DIAMBU<sup>1</sup>   
anasrouline1@gmail.com

Mehmet ÇEVİK<sup>2\*</sup>   
mehmet.cevik@ikc.edu.tr

<sup>1</sup>İzmir Kâtip Çelebi University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences,  
Department of Mechanical Engineering, İzmir, Türkiye  
<sup>2</sup>İzmir Kâtip Çelebi University, Department of Mechanical Engineering, İzmir, Türkiye

Arrival Date: 07.06.2024 / Accepted Date: 17.06.2024


### Abstract


This study explores the innovative use of biocomposites as a sustainable solution to waste proliferation in the Democratic Republic of the Congo (DRC), the largest sub-Saharan African country by area. The DRC faces significant environmental challenges due to the high prevalence of organic waste (48% of total waste) and plastic waste (26%). Our research addresses critical waste management issues, contributing to economic growth and public health improvements by recycling and reusing these materials. This study is unique in its focus on using inedible food waste as reinforcement in biocomposites, highlighting the untapped potential for sustainable waste management and circular economy practices in the DRC.

Optimal performance of biocomposites requires extensive research into the thermogravimetric behavior of materials and their environmental interactions. Techniques such as Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) are essential for understanding the chemical properties and enhancing the interface between biocomposite components. The recyclability of biocomposites adds another layer of sustainability, allowing materials to be reprocessed for various applications. Our study also emphasizes the importance of public participation and the need for strategic international partnerships with organizations like the World Bank, UNDP, UNEP, and AfDB to enhance waste management capacity and infrastructure. By leveraging these innovative approaches and securing goodwill from governing bodies, the DRC can move towards a greener and more sustainable future, contributing to environmental quality, economic prosperity, and social equity.

**Keywords:** Biocomposites, circular economy, Democratic Republic of the Congo, inedible food waste, sustainable waste management, waste recycling

## Demokratik Kongo Cumhuriyeti'nde Gıda Atıklarının Biyokompozit Takviyesi için Sürdürülebilir Yeniden Kullanımı

Alif Ngimbi DIAMBU<sup>1</sup>   
anasrouline1@gmail.com

Mehmet ÇEVİK<sup>2\*</sup>   
mehmet.cevik@ikc.edu.tr

<sup>1</sup>İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye  
<sup>2</sup>İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Geliş Tarihi: 07.06.2024 / Kabul Tarihi: 17.06.2024

## Özet

Bu çalışma, alan bakımından Sahra Altı Afrika'nın en büyük ülkesi olan Demokratik Kongo Cumhuriyeti'nde (DKC), atık artışına karşı sürdürülebilir bir çözüm olarak biyokompozitlerin yenilikçi kullanımını araştırmaktadır. DKC, organik atıkların (toplam atığın %48'i) ve plastik atıkların (%26) yaygınlığı nedeniyle önemli çevresel zorluklarla karşı karşıyadır. Araştırmamız, bu malzemelerin geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması yoluyla kritik atık yönetimi sorunlarını ele alarak ekonomik büyümeye ve halk sağlığının iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma, yenmeyen gıda atıklarının biyokompozitlerde takviye olarak kullanılmasına odaklanması açısından özgün olup, DKC'de sürdürülebilir atık yönetimi ve döngüsel ekonomi uygulamaları için kullanılmayan potansiyeli vurgulamaktadır.

Biyokompozitlerin optimum performansı, malzemelerin termogravimetrik davranışları ve çevresel etkileşimleri üzerine kapsamlı araştırmalar gerektirir. Fourier-Transform Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) gibi teknikler, kimyasal özellikleri anlamak ve biyokompozit bileşenleri arasındaki arayüzü geliştirmek için gereklidir. Biyokompozitlerin geri dönüştürülebilirliği başka bir sürdürülebilirlik katmanı ekleyerek malzemelerin çeşitli uygulamalar için yeniden işlenmesine olanak tanır. Çalışmamız ayrıca atık yönetimi kapasitesini ve altyapısını geliştirmek için halk katılımının önemini ve Dünya Bankası, UNDP, UNEP ve AfDB gibi kuruluşlarla stratejik uluslararası ortaklıklara duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Bu yenilikçi yaklaşımlardan yararlanarak ve yönetim organlarının iyi niyetini güvence altına alarak DKC, çevre kalitesine, ekonomik refaha ve sosyal eşitliğe katkıda bulunarak daha yeşil ve daha sürdürülebilir bir geleceğe doğru ilerleyebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık geri dönüşümü, biyokompozitler, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, döngüsel ekonomi, sürdürülebilir atık yönetimi, yenmeyen gıda atıkları

### 1. Introduction

The Democratic Republic of the Congo (DRC), the largest sub-Saharan African country by area and the 11th largest in the world, is experiencing significant challenges in managing its solid waste, exacerbated by rapid urbanization and population growth. This issue is particularly pronounced in developing countries like the DRC, where inadequate waste management practices lead to severe environmental and public health consequences, including pollution of natural resources and long-term health problems. The ineffective handling of waste in the DRC underscores the need for sustainable solutions that can transform waste into valuable resources.

Despite some progress in global waste management, a substantial gap remains in the reduction and recycling of household waste in developing countries compared to their developed counterparts. Plastic is more in

demand in emerging and especially in poor countries. This is illustrated by the International Energy Agency, which compares the average annual plastic consumption of an African and an American to be approximately 4 kg and 60 g, respectively. Indeed, plastic is relatively cheaper than other materials, and it is both highly durable and lightweight (Ipsesa, 2019). In Kinshasa, approximately 60 Non-Governmental Organizations (NGOs), funded by various agencies including an affiliate of the Ministry of Finance and the City Hall of Kinshasa, are involved in cleaning and recycling efforts, particularly targeting plastic packaging and other urban waste (Ipsesa, 2019).

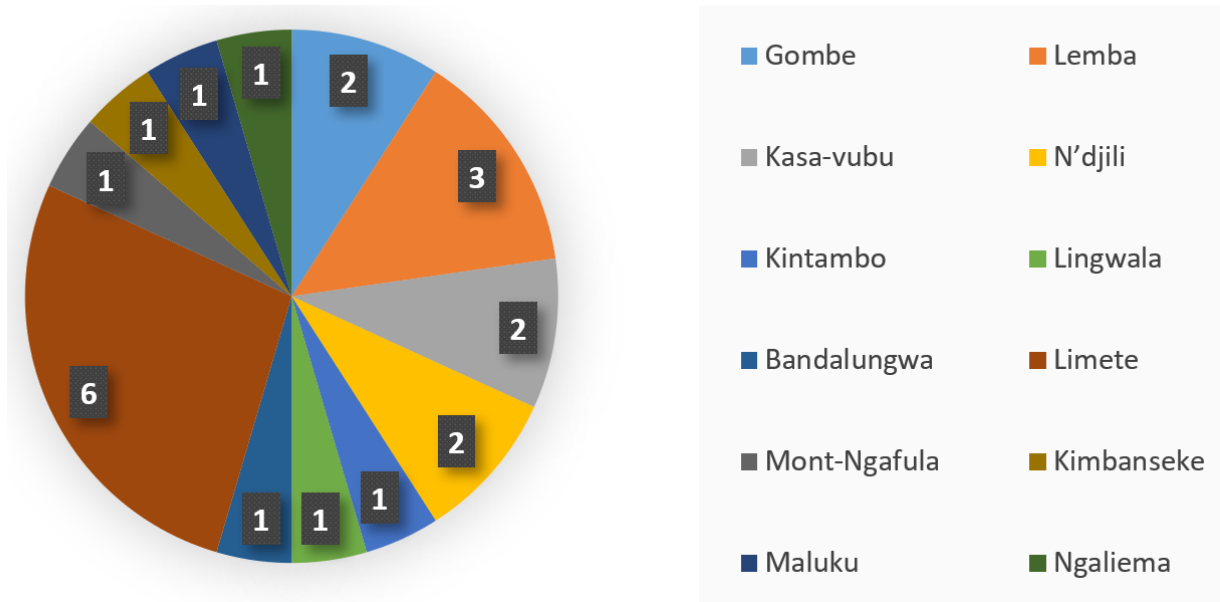
One of the most pressing environmental problems in the DRC is the increase in plastic and inedible food waste. These materials, however, present an opportunity for creative recycling and upcycling, thereby contributing

positively to the circular economy. The civil unrest in the DRC has further complicated waste management by disrupting agricultural production and causing significant migration from rural to urban areas, leading to rapid urban expansion without adequate planning or employment opportunities (Eric et al., 2010)

Food waste, in particular, has profound environmental and economic implications. Globally, approximately 30% of food made for human consuming, valued at an estimated one trillion USD, was wasted (FAO, 2013). In the DRC, the city of Lubumbashi exemplifies

this issue, with an average household producing around 27 kg of compostable waste per month, leading to an annual total of approximately 141,840 tons of compostable waste. This waste contributes significantly to greenhouse gas emissions, with an estimated 9220 tons of methane released annually (Brown, 2013).

Figure 1.1 displays the spread of non-governmental organizations, small and medium-sized enterprises, and businesses participating in the recycling of plastic waste throughout the different districts of Kinshasa.



**Figure 1.1.** Distribution of recycling NGOs, SMEs, and businesses in Kinshasa (Ipasesa, 2019)

In sub-Saharan countries, capitals serve as excellent models for urban studies. In this research, we will focus on two major cities: the capital, Kinshasa, and Lubumbashi. Although only a limited area of each city will be examined, it remains representative, as the findings can be extrapolated to the entire country. Capitals are ideal locations for studying critical urban scenarios.

A few studies pertaining to this subject can be referenced. Katumbo et al. (2020) studied household waste management in Lubumbashi, DRC where the authors outline the challenges, practices, and potential

solutions for improving waste collection, segregation, and disposal in the city. Mbadiko et al. (2018) conducted a study on the characterization of the waste produced in the Mbanza-Lemba market, City of Kinshasa in the DRC. The results indicate that waste management in the Mbanza-Lemba market is inadequate as it fails to address the issue of pollution caused by solid waste at the market. Additionally, there is a lack of effective government structures for managing waste from this market. Socioeconomic and demographic traits of the residents, along with how household waste is handled in Katuba municipality in Lubumbashi, DRC. In their paper,

Nahman and de Lange (2013) presented an expanded study to include the expenses related to edible food waste throughout the entire value chain in South Africa, a sub-Saharan country. Saba et al. (2023) characterized and examined the potential valorization of industrial food processing wastes. A model was created to link the characteristics of food waste with the most effective valorization pathway, providing guidance for waste management and informing future analyses of economic and environmental effect. Kubanza and Simatele (2016) criticized the social and environmental injustices in Kinshasa's solid waste management, revealing that the urban poor suffer from poor waste management exacerbated by rapid urbanization, poor governance, and weak institutions, and argues for a pro-poor approach to achieve social and environmental justice. Kubanza et al. (2017) examined environmental justice in solid waste management in Kinshasa, DRC, highlighting the inequitable distribution of waste burdens between rich and poor neighborhoods and arguing for politico-cultural mechanisms to address these injustices, based on qualitative research including literature reviews, system analysis, and stakeholder discussions. They investigated the perception of social and environmental equity in a framework of solid waste management in Kinshasa and crucial factors affecting injustice in this connection where some are happy and some are unhappy. It was recommended that every resident's entitlement, and the rights of each person in an urban area or nation, should be incorporated into a city's development and planning strategies, as well as included in different local and national legal provisions. Simatele & Etambakonga (2015) studied the significant role of solid waste scavenging in supporting the urban food basket, livelihoods, job creation, and environmental sustainability for poor households in Kinshasa, within the context of poverty and political instability, using field data from three sites. It was depicted that solid waste scavenging is often overlooked in urban development and planning policies, but it has a significant impact on the food security of impoverished urban households, like

employment opportunities and environmental sustainability. On the other hand, even though not explicitly stated, some instances of practical application of biocomposites have been referenced by Lukomba and Kahinda (2023), Mangenda et al. (2020) and Ipasesa (2019).

Conventional methods of food waste disposal, such as landfill, incineration, and composting, can have adverse environmental effects, including greenhouse gas emissions and resource wastage (Saba et al., 2023). Food waste not only squanders the resources used in its production but also contributes greenhouse gases accounting for 11% of global emissions (Recycle Track Systems, 2024), such as methane, carbon dioxide, and chlorofluorocarbons, which contribute to climate change.

To mitigate these impacts, innovative approaches such as composting and anaerobic digestion are being explored. Composting transforms food scraps and other organic materials into nutrient-rich soil amendments, while anaerobic digestion produces biogas, a renewable energy source. Another promising avenue is the utilization of mycelium composite, which presents ecological and economic benefits. Research by Akromah et al. (2024) provides valuable insights into this innovative approach, particularly in countries like the DRC.

Our study seeks to elucidate the concept of biocomposites within the context of sustainable solutions to the persistent challenge of waste proliferation in the DRC. Over these past decades, the DRC has grappled with notable environmental threats stemming from the accumulation of waste materials. Our approach involves recycling and repurposing these resources to address the very issues they create. This initiative embodies the principles of waste management and circular economy, leveraging existing expertise in these areas.

The focal point of our research lies in targeting specific types of waste, notably plastic and inedible food waste, which constitute major

environmental concerns. However, with effective management, these waste materials can be transformed into a plethora of valuable products. Such an initiative has a potential to subsidize significantly to a country's economic development, mitigate health risks, and ensure the well-being of the population.

This study represents a pioneering effort in exploring the utilization of inedible food waste such as fruit peels, nut shells, and coffee grounds from the DRC as reinforcement material for biocomposite products. Additionally, we investigate the recyclability of biocomposites, highlighting their potential for reuse. At the end of their lifecycle, manufactured biocomposites can be crushed and reprocessed for alternative applications, while the inclusion of natural inedible food waste fillers promotes biodegradability.

## 2. A Green Perspective to Food Waste in the DRC

Sustainable development endeavors to achieve environment quality, economical welfare, plus social fairness for the present and future generations. The phenomenon of food wastage encompasses both pre-consumer food losses, occurring before food reaches consumers, and post-consumer food waste, which includes both edible and inedible waste (Nahman and de Lange, 2013). Our study primarily focuses on non-edible waste, such as peelings, nut shells, and bones.

Globally, researchers estimate that approximately half of total food product for human consuming is wasted across entire food supply chain, including pre- and post-consumer stages (Lundqvist et al., 2008). Food waste is more prevalent in developed nations compared to developing ones, (Nahman and de Lange, 2013) with consumers in sub-Saharan Africa contributing to only about 3.5% of total food waste (Gustavsson et al., 2011). However, the majority of food waste in the DRC occurs during earlier stages of the food supply chain, before reaching consumers.

In Kinshasa, the capital of the DRC, household waste primarily consists of paper,

plastic, and other materials, which constitute approximately 58% of the total waste generated (Kubanza et al., 2017). When assessing different methods for disposing of solid waste in Kinshasa in the study conducted by (Kubanza et al., 2017), biocomposites made from food waste were not even included in the list of most practical options for managing food waste.

A study by Ipasesa (2019) shows that only five municipalities in Kinshasa housed the majority of formal waste disposal sites, serving just 7.27% of the population in 2020. This means that a significant 92.73% of Kinshasa's population lacked access to sanitation services.

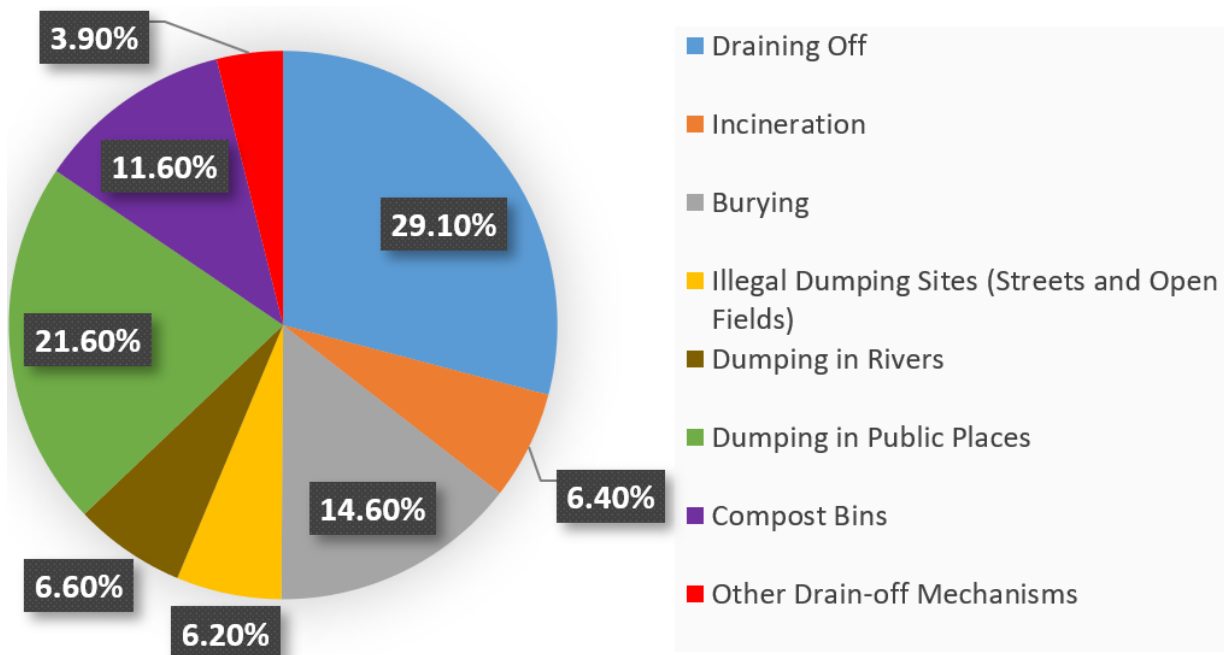
Kinshasa generates over 5,600 cubic meters of waste each day. This amount of refuse stems from a projected population exceeding 12,000,000 and covers an urban area spanning 9,965 square kilometers (Mangenda et al., 2020). The city's yearly production of solid waste is approximately 2 million cubic meters, with only 20 to 30% being gathered and the remainder being disposed of under unsatisfactory circumstances. Unfortunately, the combined daily waste removal/disposal capacity of the National Sanitation Programme and the Department of Roads and Drainage is just 600 m<sup>3</sup>, which amounts to only 6% (Simatele & Etambakonga, 2015). The remaining tasks are managed by the population, who use their own methods of disposal as illustrated in Figure 2.1 adapted from Simatele & Etambakonga's (2015) work.

Householders dispose of 29.1% of their household waste utilizing disorganized disposal methods, whilst 6.4% opt for informal and nonregulated burning. Another 14.6% bury these wastes, and 6.2% exhaust illegal dumping sites such as streets and open fields; meanwhile, 6.6% dump their waste in rivers, with an additional 21.6% resorting to illegal dumping in public areas, 11.6% make use of compost bins for disposal purposes, and the remaining 3.9% utilize other drainage mechanisms for waste management purposes (Simatele & Etambakonga, 2015).



Katumbo et al. (2020) helps understanding that the economic and social conduct of households is crucial for enhancing solid household waste management, but there is a lack of such research in the DRC. The result

of their field surveys work for grasping the understanding of the population about the risks associated with waste are presented in Table 1.



**Figure 2.1.** Waste disposal practices by the population (Simatele & Etambakonga, 2015)

**Table 1.** The understanding of risks associated with waste and the suggestions made by participants concerning waste handling (adapted from Katumbo et al., 2020).

Variable	Respondents	Percentage
Risks due to the presence of waste		
Known	102	67.1
Unknown	50	32.9
Sale of recyclable waste		
Never	130	85.5
Some times	18	11.8
Often	4	2.6

According to this study, 96.1% of households did not assign a value to their household garbage. Incineration was the chosen method for waste disposal by 27.6% of the households, while landfill and discharge were selected by 21.1% and 51.3%, respectively, with discharge being the most prevalent option for waste disposal among households. Among respondents, 67.1% demonstrated awareness of the hazards associated with waste presence, while 32.9% lacked such awareness. A significant majority 85.5% of respondents indicat-

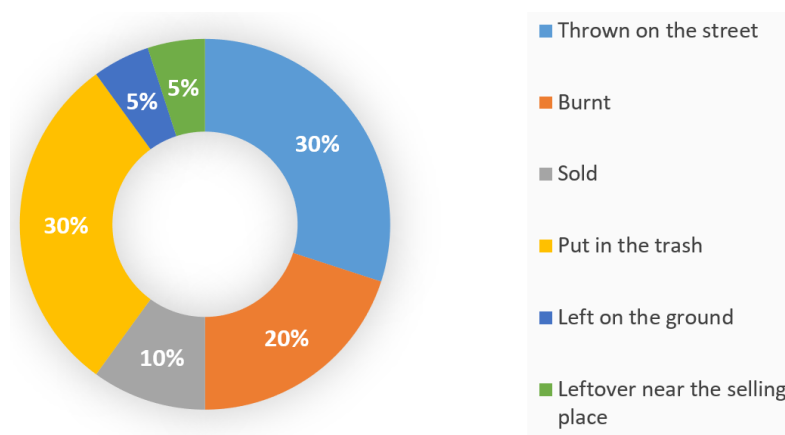
ed no inclination to sell recyclable waste to collectors; however, some individuals 11.8% do engage in this activity occasionally and 2.6% often. The same research demonstrated that just over one-tenth 11.2% of participants engaged in sorting or separating their waste.

Mbadiko et al. (2018) found that there is a lack of effective government structures for managing waste from this market. The inconsistent garbage collection, absence of public

trash bins near sales areas, vendors' practice of disposing their waste directly on the ground, widespread presence of informal dump sites, and use of basic transportation methods for garbage collection further contribute to these challenges.

In the same study, 95% of sellers believed that the cost of waste collection is reasonable and would not hinder the waste collection process in the market. The irregular waste collection contributes to the uncleanliness observed at Mbanza-Lemba market. 55% of vendors stated that waste collection occurs two times

a week, while 45% indicated it happens three times a week. As pictured in Figure 2.2, the research indicates the ability of vendors to independently handle waste and demonstrates that 30% of vendors gather and discard garbage on a street known as Avenue du Marché, 30% deposit it in an unregulated dump neighboring the market, 20% collate also incinerate these waste out in the uncovered, whilst 10% vend these waste to horticulturists and farmers, with 5% leaving these waste at shop entrances expecting market agents to collect them.



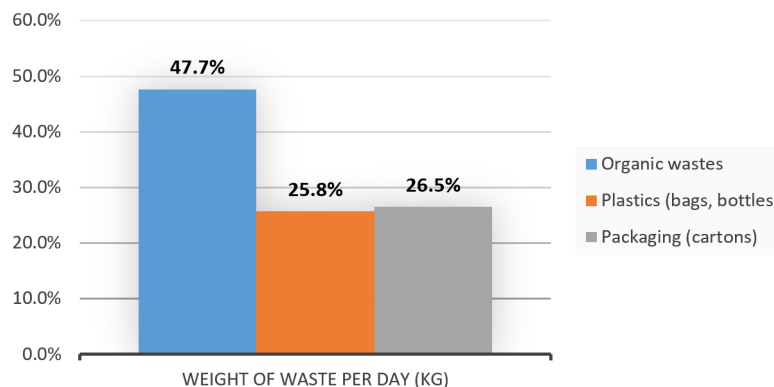
**Figure 2.2.** Vendors' ability to manage waste individually (Mbadiko et al., 2018)

Figure 2.3 shows the waste characterization of the market.

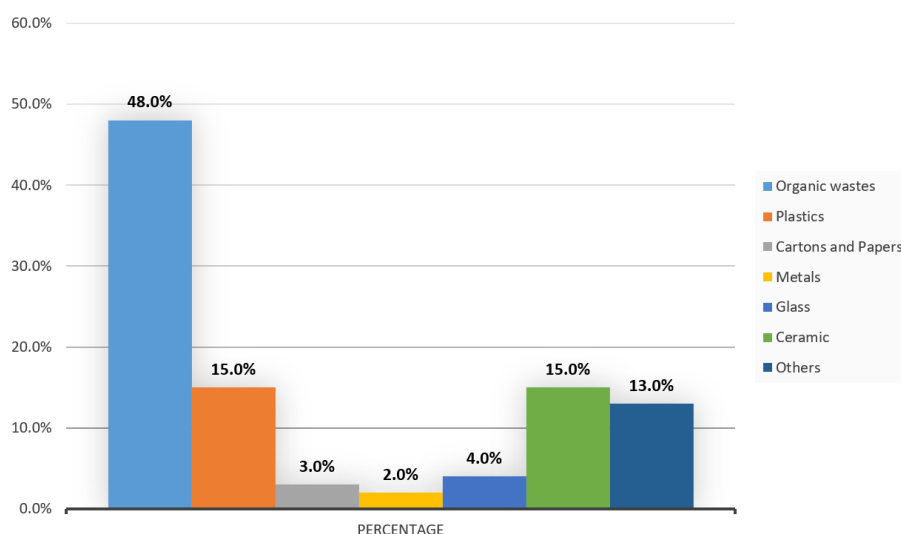
followed by carton packaging at 26.5%, and plastic bottles and bags at 25.8%.

Organic waste, including plant debris and other materials, constitutes the majority of the identified refuse in a specific area of the local market, making up 47.7% of the total daily waste production of 406.8 kg. This is

Ipasesa (2019) presents a bigger picture of the waste distribution in entire Kinshasa based on data retrieved from Kinshasa Sanitation Authority RASKIN, as shown in Figure 2.4.



**Figure 2.3.** Daily waste types per kilogram (Mbadiko et al., 2018)



**Figure 2.4.** Waste produced in Kinshasa (Ipasesa, 2019).

The organic matter content of household waste in Kinshasa averages around 54% (Nzuzi, 2008). Biological methods, such as composting, hold potential for enhancing the value of this organic fraction, providing an organic supplement for agricultural lands. Given the deficiency in organic matter content observed in peri-urban areas and across much of Kinshasa's soils (Mangenda et al., 2020), composting might play a significant role in soil enrichment and fertility enhancement. Composting, as a practice in sustainable agriculture, involves utilizing compost as a soil amendment (Marondji, 2023). The production of biocomposite materials, which entails recycling waste plastic reinforced with inedible food waste within a plastic matrix, embodies a large-scale sustainable solution. These biocomposites can be crushed and repurposed to create new components, offering a circular approach to waste management.

This article focuses on a strategy that integrates the most challenging waste materials, specifically plastics and inedible or spoiled food residues. This approach represents one of the most effective configurations for addressing the current waste management problem.

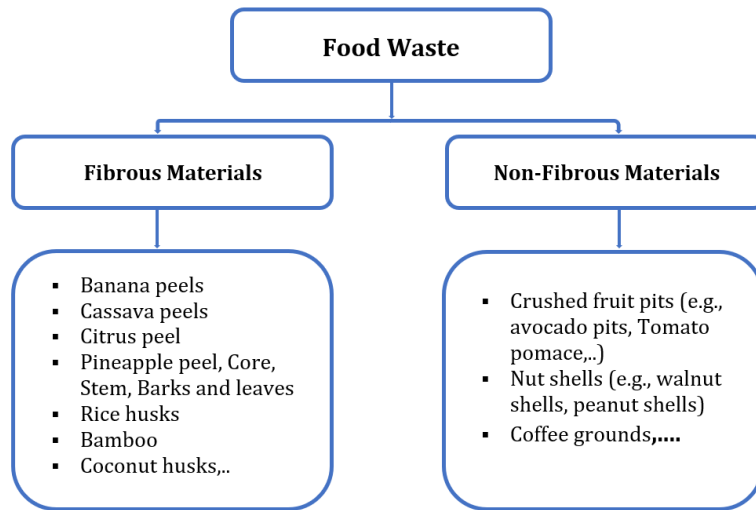
### 3. Biocomposites as a Sustainable Solution

Natural fiber-reinforced polymer compos-

ites, also known as biocomposites, have captivated the attention of researchers for several decades. These biocomposites are being considered as substitutes for synthetic fibers due to their cost-effectiveness, lightweight nature, biodegradability, high specific properties, minimal impact on equipment wear and tear, eco-friendliness, and sustainability attributes. Extensive research has focused on enhancing their mechanical, physical, thermal characteristics, trying out improvements in water resistance to expand their potential applications. As a result, biocomposites have found application in different sectors such as automotive, packaging, renewable energy, construction and more (Mugarura and Çevik, 2023).

The most common approach with plastic recycling is mechanical recycling, where plastic is sorted, cleaned, melted, and reformed into new plastic items. This includes things like bottles and containers, construction materials (fleece for insulation, lumber for decks, panels, roofing tiles), textiles (fleece jackets, carpets), furniture (chairs, benches), art objects, 3D printing filament and more.

Food waste can be split in two as shown in Figure 3.1.



**Figure 3.1.** Food waste types.

The DRC is a country brimming with culinary traditions. From hearty stews like makemba with smoked fish to starchy staples like fufu and kwanga, these delicious dishes leave behind a significant amount of food

waste. The peels, shells, pulps and cobs of these plants are illustrated in Figure 3.2. This presents a potential goldmine for biocomposite development.



**Figure 3.2.** (a) Ground cassava bagasse and cassava peels; (b) Sweet potato (*Ipomoea batatas*) tubers; (c) Maize cobs; (d) Citrus pulps; (e) Banana peels; (f) Peanut shells (FeediPedia, 2024)

Starchy roots like cassava processing yields large quantities of bagasse (fibrous residue) and peels. Yam peels and even sweet potato peels contribute to the waste stream.

Fruits like mango pits, citrus peels, and even pineapple cores, often discarded after consumption, hold potential for biocomposite reinforcement.

Vegetables like banana or plantain peels, the outer layer of this versatile fruit, are a common waste product. Additionally, vegetable trimmings from okra, green beans, and leafy greens can be utilized.

Legumes like groundnut shells, a by-product of peanut consumption, are a potential source of biocomposite material.

Other sources like palm kernel shells, a byproduct of palm oil production, and even leftover maize cobs offer additional possibilities for biocomposite reinforcement.

There is a huge waste potential in the DRC for biocomposites. This potential once capitalized will allow a reduced reliance on virgin plastics and landfills, a utilization of waste materials for valuable products, an improved environmental footprint compared to traditional materials and potentially lower production costs depending on the specific application.

#### **4. Challenges and Opportunities**

The management of solid waste in urban areas, particularly in the DRC, faces significant challenges and presents unique opportunities for improvement. The widespread existence of unregulated landfills can be attributed to the population's insufficient adherence to regulations due to lack of discipline and the inefficacy of local government bodies in waste collection (Mangenda et al., 2020). Effective solid waste management in the DRC, particularly in Kinshasa, is hampered by high poverty, unemployment, and political instability, which diverts resources from development projects to civil conflict resolution.

This instability weakens institutional and policy frameworks essential for efficient waste management. Structural challenges, including poor governance, economic downturns, inadequate infrastructure, limited recycling facilities, and deficient road networks, further hinder the establishment of an effective waste collection system. Reliance on hand-drawn carts for waste transport to temporary sites exacerbates the issue, highlighting that the struggle is more due to institutional and policy deficiencies than a lack of resources or knowledge (Simatele & Etambakonga, 2015). Research on household waste management by Katumbo et al. (2020) indicates that the municipality of Katuba in Lubumbashi does not have a defined system for categorizing, gathering, recycling, or disposing of household waste. Instead, residents in this area often resort to dumping refuse on the streets or incinerating it. Despite this behavior, there is awareness among the population about the risks connected with improper waste disposal. Increased participation of local government council members in the oversight and control of residential garbage disposal could offer a potential resolution.

The rapid expansion of cities has taken place amidst inadequate institutional structures, deficient urban planning, and a lack of meaningful job prospects. One of the primary obstacles encountered by city officials is the management of household refuse. These challenges manifest in a buildup of domestic waste, proliferation of informal dumping sites, standing water in numerous neighborhoods due to stagnant wastewater and rainwater, as well as limited strategic understanding among residents (Katumbo et al., 2020).

Scouring for solid waste has, in some sense, served as an alternative means of employment and a source of sustenance. Recycling has now evolved into a survival strategy adopted by individuals heavily impacted by unemployment and limited job opportunities (Ipasesa, 2019). In Kinshasa, an approach has been adopted for gathering industrial waste for recycling through a door-to-door

collection system. The collected waste typically includes polyethylene terephthalate (PET), high-density polyethylene (HDPE), polyvinyl chloride (PVC), low-density polyethylene (LDPE), polypropylene (PP), and polystyrene (PS) materials in the form of items such as chairs, utensils, bottles, bags, and other objects.

Despite these challenges, there are significant opportunities to improve waste management in the DRC through strategic interventions and partnerships with international agencies like the World Bank or the United Nations Development Programme (UNDP) for enhancing the waste collector's capacity, increase public awareness and participation, and encouraging creative recycling and up-cycling of plastics and food waste. Partnership with the United Nations Environment Programme (UNEP) or Global Environment Facility (GEF) can secure funding for setting up recycling plants and training the local workforce. The African Development Bank (AfDB) can provide financial and policy support to promote economic growth.

There are some cases of implementation of waste management.

Lukomba and Kahinda (2023) carried out four experiments with different quantities of plastics and slag from the Congolese Gécamines giant mining company, and found that in one sample using a proportion of 6.5 kg of slag and 3.5 kg of plastic (65/35 ratio), the highest compression resistance attained was 50.52 MPa, which proved to be quite satisfactory for the application of their pavers in public areas and walkways. The project's profitability was evaluated, and in order to guarantee its long-term viability, it is suggested that a sales unit be established offering their products at a price of \$20 per square meter.

In Kinshasa, RECOVAD company implements a similar initiative to produce pavement blocks from plastic waste and PVC pipes, which are used for coating electrical

wires. It is important to highlight that the production process for these pavement blocks is largely carried out by artisans in the informal sector. The informal sector plays a significant role in the Congolese economy, with 538,300 production units and 692,000 jobs as of 2004. Despite this, only around 5% of daily plastic waste mass is currently being recycled (Ipasesa, 2019). Figure 4.1 illustrates examples of pavement blocks made from waste plastic materials.

Another implementation is the breeding of pigs, poultry, and the manufacture of soaps based on palm kernel oils. The company ELBEMA, which is now absorbed by the Société des Cultures et Agricoles au Mayumbe (SCAM/PKO), had thus found a market for the sale of its two products, namely: Palm Kernel Oils and by-products, called «tourteaux» (Mununzi and Ilunga, 2024).

In Kinshasa, there are currently only three companies working on agricultural waste management. These are Congo Complast, Congolese Solidarity, and ANJ (Ipasesa, 2019).

The first two applications which are very similar, fall under the category of biocomposites without explicitly stating their name. Our approach however involves using food waste as reinforcement. The vast potential of utilizing proliferating waste means that each day without action represents a significant loss for the country. Additionally, the main criterion should not solely focus on material strength; there are numerous other factors to consider. It is imperative to investigate the thermogravimetric (TGA) behavior of both the matrix (recycled plastic) and the reinforcement material (food waste) to evaluate the degradation temperature beyond which the desired outcomes may not be attained. Thermogravimetric behavior of materials refers to how the mass of a material changes as a function of temperature. This behavior is typically analyzed using a technique called thermogravimetric analysis (TGA), where a sample is continuously weighed while it is heated, cooled,

or held at a constant temperature. The resulting data provides insights into the material's composition, thermal stability, decomposition processes, and moisture content, among other properties. TGA is widely used in material science, chemistry, and engineering to study polymers, composites, ceramics, metals, and other materials. Environmental service conditions should also be examined, encompassing the response of the manufactured material to UV radiation, humidity, and water (such as rain). Spectroscopic analyses such as Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) are highly recommended. FT-IR furnishes comprehensive insights into the chemical functional groups present in the biocompos-

ite, which are crucial for comprehending the material's properties and potential interactions with its surroundings. The hydrophobic nature of plastic and the hydrophilic nature of natural fiber (derived from food waste) undermine the bond between the biocomposite components. Extensive studies should also be undertaken to enhance the interface between the matrix and the reinforcement, utilizing various methods available in the literature. The list is extensive; thus, ongoing research and development efforts are essential to enhance outcomes, ensuring that the properties of the biocomposite align with the requirements of the intended application, thereby rendering end products more efficient and cost-effective.



(a)



(b)

**Figure 4.1.** (a) Pavement blocks made from plastic waste in Bandalungwa (Mangenda et al., 2020) (b) Pavement blocks made from PET (90%) and hard plastics (10%) in Kintambo (Ipasesa, 2019).

## 5. Conclusion

This study has highlighted the potential of biocomposites as a sustainable solution to the waste proliferation issues in the DRC. By recycling and reusing problematic resources such as plastics and inedible food waste, significant environmental problems can be addressed while promoting economic growth and improving public health. Our research uniquely explores the use of inedible food waste as reinforcement material in biocomposites, a novel approach in the DRC context.

The recyclability of biocomposites further enhances sustainability, allowing materials to be reprocessed for less demanding applications at the end of their lifecycle. However, optimal performance requires thorough investigation into the thermogravimetric behavior of the matrix and reinforcement materials, and the environmental conditions affecting the biocomposites. Techniques like Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) are essential for understanding the chemical interactions within the biocomposite, impacting

its properties and environmental interactions. Addressing the hydrophobic nature of plastics and the hydrophilic nature of natural fibers is crucial for improving the bond between components, necessitating extensive research and development.

Strengthening the relationship between municipalities and communities is vital for promoting public participation in waste management. Empowering municipalities through environmental education and employing experts to develop sustainable waste management policies are essential steps.

There are significant opportunities to improve waste management in the DRC through strategic interventions and partnerships with international agencies like the World Bank and the United Nations Development Pro-

gramme (UNDP). These partnerships can enhance waste collectors' capacity, increase public awareness, and encourage creative recycling and upcycling. Collaborations with the United Nations Environment Programme (UNEP) and Global Environment Facility (GEF) can secure funding for recycling plants and workforce training. Additionally, the African Development Bank (AfDB) can provide financial and policy support to promote economic growth.

By leveraging innovative approaches such as biocomposites and composting, securing goodwill from governing bodies, and forming strategic international partnerships, the DRC can move towards a greener and more sustainable future, contributing to environmental quality, economic prosperity, and social equity.


## References


- Akromah S., Chandarana N., Rowlandson JL., Eichhorn SJ. (2024). Potential environmental impact of mycelium composites on African communities, *Scientific Reports*, 14, 11867.
- Brown, S. (2013). Connection: Climate Calculations, *BioCycle*, 54 (6), 52.
- Eric MMN., Shouyu C., Qin ZL. (2010). Sustainable urbanization's challenge in Democratic Republic of Congo. *Journal of Sustainable Development*, 3 (2), 242-254.
- FAO. (2013). *Food wastage footprint: Impacts on natural resources- Summary Report*.
- FeediPedia. (2024). *Fruits Images*. <https://www.feedipedia.org> (Accessed on 15.06.2024)
- Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., van Otterdijk R., Meybeck A. (2011). Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. *FAO International Congress: Save Food!*
- Ipasesa EN. (2019). *Study on the factors of non-performance of plastic waste recycling in Kinshasa. Approach using value chain analysis*, PhD-Thesis, Université de Kinshasa [in French]
- Katumbo AM., Mukemo DK., Kalenga MM., Mishika PL., Mukuku O., Malonga FK., Luboya ON. (2020). Household Waste Management in Lubumbashi, Democratic Republic of Congo. *Open Journal of Public Health*, 2 (1), Article 1010.
- Kubanza NS., Das DK., Simatele D. (2017). Some happy, others sad: exploring environmental justice in solid waste management in Kinshasa, The Democratic Republic of Congo, *Local Environment-The International Journal of Justice and Sustainability*, 22 (5), 595-620.
- Kubanza NS., Simatele D. (2016). Social and environmental injustices in solid waste management in sub-Saharan Africa: a study of Kinshasa, the Democratic Republic of Congo, *Local Environment-The International Journal of Justice and Sustainability*, 21 (7), 866-882.
- Lukumba DK., Kahinda JSM. (2023). The recovery of plastic waste through the production of ecological pavers from the recycling of plastic materials and recycled aggregates (scories). *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 17 (1), 1-7.
- Lundqvist J., de Fraiture C., Molden DJ., Berndes G., Berntell A., Falkenmark M. (2008). Saving Water: From field to fork - Curbing losses and wastage in the food chain. *SIWI Policy Brief, Stockholm International Water Institute*.
- Mangenda HH., Mulaba P., Kiawutua A. (2020). Management of household waste in the city of Kinshasa: Survey on residents' perceptions and proposals. *Environnement, Ingénierie & Développement*, N°83. 19-26 [in French]
- Marondji BP. (2023). *Recycling biodegradable waste as a way to combat poor solid waste management in Lubumbashi, Democratic Republic of the Congo* [MS-Thesis, Cape Peninsula University of Technology].



- Mbadiko CM., Bongo GN, Lompo E., Matita B., Kemfine LL., Mindele LU. (2018). Characterization of the waste produced in the Mbanza-Lemba market, City of Kinshasa in the Democratic Republic of the Congo, *International Journal of Environmental Planning and Management*, 4 (3), 50–57.
- Mugarura I., Çevik M. (2023). Natural fibers in Uganda suitable for sustainable natural fiber reinforced composites, *Proc. 7th International Students Science Congress*, 263-269.
- Mununzi RL., Ilunga RL. (2024). Essai d'analyse des marchés huiles palmistes et des tourteaux dans la Ville de Boma, De 2019 A 2021. *Collection Recherches et Regards d'Afrique*, 3 (7), 422-462 [in French]
- Nahman A., de Lange W. (2013). Costs of food waste along the value chain: Evidence from South Africa, *Waste Management*, 33 (11), 2493–2500.
- Nzuzi FL. (2008). Kinshasa : ville et environnement (Kinshasa: city and environment) L'Harmattan [in French]
- Recycle Track Systems. (2024). *Food Waste in America in 2024: Statistics & Facts*.
- Saba B., Bharathidasan AK., Ezeji TC., Cornish K. (2023). Characterization and potential valorization of industrial food processing wastes, *Science of the Total Environment*, 868, 161550.
- Simatele D., Etambakonga CL. (2015). Scavenging for solid waste in Kinshasa: A livelihood strategy for the urban poor in the Democratic Republic of Congo, *Habitat International*, 49, 266–274.

## Marmara Bölgesi'nde Görülen Müsilaj Sırasında Meteorolojik Değişkenlerin Analizi

Mert IŞIN<sup>1</sup>   
mertisin34@gmail.com

Bahtiyar EFE<sup>2\*</sup>   
efeba@itu.edu.tr

<sup>1</sup> Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Siirt Havalimanı Meteoroloji Ofisi, Siirt, Türkiye.

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İklim Bilimi ve Meteoroloji Mühendisliği Bölümü,  
34469, Maslak, İstanbul, Türkiye.


Geliş Tarihi: 07.06.2024 / Kabul Tarihi: 26.06.2024

### Özet

Uzun yıllardır Adriyatik denizinde müsilaj sorunu genel olarak gözükmekte iken 2021 yılı içerisinde yaşanan deniz suyu sıcaklıklarındaki artış ile beraberinde gelen deniz kirliliği sebeplerinden dolayı Marmara Denizi'nde de müsilaj felaketi görülmüştür. Marmara Denizi'nde gözlemlenen ilk müsilaj oluşumu 2007- 2008 yılları arasında, Çanakkale Boğazı'ndan İzmit Körfezi'ne kadar olan alanı kapsamakta iken 2021 yılı içerisinde gözlemlenen müsilaj oluşumu tüm Marmara Denizi'ni kapsamakla birlikte denizin tabanından 34 metreye kadar müsilajın görülebildiği kayıt edilmiştir. Marmara Deniz'inde gözlemlenen müsilaj olayının gerçekleşmesinde en önemli unsurun deniz kirliliği olduğu bilinmektedir. Ancak deniz kirliliği tek başına yeterli bir sebep olmamakla birlikte geçmişte müsilajın görüldüğü dönemler ve bölgeler incelendiğinde genel olarak sıcak dönemlerde ve sıcak denizlerde oluştuğu söylenebilir. Bu çalışmada, 2021 yılında Marmara Denizi'nde gerçekleşen müsilaj olayın yalnızca deniz kirliliğinin neden olmadığı, müsilaj oluşumunda meteorolojik değişkenlerin de büyük bir etkisi olduğu gerekli analizlerle açıklanmıştır. Deniz suyu sıcaklığı, hava sıcaklığı, rüzgâr şiddeti ve atmosferik engelleme gibi meteorolojik değişkenlerin müsilaj üzerinde etkisinin olup olmadığını tespit edebilmek amacıyla uzun dönem ortalamasıyla karşılaştırılmış ve meteorolojik değişkenlerin, müsilajı ne denli etkilediği açıklanmıştır. Deniz suyu sıcaklıkları için yapılan hesaplamalarda müsilajın yoğun olarak gözlemlendiği Mayıs ayında deniz suyu sıcaklıklarının kullanılan üç istasyon için de mevsim normallerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Hava sıcaklıkla verileri incelendiğinde genel olarak tüm 2021 yılı boyunca mevsim normallerinden daha yüksek sıcaklıkların gözlemlendiğini, özellikle Mayıs ayında üç istasyon içinde hava sıcaklıklarının uzun dönem ortalamasından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ortalama rüzgâr şiddeti Mayıs ayında üç istasyon için de ortalama 1,9 m/s ile 3,2 m/s arasında değişkenlik göstermektedir. Bu değerler Bofor rüzgâr skalasında esinti olarak adlandırılmaktadır. Rüzgârın bu kadar az olması müsilajın oluştuğu yerlerde, dağılmasını engelleyerek müsilajın birikmesine neden olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Deniz suyu sıcaklığı, Marmara Denizi, müsilaj, rüzgâr, sıcaklık

## Analysis of Meteorological Variables During Mucilage in the Marmara Region

Mert IŞIN<sup>1</sup>   
mertisin34@gmail.com

Bahtiyar EFE<sup>2\*</sup>   
efebe@itu.edu.tr

<sup>1</sup> Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Siirt Havalimanı Meteoroloji Ofisi, Siirt, Türkiye.

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İklim Bilimi ve Meteoroloji Mühendisliği Bölümü,  
34469, Maslak, İstanbul, Türkiye.

Arrival Date: 07.06.2024 / Accepted Date: 26.06.2024

### Abstract

While the mucilage problem has been generally observed in the Adriatic Sea for many years, a mucilage disaster has also been observed in the Marmara Sea due to the increase in sea water temperatures in 2021 and the accompanying sea pollution. While the first mucilage formation observed in the Marmara Sea occurred between 2007 and 2008 covering the area from the Dardanelles to the Gulf of Izmit, the mucilage formation observed in 2021 covers the entire Marmara Sea and it has been recorded that mucilage can be seen up to 34 meters from the bottom of the sea. It is known that the most important factor in the mucilage phenomenon in the Marmara Sea is marine pollution. However, although sea pollution alone is not a sufficient reason, when we look at the periods and regions where mucilage appeared in the past, we can say that it generally occurred in warm periods and warm seas. In this study, it was explained by data that the mucilage phenomenon that took place in the Marmara Sea in 2021 was not only caused by marine pollution, but also those meteorological variables had a great impact on mucilage formation. In order to determine whether meteorological variables such as sea water temperature, air temperature, wind speed and atmospheric blocking have an effect on mucilage, they were compared with the long-term average and it was explained how meteorological variables affected mucilage. For sea water temperatures, we see that sea water temperatures were higher than seasonal norms for all three stations used in May, when mucilage was observed intensively. When we examined the data for air temperatures, it was observed that it was generally warmer than the seasonal norms throughout 2021, and especially in May, the air temperatures were higher than the long-term average in three stations. Average wind speed varies between 1.9 m/s and 3.2 m/s for all three stations in May. These values are called breeze in Bofor wind scale. This lack of wind prevented the mucilage from dispersing in places where it formed, causing mucilage to accumulate.

**Keywords:** Marmara Sea, mucilage, sea water temperature, temperature, wind

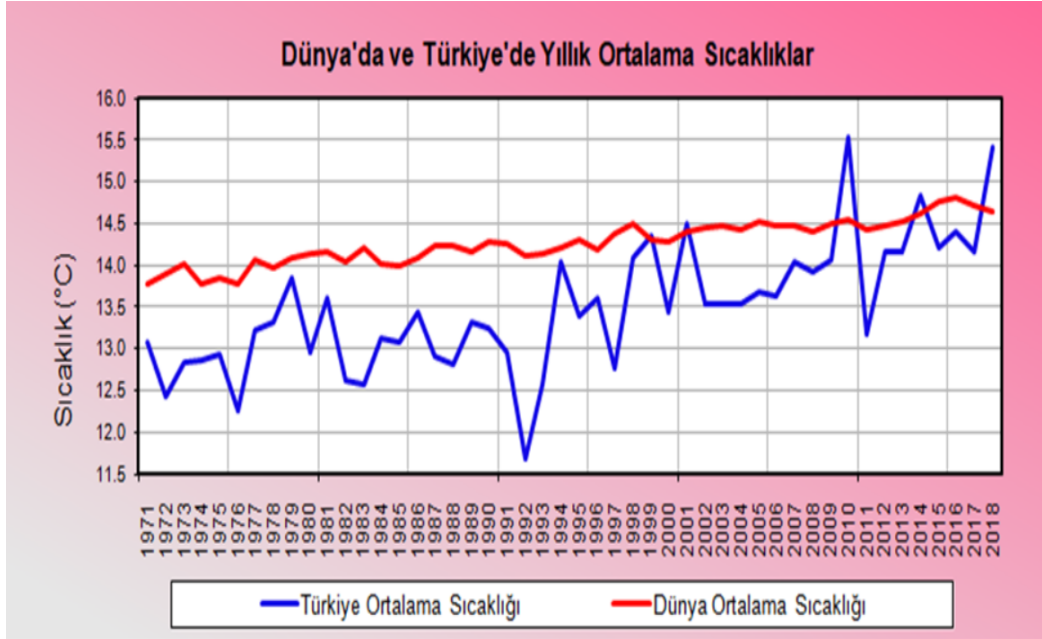
### 1. Giriş

Çevre Kanunu'nun "Tanımlar" başlıklı 2. maddesine göre çevre kirlenmesi; "Çevrede meydana gelen ve canlıların sağlığını, yaşadığı alanı ve ekolojik dengesini bozabilecek her türlü olumsuz etki" olarak tanımlanmıştır. Gelişen teknoloji ve artan nüfusla birlikte çevre kirliliğinin etkisi zamanla büyümektedir. Müsilajın oluşumunda en büyük faktörün deniz kirliliği olduğu bilinmektedir (Edwards, 2016). Denize dökülen endüstriyel, evsel

ve tarımsal atıklar, suda hemen çözünemediğinden dolayı deniz üzerinde maddenin cinsine göre değişebilen sürelerde küçük parçalara ayrılırlar. Uzun süre deniz içerisinde çözünemeyen atıklar birikerek müsilajın oluşmasına zemin hazırlamaktadır (Altıok vd., 2021). İstanbul ve çevresinde nüfusun fazla olması, şehrin düzensiz göç alması ve hızlı nüfus artışından dolayı Marmara Denizi'ne dökülen evsel ve sanayi atıkları bu bölgede oldukça fazladır.

Çevre kirliliğinin yanı sıra müsilaj oluşumunda büyük bir etkisi olan diğer bir etken ise iklim değişkenliği veya iklim değişikliği (Danovaro vd., 2009). Kısaca iklim değişikliği, belirli bir bölgedeki atmosferik koşulların o bölgeye ait uzun yıllar (en az 30 sene) ortalamasının değişimi olarak tanımlanabilir (Altıok vd., 2021).

Şekil 1.1’de, Dünya’nın ve Türkiye’nin 1971-2018 yılları arasındaki sıcaklık ortalaması göstermektedir. Türkiye’de 2010 ve 2018 senelerinde pozitif sıcaklık anomalisi görülmektedir. Dünyanın sıcaklık ortalamasının; 1971 yılından 2018 yılına kadar yaklaşık olarak 1 °C arttığı görülmektedir.



**Şekil 1.1.** Dünya’nın ve Türkiye’nin 1971-2018 yılları arasındaki sıcaklık ortalaması. (Dünya geneli veriler için: ABD Ticaret Bakanlığı Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi [NOAA, 2019], Türkiye verileri için: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM, 2019].)

Deniz yüzeyinde oluşan ipliksi ağ yapıları zamanla yaşlanarak denizin dibine doğru çökmeye başlar ve deniz dibinde yaşayan canlıların üzerini kaplayabilen kalın tabakalanmalar oluşturan bu oluşumlara “müsilaj” adı verilmektedir (Danovaro vd., 2009).

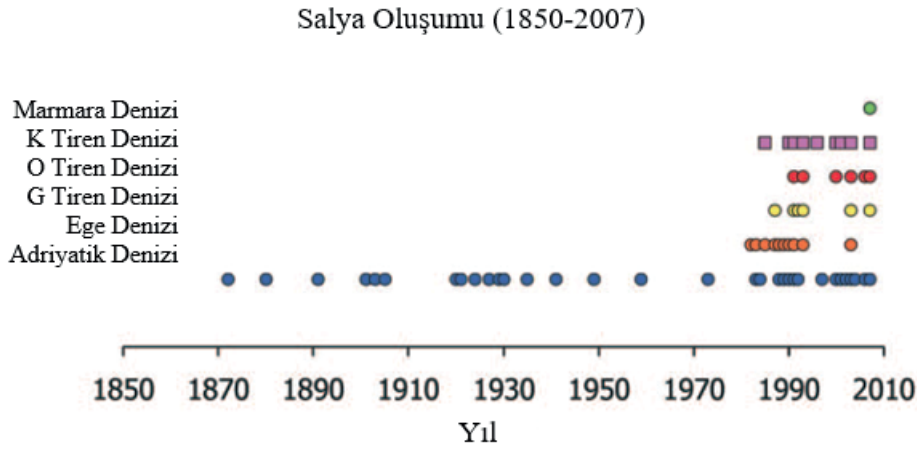
Canlı organizmalar, ölü hücre atıkları, organik olmayan maddeler gibi unsurları içerisinde barındıran organik maddece zengin olan müsilaj (deniz salyası) açık denizlerde ve okyanuslarda yaygın bir şekilde görülmesinin yanısıra büyük su kütlelerindeki karbon taşınımının ve döngüsünün çok önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Alldredge ve Silver, 1988). Bunun yanında deniz yüzeyi su sıcaklığının artması, su kolonundaki tabakalaş-

ma, rüzgârın hızının düşük olması gibi çeşitli etkenlerle mikropların üremesi için elverişli bir ortam meydana gelmektedir. Bununla birlikte ölü atıklarla da bir araya gelerek deniz salyasının boyutları ve yayılım alanları yüzlerce kilometreye ulaşabilir.

Dünya’da müsilaj ilk olarak 1729 yılında Kuzey Adriyatik Denizinde görülmüştür (Fonda-Umani vd., 1989). Sıcaklıkların ve deniz suyu sıcaklıklarının artmasına bağlı olarak kirlilikle birlikte ortaya çıkan müsilaj, deniz biyolojisi ve yaşamı için büyük sorun teşkil etmektedir. Özellikle son 30 yıl içerisinde müsilaj görülme sıklığında artış gözlemlendiğinden dolayı daha çok gündeme gelmektedir.

Okyanus ya da deniz yüzeyinde oluşan yoğun müsilaj tabakası, su yüzeyinin albedosunu artırdığı için deniz içerisindeki bitkiler güneş ışığını yetersiz aldıklarından ya da alamadıklarından dolayı fotosentez yapamamaktadırlar (Kam ve Yümün, 2021). Ayrıca müsilajın içerisinde bulunan sayıca fazla olan virüs ve bakteri sayısı canlılar üzerinde büyük bir etkiye sahip olmaktadır (Negro vd., 2005).

Şekil 1.2’de çeşitli denizlerde oluşan müsilajın yayılma alanı ve denizde ne kadar süre kaldığı hakkında bilgiler yer almaktadır. 157 yıllık verilere göre; Adriyatik Denizi üzerinde müsilaj çok uzun zamandır bulunmaktadır. Bununla birlikte Tiren ve Ege denizlerinde ise 1980-2007 yılları arasında salya oluşumunun fazla olduğunu görülmektedir. Marmara Denizi’nde ilk müsilaj oluşumu 2007 yılının Ekim ayında başlamıştır.



**Şekil 1.2.** Salya oluşumunun yer ve zamana göre gözlemleri (Danovaro vd., 2009).

Müsilajın oluşumunda en büyük etkenlerin başında deniz suyu sıcaklığı gelmektedir (Kam ve Yümün, 2021). İklim değişikliğiyle ve küresel ısınmayla birlikte, dünyanın ortalama sıcaklığının artmasıyla ortalama deniz suyu sıcaklıkları da mevsim normallerinin üstüne çıkmıştır. (Edwards, 2016). Bu çalışmada; Marmara Denizi’nin uzun yıllar gözlemlenmiş ortalama deniz suyu sıcaklığı, sıcaklık, rüzgâr verilerinden yararlanarak Mayıs ayında gözlemlenmiş olan değişkenlerin, müsilajı ne denli etkilediği açıklanmaya çalışılmaktadır.

## 2. Çalışma Alanı, Veri ve Yöntem

### 2.1 Marmara Denizi

Marmara Denizi; Karadeniz ve Ege Denizi arasında kalan yer alan, yüzölçümü yaklaşık 11500 km<sup>2</sup> ve maksimum derinliği yaklaşık 1300 metre olan bir iç denizdir. İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı Türk Boğazlar Sistemi (TBS) olarak adlandırılmaktadır. Karadeniz’den gelen daha az tuzlu olan üst tabaka suları ile daha tuzlu

olan Ege Denizi’nden gelen alt tabaka suları Marmara Denizi’ne ulaşarak iki tabaka meydana getirirler. İki tabaka arasında, derinliği mevsimlere göre değişen bir geçiş tabakası bulunur (Öztürk ve Şeker, 2021). Marmara Denizi’nin de içinde bulunduğu Marmara Havzası’nın alanı 23.385,25 km<sup>2</sup>’dir. Havza içerisinde; İstanbul, Kocaeli, Bursa, Yalova, Edirne, Kırklareli, Tekirdağ ve Balıkesir şehirleri yer almaktadır. Marmara havzasının içerisinde çok fazla organize sanayi bölgeleri, sanayi kuruluşları ve fabrikalar bulunmaktadır. Marmara Havzası içerisindeki yerleşim bölgelerinin katı atıkları da Marmara Denizi’ne atılmaktadır. İçişleri Bakanlığı 2019 verilerine göre Marmara Bölgesi’nin toplam nüfusu 25 milyon kişidir (Kam ve Yümün, 2021).

Marmara Denizi’ne atılan toplam kirlilik yükü Çizelge 2.1’de görülmektedir. Özellikle evsel atıklar ve derelerin oluşturduğu atıklar Marmara Denizi’ni kirleten baş faktörler olarak değerlendirilebilir. Marmara Denizi’ne

deşarj edilenlerin yanı sıra, Tuna Nehri'nin Karadeniz'e taşıdığı kirliliklerin yaklaşık %50'lik kısmı, boğaz üst akıntılarıyla Marmara Denizi'ne taşınmaktadır (OSB, 2013).

Marmara Denizi'nde oluşan bu deniz kirliliği ile birlikte deniz salyası oluşumları gözlemlenmektedir.

**Çizelge 2.1.** Marmara Denizi'ne atılan toplam kirlilik yükü (OSB, 2013).

Kaynak	AKM (kg/ gün)	BOİ (kg/ gün)	KOİ (kg/ gün)	TN (kg/ gün)	TP (kg/ gün)
Evsel	1341334	1184041	2755797	213493	60226
Endüstriyel	33277	34055	68366	3244	365
Dereler	858971	140033	599248	116902	41382
<b>Toplam</b>	<b>2233582</b>	<b>1358129</b>	<b>3423411</b>	<b>333639</b>	<b>101973</b>

AKM: Askıda katı madde, BOİ: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ: Kimyasal oksijen ihtiyacı, TN: Toplam azot, TP: Toplam fosfor

## 2.2 Müsilaj

Müsilaj veya deniz salyası; denizdeki biyolojik üretimin ilk adımını oluşturan fitoplankton adı verilen mikroskobik alglerin aşırı büyümesinin sonucudur. Kalın, mukus benzeri sümüksü tabaka çeşitli mikroorganizmalar içerir. Müsilaj vakaları öncesinde, genel olarak fitoplankton sayılarında belirgin artışlar, buna mukabil tür çeşitliliğinde azalma, salya başlangıcında ve süresince de bazı diatom ve dinoflagellat türlerinin sayılarında belirgin artışlar kaydedilmiştir (Tüfekci vd., 2010). Müsilaj yüzyıllardan beri Adriyatik Denizi'nde görülmektedir. İklim değişikliği ile birlikte sıcaklıklardaki artış, deniz yüzey su sıcaklığında gözlemlenen artışlar, mevsimsel düzensizlikler, durgun hidrolik koşullar ve deniz suyundaki tabakalaşma müsilaj oluşumunun başlıca sebepleri arasındadır. Marmara Denizi'nde müsilaj, iklim değişikliğiyle birlikte gelen düzensiz nüfus artışı ve bunun sonucu olarak gözlemlenen su kirliliğindeki artış Marmara Denizi'nde müsilaj görünme sıklığını ve müsilajın daha büyük alanlarda oluşmasına sebep olmuştur. Özellikle 2021 yılında Marmara Denizi'nde görülen müsilaj denizin dibine kadar ulaşmış çok geniş bir alana yayılarak durumun ciddiyetini artırmıştır.

## 2.3 Müsilaj ve meteorolojik değişkenler

Adriyatik ve Tiren Denizleri için yapılan çalışmalarda müsilaj oluşumunun genellikle alg üretimini hızlandıracak şartlar altında

oluştüğünü (Buzzelli vd., 1997; Urbani vd., 2005), uzun yıllara ait meteorolojik verilerin analizi sıcaklık anomalileri ile müsilaj arasında belirgin bir korelasyon olduğunu göstermiştir (Yılmaz, 2015).

Müsilaj oluşumunun meteorolojik değişkenlerle ilişkisini ortaya koymak için, daha önce yapılan çalışmalarda incelenen değişkenler sıcaklık, deniz yüzey suyu sıcaklığı ve rüzgârdır (Russo vd. 2005; De Lazzari vd. 2008). Dolayısıyla bu çalışmada da belirtilen değişkenler kullanılmıştır.

Tüm bu meteorolojik değişkenlerini müsilaj ile etkisini kavrayabilmek için anomali hesabının yapılması gerekmektedir. Anomali, bir değişkenin ilgili bölgenin için uzun dönem ortalama değerinden sapması olarak tanımlanmaktadır. Anomali hesabı için gereken denklem "Denklem (1)" olarak verilmiştir.

$$A(x) = U(x) - \mu(x) \quad (1)$$

Bu denklemde;

A(x): İstenilen meteorolojik değişken için anomali değeri.

U(x): Belirli bir zaman aralığı (saatlik, günlük, aylık vb.) için ölçülmüş olan meteorolojik değişkenin değeri.

$\mu(x)$ : Meteorolojik değişkenin, uzun dönem (yaklaşık 30-50 sene) ortalamasının istenilen zaman aralığı için değeri.

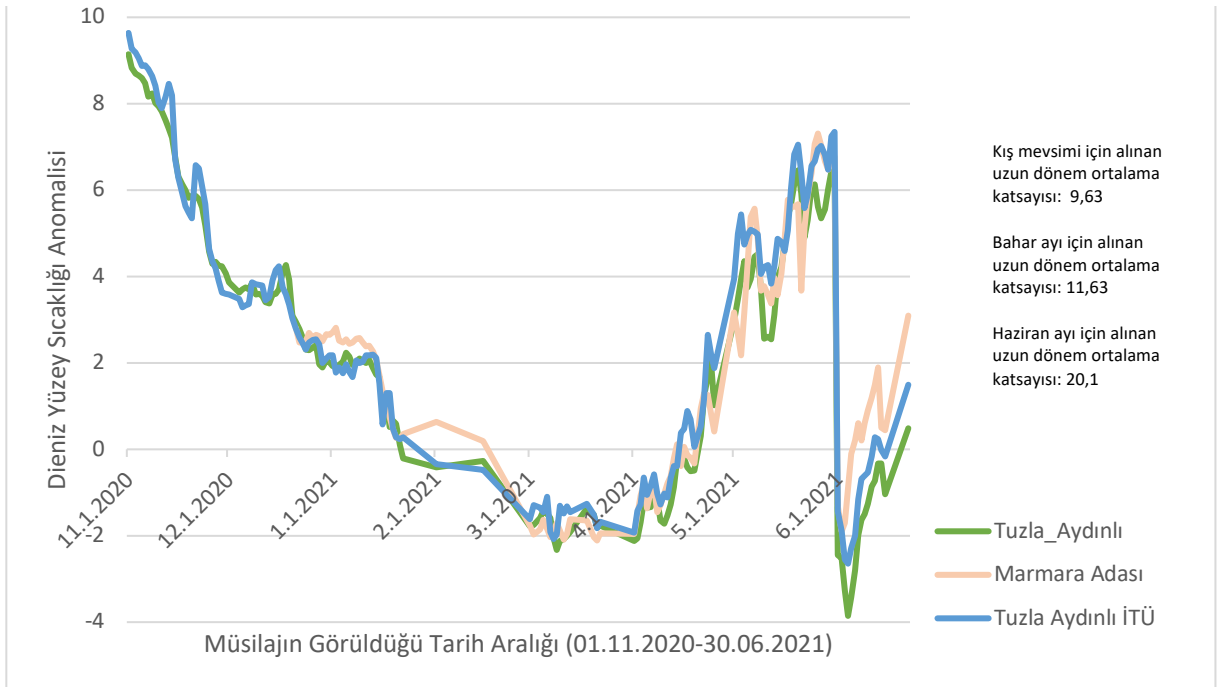
Sıcaklık anomalisinin “negatif(-)” bir değer çıkması, o zaman dilimindeki sıcaklığın, uzun dönem ortalama sıcaklık verisinden daha soğuk geçtiğini ifade etmekteyken, “pozitif(+)” bir değer çıkması halinde ise sıcaklığın ilgilenilen bölgeye ait uzun dönem sıcaklık ortalamasından daha sıcak geçtiğini ifade etmektedir.

Bu çalışmada 2021 yılında Marmara Denizi’nde görülen müsilaj olayı için analizler 01.11.2020- 22.06.2021 tarih aralığını kapsayacak şekilde yapılmıştır. Müsilaj olduğu dönemdeki meteorolojik olayların değişimini görmek için anomali değerleri incelenmiştir. Anomali hesabında; deniz suyu sıcaklığı veri setinin uzun dönem ortalaması MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) sitesinden (URL-3) alınmıştır, günlük ortalama hava sıcaklığı için veriler 01.01.1991- 01.12.2021 dönemini; günlük ortalama rüzgâr şiddeti verileri ise 01.01.2005- 11.01.2021 dönemini kapsamaktadır. Müsilajın en yoğun olarak bulunduğu zaman dilimi 14.05.2021, 19.05.2021 ve 24.05.2021 olarak belirlenmiş olup bu dönemler meteorolojik olarak daha detaylı analiz edilmiştir.

### 3. Bulgular

#### 3.1 Deniz suyu sıcaklığı

Müsilajın oluşumunda meteorolojik olarak en büyük etken deniz suyu sıcaklığıdır. Bu çalışmada, deniz suyu sıcaklık verileri için; Tuzla Aydınli Deniz Feneri, İTÜ Güney Mendirek Feneri ve Marmara Adası Barınak Ana Mendirek Feneri verilerinden yararlanılmıştır. Müsilaj olduğu dönemdeki deniz suyu sıcaklığı anomalisi Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Marmara Denizi üzerinde müsilajın görüldüğü tarihlerdeki sıcaklık anomalisi değerlerine baktığımızda genel olarak pozitif anomali olduğu görülmektedir. Müsilajın yoğun olarak gözüktüğü zaman diliminde (Mayıs ayı) deniz yüzeyi sıcaklığının, uzun dönem ortalamasından çok daha sıcak geçtiği görülmektedir. Şekil 3’te 19 Mayıs, 27 Mayıs ve 30 Mayıs tarihleri sıcaklık anomalisinin en yüksek olduğu dönemler olarak tespit edilmiştir. Mayıs ayında deniz suyu sıcaklığının mevsim normallerinden yüksek olması ve geçmiş 2007-2008 yıllarında Marmara Denizi’nde yapılmış olan analizlerle birlikte incelendiğinde müsilajın deniz yüzeyi sıcaklığı ile doğrudan bir ilişkisi olduğu söylenebilir.

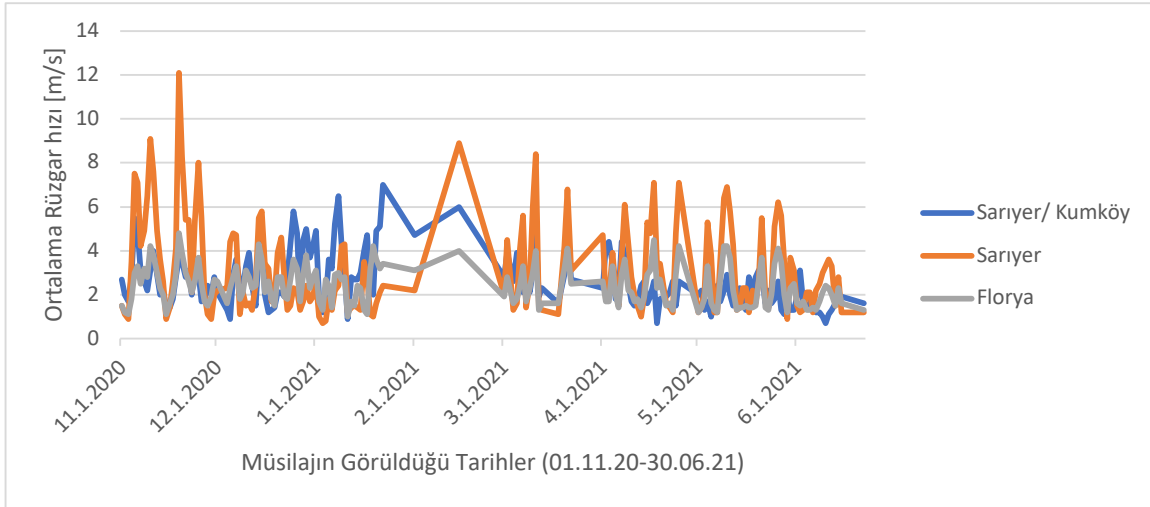


Şekil 3.1. Müsilaj döneminde Marmara Denizi’ndeki üç istasyonun mevsimsel ortalama kullanılarak hesaplanmış anomali grafiği.

### 3.2 Rüzgâr şiddeti

Müsilaj, meteorolojik olarak incelendiğinde yalnızca deniz yüzey su sıcaklığına bakmak yetersizdir. Bundan dolayı Sarıyer/ Kumköy, Sarıyer ve Florya istasyonlarına ait günlük ortalama rüzgâr hızları analiz edilmiştir. Mayıs ayında deniz suyu sıcaklıklarında süreklilik gösteren bir artış ve pozitif sıcaklık anomalisinin yanında ortalama rüzgâr hızında

da düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 3.2). Şekil 3.2’de görüleceği üzere 5-8 Mayıs, 13-19 Mayıs, 22-24 Mayıs ve 28-31 Mayıs tarihlerinde ortalama rüzgâr hızı 1,0 - 2,5 m/s aralığında değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bu aralıkta rüzgâr şiddeti değerleri sakin ve esinti olarak ele alınmaktadır. Rüzgâr hızının düşük olması müsilajın belirli bir alanda birikimini kolaylaştıracaktır.

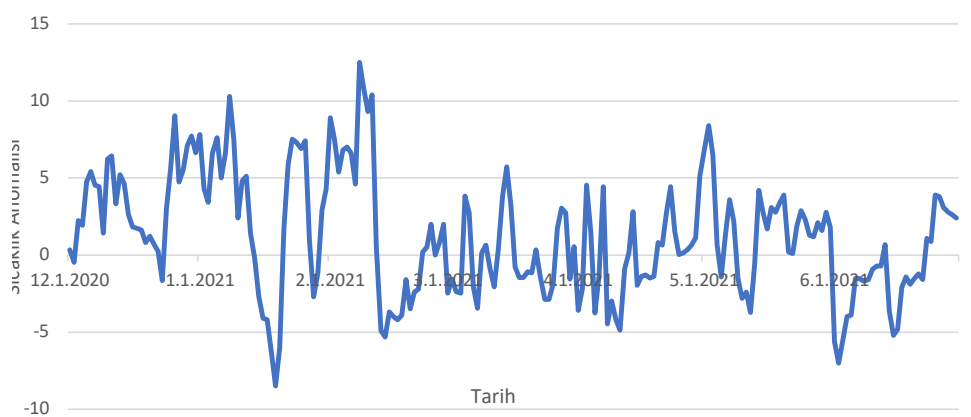


Şekil 3.2. Müsilaj dönemi boyunca günlük ortalama rüzgâr şiddeti değerleri

### 3.3 Hava sıcaklığı

Bu çalışmada; müsilaj görülen tarihleri (01.11.2020- 30.06.2021) kapsayacak şekilde ortalama hava sıcaklığı verisinin anomalisi aylık olarak Sarıyer/Kumköy istasyonu için hesaplanmış ve grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 3.3). Genel olarak grafiğe bakıldığında, 2020 Aralık ve 2021 Ocak aylarındaki sıcaklıkların genelde ortalamadan oldukça yüksek olduğu söylenebilir. Şubat, Mart ve Nisan 2021 döneminde hem pozitif hem de negatif

sıcaklık anomalisi gözlemlenmiştir. Müsilajın en şiddetli gözlemlendiği Mayıs ayı incelendiğinde, 5 Mayıs ve 9-13 Mayıs tarihleri harici diğer müsilajın şiddetli olarak görüldüğü tüm tarihlerde günlük ortalama sıcaklık mevsim normallerin üstünde gözükmemektedir (pozitif sıcaklık anomalisi). En yüksek sıcaklık anomalisi 2 Mayıs tarihinde kaydedilmiş olup mevsim normallerinden yaklaşık 8,2 °C üstünde seyretmiştir.



Şekil 3.3. Müsilaj dönemi için sıcaklık anomalisi.



#### 4. Sonuç ve Öneriler

Müsilaj; biyolojik ve kimyasal koşulların bir araya gelmesiyle oluşan, fitoplankton adlı canlının aşırı çoğalmasıyla birlikte deniz sıcaklığının yükselmesi ve buna bağlı olarak bakteriyel faaliyetlerin artışıyla oluşan sümüksü yapıya verilen addır (Kam, ve Yümün, 2021). Bu madde deniz yüzeyini kaplayarak yüzeyin ışınım geçirgenliğini (albedo) etkiler. Güneşten gelen kısa dalga boylu ışınımın büyük bir kısmı deniz yüzeyinde oluşan bu madde yüzünden absorblanır, saçılır ve küçük bir kısmı denizin alt tabakalarına ulaşarak deniz dibinde yaşayan canlılara ulaşabilir.

Marmara Denizi'nde ve diğer denizlerde bazı dönemlerde deniz salyası (müsilaj) ortaya çıkmaktadır. 2021 yılının ilkbahar ve yaz mevsimlerinde, Marmara Denizi'nde en büyük ve en yoğun müsilaj olayı gerçekleşmiştir (Kam ve Yümün 2021).

Bu çalışmada, belirtilen dönemde özellikle müsilajın en yoğun olduğu Mayıs 2021 döneminde meteorolojik şartların ve deniz suyu sıcaklığının durumu incelenmiştir.

Müsilajın yoğun olarak gözlemlendiği zaman diliminde (Mayıs ayı) deniz yüzeyi sıcaklığının, uzun dönem ortalamasından çok daha sıcak geçtiği tespit edilmiştir. 19 Mayıs, 27 Mayıs ve 30 Mayıs tarihlerinde sıcaklık anomalisinin en yüksek olduğu zaman olarak gözükmektedir. Mayıs ayında deniz suyu

sıcaklığının mevsim normallerinden yüksek olması ve geçmiş 2007-2008 yıllarında Marmara Denizi'nde yapılmış olan analizlerle birlikte incelendiğinde müsilajın deniz yüzeyi sıcaklığı ile doğrudan bir ilişkisi olduğu söylenebilir.

Mayıs ayında deniz suyu sıcaklıklarında süreklilik gösteren bir artış ve pozitif sıcaklık anomalisinin yanında ortalama rüzgâr hızında da düşüş gözlemlenmiştir. 5-8 Mayıs, 13-19 Mayıs, 22-24 Mayıs ve 28-31 Mayıs tarihlerinde ortalama rüzgâr hızı 1,0-2,5 m/s aralığında değişkenlik gösterdiği gözükmektedir. Bu aralıkta rüzgâr şiddeti değerleri sakin ve esinti olarak ele alınmaktadır. Rüzgâr hızının düşük olması deniz salyasının belirli bir alanda birikimini kolaylaştıracaktır.

Günlük ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde, 5 Mayıs ve 9-13 Mayıs tarihleri harici diğer müsilajın şiddetli olarak görüldüğü tüm tarihlerde günlük ortalama sıcaklık mevsim normallerin üstünde gözükmektedir (pozitif anomali). En yüksek anomali 2 Mayıs tarihinde kaydedilmiş olup mevsim normallerinden yaklaşık 8,2 °C üstünde seyretmiştir.


Bu çalışma meteorolojik değişkenlerin Marmara Denizi'nde müsilaj oluşumuna ait ilk çalışmadır. Veri süresinin artırılması ve deniz kirliliği ve tuzluluk verilerinin de temini ile daha detaylı yapılacak çalışmalar karar vericilere yol gösterecektir.

#### Kaynakça

- Allredge AL., Silver MW. (1988). Characteristics, Dynamics and significance of marine snow, *Progress in Oceanography*, 20, 41-82. doi:10.1016/S0278-4343(97)00009-5.
- Altıok H., Dökümcü K., Mutlu S., Öztürk İD., Ediger D., Yüksek A. (2021). İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi'nde İklim Değişikliği Göstergeleri, Eds. Salihoğlu, B., Öztürk, B. (Ed.) 2021. İklim Değişikliği ve Türkiye Denizleri Üzerine Etkileri, *Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV) Yayın no: 60, s48-62. İstanbul, Türkiye.*
- Buzzelli E., Gianna R., Marchori E., Bruno M. (1997). Influence of nutrient factors on production of mucilage by *Amphora coffeaeformis* var. *Perpusilla*, *Continental Shelf Research*. 17, 1171-1180. doi:10.1016/S0278-4343(97)00009-5.
- Danovaro R., Umani SF., Pusceddu A. (2009). Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the mediterranean sea, *PLoS ONE*, 4(9). doi: 10.1371/journal.pone.0007006
- De Lazzari, A., Berto, D., Cassin, D., Boldrin, A., Gianni, M. (2008). Influence of winds and oceanographic conditions on the mucilage aggregation in the Northern Adriatic Sea in 2003-2006, *Marine Ecology*, 29(4), 469-482.
- Edwards E. (2016). Impacts and effects of ocean warming on plankton. Explaining ocean warming: Causes, scale, effects and consequences (ss. 75-86). Ed. Laffoley, D., Baxter, J.M. Gland, Switzerland: IUCN.
- Fonda Umani S., Ghirardelli E., Specchi M. (1989). Gli episodi di "mare sporco" nell'Adriatico dal 1729 ai giorni nostri. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. *Direzione Regionale dell'Ambiente*, 178s.

- Kam E., Yümün ZÜ. (2021). Marmara Denizi'nde Müsilaj Sorunu ve Çözüm Yöntemleri, *Turkish Academy of Sciences*
- MGM (2019). [www.mgm.gov.tr](http://www.mgm.gov.tr). Alındığı tarih: 01.06.2022
- Negro PD., Crevatin E., Larato C., Ferrari C., Totti C., Pompei M., Giani M., Berto D., Umani, SF. (2005). Mucilage microcosms, *Science of the Total Environment*, 353; 258-269.
- NOAA (2019). <https://www.ncei.noaa.gov/>. Alındığı tarih: 01.06.2022
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSB), (2013). Su Yönetimi Daire Başkanlığı, Marmara Denizi kirlilik raporu.
- Öztürk İ., Şeker M. (2021). Marmara Deniz Ekolojisi; Deniz Salyasının Oluşumu, Etkileşimleri ve Çözüm Önerileri, *Turkish Academy of Sciences*.
- Russo A., Maccaferri S., Djakovac T., Precali R., Degobbi D., Deserti M., Paschini E., Lyons, D. M. (2005). Meteorological and oceanographic conditions in the northern Adriatic Sea during the period June 1999–July 2002: Influence on the mucilage phenomenon, *Science of The Total Environment*, 353(1-3), 24-38. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.058>
- Tüfekci V., Balkis N., Polat Beken Ç., Ediger D., Mantikci, M. (2010). Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara, *Turkish Journal of Biology*, 34, 199-210.
- Urbani R., Magaletti E., Sist P., Cicero, AM. (2005). Extracellular carbohydrates released by the marine diatoms *Cylindrotheca closterium*, *Thalassiosira pseudonana* and *Skeletonema costatum*: effect of P-depletion and growth status, *Science of the Total Environment*. 353, 300–306. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.026
- Yılmaz İN. (2015). Collapse of zooplankton stocks during *Liriope tetraphylla* (Hydromedusa) blooms and dense mucilaginous aggregations in a thermohaline stratified basin, *Marine Ecology*, 36, 595-610. doi:10.1111/maec.12166
- URL-1, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=K>, (Erişim tarihi: 11.11.2021).

## Basel Çevre Rejiminin Gelişimi ve Türkiye'nin Rejime Uyum Politikalarının İncelenmesi

Abdullah Muhsin YILDIZ   
a.m.yildiz@yalova.edu.tr

Yalova Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası İlişkiler Bölümü, Yalova, Türkiye


Geliş Tarihi: 10.06.2024 / Kabul Tarihi: 28.06.2024

### Özet

Afrika ülkelerinin 1980'li yıllarda atık yığını haline gelmesiyle tehlikeli atıklar, uluslararası kamuoyu gündeminin bir parçası olmaya başlamıştır. Birleşmiş Milletler (BM) tehlikeli atıkların taşınmasını gündemine almış, OECD ülkeleri birtakım düzenlemeler yapmış ve nihayet 1989 yılında konuyla ilgili Basel'de bir uluslararası konferans yapılmıştır. Bu çalışmada, tehlikeli atıklar sorununun doğasına odaklanılarak, devletlerin neden uluslararası iş birliğine yöneldiği sorusu ele alınmaktadır. Bu bağlamda, devletlerin ilgili çevresel sorunu yöneten Basel rejimine uyum sağlama süreçleri incelenmektedir. Çalışmanın argümanı, devletler belli sorun alanlarına yönelik yaptıkları müzakerelerde uluslararası hukuka dayanan, uluslararası olarak kabul görmüş kurallar, normlar, prensipler ve mekanizmalar oluşturarak ve karşılıklı bağımlı çıkarları gözeterek problemleri bertaraf etmektedir. Bu argümanın açıklanmasında kullanılacak olan rejim teorileri ve liberal kurumsalcılık yaklaşımı çalışmanın giriş bölümünden sonra yer almaktadır. İzleyen bölümde, Basel çevre rejiminin gelişimi sözleşme-protokol yöntemiyle incelenmektedir. Son bölümde, tehlikeli atıklar sorununa maruz kalan devletlerden olan Türkiye'nin mevzuatını ve uygulamalarını nasıl düzenlediği ele alınmaktadır. Argümanı test eden vaka olarak Türkiye'nin tehlikeli atık çevre sorunuyla ilgili uluslararası iş birliğine yönelmesi, mevzuatını Basel rejimiyle uyumlaştırması incelenmektedir. Özellikle Avrupa Birliği (AB) üyeliği sürecinde çevre fasıllarının açılmasıyla Türkiye'nin ilgili mevzuatını uyarlaması, izleme, depolama, geri dönüşüm ve bertaraf kapasitesini artırması dikkat çekmektedir. Türkiye'nin çevre politikaları ve özellikle Basel çevre rejimine uyumu, tehlikeli atık yönetiminin kurumsallaşması ve AB'yle uyumlaştırması; Kalkınma Planları, Avrupa Komisyonu İlerleme Raporları, Resmî Gazetede yayımlanan mevzuat, ilgili Bakanlık resmi internet sayfaları, raporları ve eylem planları evraklarıyla incelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Tehlikeli atık, rejim teorileri, liberal kurumsalcılık, Basel Sözleşmesi, Türkiye

## Evolution of Basel Environment Regime and Analysis of Türkiye's Adaptation Policies

Abdullah Muhsin YILDIZ   
a.m.yildiz@yalova.edu.tr

Yalova University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of International Relations,  
Yalova, Türkiye

Arrival Date: 10.06.2024 / Accepted Date: 28.06.2024

## Abstract

As African countries became waste piles in the 1980s, hazardous waste became an agenda of the international public. The United Nations take the transportation of hazardous wastes into consideration, OECD countries formulated several regulations, and finally an international conference on hazardous waste was held at Basel in 1989. This study focuses on the nature of the hazardous waste issue and addresses the question of why states tend to international cooperation. In this context, states' adaptation process to the Basel regime that tackles the relevant environmental problem are examined. The argument of the study is that states eliminate problems by establishing internationally accepted rules, norms, principles and mechanisms based on international law and by considering mutually dependent interests in their negotiations on certain problem areas. After the introduction part, the regime theories and liberal institutionalism approach used to explain the argument. In the following section, the development of the Basel environmental regime is examined using the contract-protocol method. In the last section, how Türkiye, one of the states exposed to the hazardous waste problem, has regulated legislation and practices is discussed. Testing the argument of the study, Türkiye is selected as a case. Türkiye's tendency towards international cooperation regarding the hazardous waste environmental issue and adaptation of its legislation with the Basel regime are analyzed. It is noteworthy that Türkiye has adapted its related legislation and increased monitoring, storage, recycling and disposal capacity, especially with the opening of environmental chapters during the European Union accession process. Türkiye's environmental policies, especially its compliance with the Basel environmental regime, institutionalization of hazardous waste management and adaptation with the EU, are examined through Development Plans, European Commission Progress Reports, legislation published in the Official Gazette, official websites of the relevant Ministry, reports and national action plans.

**Keywords:** Hazardous waste, regime theories, liberal institutionalism, Basel Convention, Türkiye

## 1. Giriş

Bundan yıllar önce Karadeniz'in Sinop kıyılarında nereden geldiği bilinmeyen variller bulunmuştur. Bölgede yaşayan halk, bu varillerin içerebileceği zararları bilmeden onlara dokunarak temas etmiştir. Söz konusu varillerin hangi ülke menşeli olduğunun tespit edilmesi bir hayli vakit almıştır. Varillerin menşenin tespit edilmesinden sonra, onların İtalya'ya gönderilmesi tam on dokuz yıl sürmüştür. Bu süreç boyunca konuyla ilgisi olan Türkiye, Romanya ve İtalya kamuoyları konuyla yakından ilgilenmiştir. Bu çalışmada ele alınmakta olan Basel Sözleşmesi'nin yarattığı uluslararası iş birliği ve baskı ortamı olmasaydı, bu varillerin akıbeti Akdeniz'deki M/V Ulla gemisi gibi olabilirdi. Tüm araştırmalara rağmen, bu varillerin halen ne kadarının Karadeniz'in derinliklerinde olduğu kesin olarak bilinmemektedir. M/V Ulla gemisi ise

İspanya kaynaklı tehlikeli atıkların Cezayirli otoritelerin reddi ve taşıyıcı firmanın Türk olması sebebiyle Akdeniz sahillerine demir atmıştı. İspanya yönetiminin rıza göstermesine rağmen, Ulla'nın ömrü Akdeniz sularına dört yıl kadar dayanabilmiş ve sonra derinlere gömülmüştü. Ticareti yapan şirketin tehlikeli atıkların çıkarılması için kaynak ayırmasına karşın, bu atıkların çıkarılması konusunda önemli bir ilerleme kaydedilmemiştir. Bu olayın etkileri, bölge ekosisteminde yaşayan canlıların ve yerli balıkçıların üzerinde halen devam etmektedir.

1980'lerde Afrika ülkelerinin atık yığını haline gelmesiyle tehlikeli atıklar, uluslararası kamuoyu gündeminin bir parçası olmaya başlamıştır (Clapp, 1994: 17-18). Söz konusu yıllarda Birleşmiş Milletler (BM) de konuyu gündemine almak zorunda kalmış, problemin

asıl kaynağı olan Ekonomik ve Kalkınma İş Birliği Örgütü (OECD) üyeleri, tehlikeli atıklar ticareti üzerine birtakım düzenleme yapmıştır. Özellikle Batı Almanya'nın ürettiği ve bertaraf edilmesi için Doğu Almanya'ya gönderdiği atıkların, Doğu Almanya'nın nehirlerini ve Doğu Berlin'in havasını kirlettiğinin anlaşılması, kaynak coğrafya ile bertaraf eden coğrafya arasındaki mesafenin oldukça kısalmış olduğunu göstermiştir. 1980'li yıllarda artan kamuoyu farkındalığı, uluslararası kurumların inisiyatif alması ve insanların iletişim araçları üzerinden gördüğü, duyduğu veya bizzat yaşadığı olaylar sebebiyle tehlikeli atıklar üzerine bir uluslararası konferans düzenlenmesini elzem hale getirmiştir. 1989 senesinde Basel görüşmelerinde bir araya gelen devletler, tehlikeli atıkların sınır aşan çevreye oluşturduğu sorunları uzun vadede çözmek, en azından kısa vadede tehlikeli atıkların ticaretini belli kurallara bağlamak için anlaşmaya varmıştır. Cereyan eden olaylar sorunun sınır ötesi doğasını göstermekte, planlanan iş birliğinin tüm devletlerin faydasına olacağını işaret etmekteydi.

Bu çalışmada, tehlikeli atıklar sorununun doğasına odaklanılarak, devletlerin neden uluslararası iş birliği yaptığı sorusu ele alınacaktır. Bu bağlamda, devletlerin ilgili çevresel sorunu yöneten Basel rejimine neden rıza gösterdikleri incelenecektir. Çalışmanın argümanı, devletler belli sorun alanlarına yönelik yaptıkları müzakerelerde uluslararası hukuka dayanan, uluslararası olarak kabul görmüş kurallar, normlar, prensipler ve mekanizmalar oluşturarak ve karşılıklı bağımlı çıkarları gözeterek problemleri bertaraf etmektedir. İkinci bölümde, bu argümanın açıklanmasında kullanılacak olan rejim teorileri ve liberal kurumsalcılık yaklaşımına yer verilecektir. Bu bölümde ilk olarak uluslararası rejim teorilerinin ortaya çıkışı ele alınacaktır. Ardından çalışmanın konusu olan Basel çevre rejiminin incelenmesinde faydalanılacak olan liberal kurumsalcılık yaklaşımına yer verilecektir. Anlaşma rejimi, uluslararası çevre rejimi gibi kavramlar açıklanacak, uluslararası iş birliğinin niçin gerçekleştiği ve ne kadar etkili olduğu sorularına da cevap aranacaktır. Küre-

sel çevre yönetiminin ortaya çıkmasında çok taraflı anlaşmalara, devletlerarası bir kuruluş olan BM'nin katkısına ve ilk küresel konferans olan Stockholm Konferansı'nın önemine değinilecektir. Üçüncü bölümde, Basel çevre rejiminin gelişimi sözleşme-protokol yöntemiyle incelenecektir. Bu bağlamda problemin doğası, kapsamı ve sebebi, gelecek müzakereler için yönlendirmeleri, rapor hazırlanması gibi devletler üzerine verilen yükümlülükler, devletler üzerinde bağlayıcılığı olan protokoller ya da yasa değişiklikleriyle somut hedeflere yönelme durumları incelenecektir. Bu bölümün ilk kısmında problemin doğası, kapsamı, gündelik hayattaki etkileri ve çözümüyle ilgili yeni gelişmelere yer verilecektir. İkinci kısmında sorunun hukuksal geçmişi ve 1980'lerdeki gelişmelerle nasıl rejim haline geldiği ve Basel sözleşmesinin geleceğe bıraktığı müzakere alanları ve hukuksal ve idari düzenlemeler incelenecektir. Üçüncü kısımda ise, Basel Sözleşmesi'nin kendisi analiz edilerek, bu bağlamda tarafların problemi nasıl tanımladığı, sözleşmenin belirlediği gelecek aksiyonlar ve bağlayıcı zorunluluklar saptanacaktır. Dördüncü ve son bölümde, tehlikeli atıklar sorununa maruz kalan devletlerden olan Türkiye'nin anlaşmaya ne derece rıza gösterdiğini anlamak için mevzuatını ve uygulamalarını nasıl düzenlediği ele alınacaktır. Türkiye'de çevre üzerine kurumların inşa edilmesinin geçmişi dikkate alınarak, Kalkınma Planları üzerinden tehlikeli atıklar yönetiminin kurumsallaşması incelenecektir. Türkiye'nin AB Müktesebatına uyum programında tehlikeli atıkların durumu İlerleme Raporları ve Ulusal Eylem Planları dokümanlarıyla ele alınacak ve son olarak Eurostat ve Türkiye'deki ilgili bakanlıkların tehlikeli atık üzerine verileri değerlendirilecektir.

## 2. Uluslararası Rejim Teorileri ve Liberal Kurumsalcılık

Uluslararası rejim teorileri uluslararası ilişkilerde liberalizmin tekrar tartışma konusu olmaya başladığı bir dönemde ortaya çıkmıştır. Yapısalcılık tartışmalarının hâkim olduğu ve sistem düzeyinde analizin yaygınlaştığı bu akademik iklimde Keohane ve Nye (1977) meşhur çalışmalarını hazırlamış, realizm ile

meşhur çalışmalarını hazırlamış, realizm ile liberalizm arasındaki tartışmayı, bu kez analiz olarak sistem düzeyinde olmak kaydıyla tekrar canlandırmışlardır. Bu iki sosyal bilimcinin çalışmaları hem uluslararası siyasette Amerikan hegemonyasının zayıfladığı Vietnam Savaşı sonrası yıllarda hem sınır ötesi kirliliğe karşı duyarlılığın arttığı bir dönemde “karşılıklı karmaşık bağımlılığa” işaret etmiştir. Uluslararası rejimlerin ortaya çıkması, iki akademisyenin işaret ettiği ve uluslararası sistemdeki sorunların bir temsili olan “karşılıklı bağımlılık” kavramıyla doğrudan ilgilidir. Bu yüzden karşılıklı bağımlılığın giderek arttığı ve Amerikan hegemonyasının zayıfladığı bir dünyada birtakım uluslararası problemlere karşı cevap üretebilecek mekanizmaların ve kurumların oluşturulması daha hayati bir önem kazanmıştır.

Söz konusu dönemde oluşturulan erken dönem rejim teorilerini zaman içinde neoliberal kurumsalcılık, yeni işlevselcilik, sosyal inşacılık ve küresel yönetim izlemiştir (Pettenger, 2014: 111). Bu çalışmanın konusu olan Basel çevre rejimi ise (neo)liberal kurumsalcılık yaklaşımından faydalanılarak değerlendirilmektedir. Kısaca ikisi arasındaki bağı özetlemek gerekirse, uluslararası rejim teorileri devletlerin kurumsallaşmış davranışlarıyla ilgilenir ve bu davranışların nasıl ve hangi durumlarda değiştirilebilirliğini sorunlaştırırken, liberal kurumsalcılık yaklaşımı uluslararası sistemdeki karşılıklı bağımlılığa odaklanarak, çok taraflı anlaşmaların, bağlayıcı mekanizmaların ve yönetici kurumların oluşturulmasına önem vermektedir. Takip eden kısımda çalışmanın arka planını oluşturan uluslararası rejimlerin oluşumuna ve liberal kurumsalcılık yaklaşımına yer verilmektedir.

Krasner (1983: 2), rejimlerin ortaya çıkışını “açık ya da kapalı prensipler, normlar ve karar alma prosedürleri etrafında aktörlerin bir uluslararası ilişkiler alanına dair beklentilerinin çakışması şeklinde” görmektedir. Rejimlerin ortaya çıkışı aynı zamanda küresel çevre yönetimi mekanizmalarının kurulmasını sağlamıştır. Küresel çevre yönetimiye

yeni kuralların, örgütlerin, normların ve ilgili sorun alanlarına dair karar alma prosedürlerinin oluşturulması ve geliştirilmesini içermektedir. Aynı tanımdaki aktörlerin beklentileri bağlamında, rejimler ilgili problemdeki oyunun kurallarını belirlerken, öte yandan aktörlerin davranışlarının meşru sınırlarını tayin etmektedir (Rittberger, 1995: xii). Dolayısıyla bu davranışların, yani kuralların, normların ve aktörlerin bir arada toplanması bir uluslararası rejimi oluşturmaktadır.

Bir rejim ise devletler tarafından müzakerede edilmiş sözleşmeleri, bu sözleşmeleri yürütmek için kurulan örgütleri ve sorunla ilgili gelecek müzakereleri yönetecek karar alma süreçlerini belirlemektedir. Bir rejim aynı zamanda rejim üyelerinin davranışları üzerinde etkili olan daha az resmi, kâğıt üzerine yazılmayan ancak yapıla geliş haline gelmiş, yani herkes tarafından kabul edilen normları, davranışları ve hedefleri de tayin etmektedir. Liberal kurumsalcılık ise bu devletler tarafından yapılan kurala dayalı yapıların, yani uluslararası rejimlerin devletlerin çıkarlarını nasıl değiştirdiğiyle ilgilenmektedir (Keohane, 1989). Böylece rejimler devlet davranışının fayda beklentisi üzerine dayalı bir kurum formu içerisinde rutinleşmiş davranışlar ve toplumsal pratiklerdir. Kuzey Atlantik Savunma Örgütü’nde (NATO) olduğu gibi fiziksel kurumlara da sahip olabilirler, öte yandan günlük hayatta rutinleşmiş bazı davranış biçimleri gibi fiziksel olmayabilirler.

Uluslararası rejimler çoğunlukla bir çerçeve sözleşmeye dayanmaktadır. İklim değişikliği rejimi, 1992 tarihli BM İklim Değişikliği Sözleşmesine dayanırken, çölleşme rejimiye 1994 tarihli BM Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi etrafında şekillenmektedir. Bu sebeple ilgili literatürde “anlaşma rejimi” kavramı sıklıkla kullanılmaktadır (Agius, 2014: 28). Biyolojik Çeşitliliği Koruma rejiminin pek çok sözleşme etrafında sürdürülmesiye oldukça istisnai bir örnek olarak göze çarpmaktadır. Birden fazla sözleşmeye dayanan bu rejim, 1992 tarihli Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi, 1972 tarihli Dünya Mirası Sözleşmesi, 1979 tarihli Göçmen Türler Sözleşmesi ve

1973 tarihli Nesli Tükenmekte Olan Türlerin Uluslararası Ticaretine dair sözleşmeyle tanımlanmaktadır. Bunun yanı sıra önemli gayretler olmasına rağmen hiçbir anlaşmaya dayanmayan ve önemli bir istisnayı oluşturan ormanlar rejimi de bulunmaktadır.

Rejim oluşturma teorileri, başarılı ya da başarısız müzakere süreçlerine etki eden faktörleri incelemektedir. Bu bağlamda devletlerin çıkarlarını ve tercihlerini, devlet temsilcilerinin göreceli pazarlık gücünü, belirli sorunun karakteristiklerini, yerel ve ulus ötesi boyutta devlet dışı aktörlerin rolünü ortaya çıkan sonuç neticesinde ele almaktadırlar. Uluslararası çevre sorunlarının bir rejim oluşturma teorisinin içine yerleştirilmesi niçin uluslararası anlaşmalara sahip olduğumuza dair açıklama sunmaktadır. Oran R. Young'ın çalışmasına göre, güce dayalı açıklamalar bir uluslararası rejimin oluşması için yeterli değildir, çünkü bir rejimin oluşması için mutlaka bir hegemonik liderliğe ihtiyaç olmadığı örnekler bulunmaktadır. Dolayısıyla yalnızca bir hegemonik gücün varoluşu ya da bir lider gücün bulunması bir rejimin oluşması için gerekli motivasyonu sağlamayabilir (Young, 1989: 352).

Young bu çalışmasının bir bölümünde, uluslararası iş birliğinin hangi koşullarda ortaya çıkabileceği ve başarılı olabileceğine dair saptamalarını “kurumsal müzakere” kavramıyla tartışmıştır (1989: 366-374). Birincisi, sonuçları ciddi olabilecek bir sorunla ilgili bireylerin sorun hakkında öngöremez durumda olması müzakerecileri inisiyatif almaya yönlendirebilir. İkincisi, yapılan tüm düzenlemelerin etkili bir çözüme gitmesinden ziyade taraflar arasında eşitliği gözetmesi başarı açısından önemlidir. Üçüncüsü, çarpıcı bir çözümün varlığı da başarı ihtimalini yükseltir. Dördüncüsü, düzgün ve etkili itaat mekanizmaları olduğu durumlarda da kurumsal müzakere ihtimali yükselir. Beşincisi, dışsal şoklar ya da krizler durumlarında uluslararası rejimlerin şartlarını görüşmeye yönelik çabalarda başarı ihtimali artar. Altıncısı, etkili bir liderlik olursa kurumsal müzakere güçlenir, böyle bir liderliğin yokluğunda ise başarısız olur.

Uluslararası rejimlerin neden ortaya çıktığı kadar etkinliği ve uygulanması da önemli ilgi alanlarından biridir. Bernauer'e (1995) göre rejimin başarılı ya da başarısız şekilde değerlendirilmesinde üç faktör özellikle önemli bir role sahiptir. Bunlardan birincisi olan “amaca ulaşma” aktör davranışlarındaki ve doğal çevre ortamının zaman içinde kurum tarafından tanımlanan ölçülere göre meydana gelen değişikliklerdir. İkincisi, bir kurumun varlığı ya da çalışması amaca ulaşma sürecindeki değişimlere ne derece katkıda bulunduğudır. Üçüncüsü ise, kurumsal tasarımın özel boyutlara şekil almasıdır. Bu şekil alma, karar alma kurallarının oluşturulması, üyelik ve katılım koşullarının belirlenmesi ve uyumluluk sisteminin kurulması gibi meydana gelen değişikliklerdir.

Liberal teorisyenler ya da neoliberal kurumsalcılar şimdiye kadar olan kısımda tarihsel arka planı anlatıldığı üzere devletlerin birbirine karşılıklı bağımlı oluşundan yola çıkmaktadır (Baldwin, 1993; Keohane ve Nye, 1977; Keohane, 1984). Uluslararası sistemde bir üst otoritenin yokluğunda ortak barışın ve refahın sağlanması hedefleri arasında yer almaktadır. Bunun yanı sıra uluslararası toplum için mutlak bir fayda sağlaması için güçlü bir inisiyatif almanın önemine dikkat çekmektedirler. Bunun gerçekleşmesinin uluslararası hukuk zemininde ulus devletlerden ve diğer aktörlerden oluşan uluslararası toplumun oluşturulmasında mümkün görmektedirler. Devletlerin uluslararası iş birliği yaparak, ortak hedeflerin gerçekleştirilmesine katkı sağlayabileceğini savunmaktadırlar. Eğer uluslararası hukukun zemininde, tüm aktörlerin bir araya gelerek güçlü bir inisiyatifin alınabileceği kurumsal mekanizmalar oluşturulursa şeffaflık artacak ve iş birliği maliyetleri azalacaktır (Haas vd., 1993). Bu durumda bazı ülkelerin “free rider” olma durumu, yani katkı yapmadan fayda elde ettiği durumlar da ortadan kalkacaktır. Günümüze değin üç kez küresel bir toplantı yapmayı başaran BM ve küresel sivil toplum kuruluşları bu rolü yerine getirmektedir.

Küresel çevre yönetimi ilk kez BM'nin 1972 yılında Stockholm'de düzenlediği insan ve çevre (BMİÇK) üzerine olan konferansla ortaya çıkmıştır. 114 ülkenin temsilcilerinin bir araya geldiği konferans küresel çevre yönetiminin altyapısını oluşturmuştur. Bu toplantıdan itibaren ulus devletler arasında çevre sorunlarıyla ilgili müzakereler yürütülmeye başlanmış ve çok taraflı uluslararası anlaşmalar imzalanmıştır. Bu anlaşmaların koordinasyonu Stockholm'de oluşturulan BM Çevre Programı tarafından gerçekleştirilmiştir. Haas'ın (2001: 316) belirttiği üzere 1920'den günümüze 140'tan fazla çok taraflı çevre anlaşması yapılmış ve bunların yarısından fazlası 1973'ten sonra oluşturulmuştur. Eğer diğer yasa değişiklikleri, protokoller ve var olan anlaşmalardaki diğer yasal değişimler ilave edilirse, Mitchell (2003: 434-435) iki ya da daha fazla hükümetin anlaştıkları çevre taahhütleri sayısının 700'ü aştığını belirtmektedir. BM 1992 yılında ikinci bir uluslararası konferansı Rio de Janeiro'da düzenlemiştir. Conca (2005: 121) bu konferansı devletler arası diplomasi küresel çapta bir pazarlığı-müzakerayı başardığı liberal uluslararası çevreciliğin büyük stratejisi olarak değerlendirmiştir. BM'nin Ekonomik Kalkınma üzerine olan bu konferansı iklim değişikliği ve çok tür lülüğün korunması konularında birer çerçeve konvansiyon belirlemiş ve Ajanda 21 aksiyon planının uygulanmasını sağlamıştır.

Özetle, uluslararası rejimlerin kurumsalcı perspektifi bir rejim içerisinde belirlenmiş olan kurallar ve pratikler devletlerin iş birliği maliyetlerini düşürdüğünü savunmaktadır. Devletler bir uluslararası rejim etrafında oluşturulan kurumlar sayesinde hem bir araya geldikleri hem ortak bir uzlaşmaya ulaşabildikleri kapsayıcı bir zemine sahip olmaktadır. Bu kurumlardaki görüşmelerde paylaşılan hedefler üzerinde bir anlaşmaya varılması, devletlerin zaman içinde karşılıklı kazanımlara sahip olmasını sağlamaktadır. Rejimlerin ortak kazanımlardaki işlevlerinden biri kurallar oluşturup, pratikleri ortaya dökerek şeffaflığın artmasını sağlamalarıdır. Açıkça görüldüğü üzere çevre rejimlerinin neredeyse tamamı, ulusal raporlara ve değerlendirme-

lerin yapıldığı mekanizmalara sahiptir. Rejimlerin bu özelliği sayesinde anlaşmayı ihlal eden taraflar yaptırımlara maruz kalabilir. Bir sonraki bölümde tehlikeli maddelerin ve atıkların taşınması sorununa odaklanan 1989 tarihli sözleşmenin adını taşıyan Basel rejiminin oluşumu incelenmektedir. Basel çevre rejiminin ortaya çıkması bu bölümde açıklanan liberal kurumsalcılık perspektifiyle analiz edilmektedir.

### 3. Basel Çevre Rejiminin Oluşturulması

Bu bölümde çevre anlaşmalarının müzakerelere sürecini değerlendiren "sözleşme-protokol metodundan" faydalanılmaktadır (Susskind, 1994: 30-37). Bu bağlamda problemin doğası, kapsamı ve sebebi, gelecek müzakereler için yönlendirmeleri, rapor hazırlanması gibi devletler üzerine verilen yükümlülükler, devletler üzerinde bağlayıcılığı olan protokoller ya da yasa değişiklikleriyle somut hedeflere yönelme durumları incelenmektedir. Birinci alt başlıkta ilk olarak tehlikeli atıkların ticareti sorununa bir giriş yapılmakta ve Basel rejiminin doğası ve sorunları tespit edilmektedir. İkinci olarak tehlikeli atık ticaretinin kısaca çevre sorunları içinde hangi kategoride yer aldığı incelenmekte, ardından özelliklerine ve etkilerine değinilmektedir. Üçüncü olarak tehlikeli atıkların üretim, taşınma, bertaraf etme aşamalarındaki sorunlarına odaklanılmaktadır. Dördüncü olarak, rejim kapsamına girmeyen ancak rejimle ilgili gündelik hayatta yaşanan bazı problemlere yer verilecek ve son olarak tehlikeli atıkların yönetimiyle ilgili yeni gelişmelerden söz edilmektedir. İkinci alt başlıkta ilk olarak tehlikeli atıkların taşınması rejiminin ilk hukuksal uygulamalarına ve 1970'lerden itibaren yükselen ulus devletler arasında üst otoritenin yokluğunda gerçekleşen iş birliği dalgasına yer verilmektedir. İkinci olarak, söz konusu yıllarda oluşturulan sözleşmelerin, OECD politikalarının, BM Çevre Programı'nın Basel Sözleşmesi'nin ortaya çıkışındaki önemi incelenmektedir. Üçüncü olarak, Basel Sözleşmesi'nin ardından imzalanan bölgesel ticaret yasakları, Basel Sözleşmesi Taraflar Konferansları, Basel Yasağı görüşmeleri, Yükümlülük ve



Tazminat Düzenlemesi, Basel’le bağlantılı olan Rotterdam, CLRTAP (Kirleticilerin Uzun Menzilli Taşınımı), Stockholm Sözleşmeleri ve SAICM’in (Uluslararası Kimyasallar Yönetimine Stratejik Yaklaşım) kurulması ele alınmakta, Basel Sözleşmesi sonrası hukuki gelişmeler izlenmektedir. Üçüncü alt başlık, Kate O’Neill’in beş kategorisine göre (kriz ve farkındalık, liderlik ve baskı, oyunun kuralları, yerel gruplar ve kuzey-güney siyaseti) Basel rejiminin oluşumundaki faktörlerin incelenmesiyle başlamaktadır. Ardından 1989 tarihli Basel Sözleşmesi’nin içeriğinde yer alan tehlikeli atıkların üç kategorisine (üretim, taşınma ve bertaraf) yer verilmekte ve yine belirtilen bu üç sürece göre sözleşmenin hedefleri saptanmaktadır. Son olarak, Basel Sözleşmesi’nin giriş ve gelişme bölümleri belirli sorular etrafında analiz edilmektedir. Sözleşmenin giriş kısmına ilişkin tarafların problemi nasıl tanımladıklarıyla, sözleşmenin gelecek aksiyonlarla ilgili içerdiği maddelerle ve aktörlerin davranışlarına yönelik kınama olup olmadığıyla ilgilenilmektedir. Gelişme kısmına ilişkin tarafların yükümlülükleri, farklılaşmış sorun alanları, sözleşmenin yürütülmesi ve ihlal edilmesi durumları araştırma

konusu olacaktır.

### 3.1 Tehlikeli maddelerin ve atıkların taşınması ve ticareti

Uluslararası çevre sorunları, etkileri bakımından mekânsal olarak küresel, sınır aşan ve yerel olarak üç sınıfta kategoriye ayrılmaktadır (O’Neill, 2009: 31-36). Bu kategoriler, Çizelge 3.1.’de görüleceği üzere küresel ortak sorunlar, sınır aşan çevre problemleri ve yerel birikimli sorunlar şeklinde adlandırılmaktadır. Birinci kategoride hem canlı ekosisteminin küresel olarak etkilendiği iklim değişikliği, ozon incilmesi, deniz ortamına dair sorunlar yer alırken hem tüm toplumların evrensel bir değer olarak kabul ettiği balina avcılığının yasaklanması yer almaktadır. İkinci kategoride sınır ötesi etkileri olan yani bir bölgede başlayıp diğer bölgelere yayılan hava kirliliği, tehlikeli atık ticareti ve nehirlerin kirlenmesi gibi sorunlar yer almaktadır. Daha ziyade bölgesel düzeyde etkili olan ormansızlaştırma ve çölleşme ise üçüncü kategoride değerlendirilmektedir. Bu çalışmanın konusu olan tehlikeli atık ticareti, ikinci kategoride yer alarak sınır aşan çevre problemleri kapsamında yönetilmektedir.

**Çizelge 3.1.** Çevre Sorunlarının Kategorileştirilmesi

Kategori	Sorunlar
Küresel Ortak Sorunlar	İklim Değişikliği, Ozon İncilmesi, Balina Avcılığı ve Deniz Ortamı
Sınır Aşan Çevre Problemleri	Sınır Ötesi Hava Kirliliği, Tehlikeli Atık Ticareti ve Nehirlerin Kirlenmesi
Yerel Birikimli Sorunlar	Ormansızlaştırma ve Çölleşme

Tehlikeli atıklar zehirli, yanıcı, aşındırıcı, patlayıcı gibi özelliklere sahip olabilir. Aynı zamanda doğada katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilirler. Kullanılmış yağlardan, elektronik eşyalara ve batık gemilere kadar geniş bir yelpazede sınıflandırılırlar. Ancak yapılan uluslararası müzakerelerle bu çalışmada ve Basel rejimi içerisinde kullanılan tehlikeli atık kavramı sınırlandırılmıştır, çünkü tehlikeli atık tanımına dahil olan bazı maddeler başka sözleşmelerin ve rejimlerin ilgi alanına girer. Öte yandan tehlikeli atıkların etkileri

arasında hassas kimseler ve ekosistemler için şiddetli ve lokal etkileri bulunmaktadır. Özellikle bazı kimyasal ilaçlar tarımda uğraşan işçiler üzerinde çeşitli faktörlerden kaynaklı olarak pestisit zehirlenmelerine sebep olurken, POP’ların (dirençli organik kirleticiler) Kuzey Kutup Bölgesine kadar yayılmış olmaları gibi insana ve ekosisteme zararlı çeşitli olumsuz gelişmeler yaşanmaktadır. Söz konusu maddeler ve atıklar tarım kimyasalları, pestisitler, elektronik atıklar, radyoaktif atıklar, nanomateryaller ve POP’lara kadar

geniş bir yelpazeye yayılabilirler. Öte yandan tehlikeli maddeler ve atıklar üretim, kullanım, taşıma ve bertaraf olma gibi süreçlerden geçmektedir. Bu çalışmanın konusu olan 1989 tarihli Basel Sözleşmesi, birinci ekinde (Annex I) kendi alanına giren maddelerin ve atıkların bir listesini belirleyerek sınırlamış ve süreç olarak bunların taşınması ve ticareti boyutuna odaklanmıştır. Bir bakıma rejim atıkların üretimini ve taşınmasını insan sağlığına ve çevreye verdiği zararlar sebebiyle sınırlandırdığı için “kirlilik kontrolü rejimi” olarak da sınıflandırılabilir (Chasek vd., 2014: 100). Ancak oluşturduğu listelere ve kirlilik önleyici misyonuna rağmen, genel olarak kabul edilmiş bir atık tanımı olmadığı gibi, evrensel bir tehlikeli atık tanımı da bulunmamaktadır (Selin, 2014: 427). Bu durum rejimin doğasındaki önemli sorunlardan birisi olarak ortada durmaktadır.

Rejimin doğasındaki önemli sorunlardan bir diğeri atık üretimiyle ilgilidir. Günümüzde yüksek derecede üretim ve tüketim yapan ülkeler haliyle oldukça fazla tehlikeli atık üretmektedir. Bu konuda detaylara inildikçe diğer sorunlar hemen göze çarpmaktadır. Örneğin, yıllık atık üretimiyle ilgili güvenilir bir bilgi eksikliği durumu söz konusudur. Aynı zamanda atığın ne olduğu daha önce yer verildiği gibi ülkeden ülkeye değişmektedir. Dolayısıyla bu istatistiksel eksiklik ulusal karşılaştırmalar yapılmasını hem zorlaştırmakta hem problemin küresel boyuttaki kapsamının tam olarak anlaşılmasını karmaşık hale getirmektedir. Bunun tek istisnai aktörü ulusüstü mekanizmalarını oluşturmuş olan Avrupa Birliği’dir. AB ürettiği toplam atık miktarını hesaplayabilmekte ve bunun ne kadarının AB hukukuna göre tehlikeli atık olduğunu oranlayabilmektedir.

Tehlikeli maddelerin ve atıkların ticareti veya taşınması bağlamında, bu transferin zararlarının bilinmemesinin yanı sıra gemi atıklarının bir ülkeden bir ülkeye taşınması örneğinde olduğu gibi ‘niyetlenilmiş’ olma durumu söz konusu olabilir. Tehlikeli atıkların bir ülkeden bir diğerine nakli, özellikle Ku-

zey’den Güney’e, imha etme ve geri dönüştürme amaçlarıyla da olabilir. Ancak BM’nin bu durumu 1984-1985’li yıllarda önemsemesiyle Kuzey’den Güney’e yapılan bu transfer işleminin uluslararası bir problem olduğu bilincine varılmıştır. BM problemi daha öteye taşıyarak, açıkça kuzeyin zengin ülkelerinin atıklarının güneyli fakir topluluklara taşınması olarak belirlemiştir (O’Neill, 2009: 30-31).

Tehlikeli atıkların, gelişmiş ülkelerden bir uluslararası çevre rejimine uyumun, izlemenin ve düzenlemelerin uygulanmasının daha zayıf eğilimler gösterdiği gelişmekte olan ülkelere doğru sınır ötesi taşınması gerçeği sorunun bir başka yönüdür. Söz konusu ülkeler genellikle atık yönetimi pratiklerinin geliştirilmesinde finansal ve teknik kapasite olarak kısıtlıdır (GEO 5, 2012: 170). Bu yüzden endüstrileşmiş ülkelerin tehlikeli atıkları pahalı bir biçimde bertaraf etmekten ziyade diğer ülkelerle ticaret etme gayreti içerisinde olmaları rejimin sürdürülmesinde önemli bir sorun teşkil etmektedir.

Rejimin bir başka sorunlu alanı olan atıkların toplanması ve bertaraf edilmesiyle ilgili oluşturulan altyapısal kurumların geçmişi Batı Avrupa’da 1800’lerin başlarına dayanmaktadır. Devletler zaman içinde bazı türde tehlikeli atıkların yönetimi için karşılıklı iş birliğine yönelerek hem ulusal hem uluslararası standartlar ve kurallar oluşturmuştur. Bunun en erken örnekleri açık bir biçimde yakma yöntemidir. Ancak bu yöntemin hem çevreye hem insan sağlığına oldukça zarar verdiği ortaya çıkmış olmasına rağmen, gelişmekte olan ülkelerde yaygın bir biçimde kullanılmaya devam etmektedir. Diğer kullanılan yöntem ise toprak altına gömerek depolamadır. Dolayısıyla güneyli ülkeler halen tehlikeli atıkların güvenli bir biçimde bertaraf edilmesi için gerekli teknolojiden yoksundurlar.

Etkili bir biçimde atık yönetiminin uygulanması veya atık rejiminin başarılı olması teknik kapasite ve coğrafi konumla doğrudan bağlantılıdır. Ayrıca bu rejimin uygulanması- nı yönetecek çalışanların eğitimi, koruyucu

donanımlarının sağlanması da hayatidir. Atıkların depolanması, taşınması ve geri dönüşümü ya da yok edilmesi için karmaşık bir teknolojinin mevcut olması gerekmektedir. Küresel çaptaki tehlikeli atık ticareti devamlı bir şekilde artarken, pek çok ülke için atıkların imha edildiği tesislerinin inşasını gerçekleştirmek giderek zorlaşmaktadır. Üstelik tehlikeli atıkların ticaretinde yükselen bir eğilim bulunmaktadır. Üretim artması, atık yönetim ücretinin pahalılaşması, yeni yönetim ve bertaraf metotlarının kurulmasına karşı yerel muhalefetin ortaya çıkması kadar özel kurumların bu maddelerin ticaretinin karlılığını fark etmesi de söz konusu atıkların hareketliliğini önlemeye engel oluşturmaktadır (Krueger, 1999; Clapp, 2010). Aksine Basel rejimi, atığın üretildiği yerde bertaraf edilmesini ve atıkların sınır ötesi taşınmasının asgari düzeye indirilmesini hedeflemektedir. Firmaların bu karlı imha işlemini ucuz bir yerde yapması, doğal olarak söz konusu rejimin başarısını tartışılabilir hale getirmektedir.

Bahsedilen sorunların yanı sıra Basel rejiminin kapsamına girmeyen, ancak gündelik hayatta önemli yeri olan vakalar söz konusudur. Örneğin, elektronik atıklar Basel sözleşmesine göre sınır ötesi zararlı madde taşımacılığı kapsamına girmemesine rağmen, sınır aşan çevre sorunlarının önemli bir boyutunu oluşturmaktadır. Çünkü bilgisayarlar, cep telefonları ve 2000'lerde yaygın kullanılan MP3'ler gibi gündelik hayatta oldukça kullanılan elektronik cihazlar, zehirleyici özellikleri olan kurşun ve plastik maddelerini içermektedir. Yakıldıklarında atmosfere dioxin salmaya başlarlar. Kuzey ülkelerinde kullanılan bu cihazlar "hayır ve dijital farkı kapama" gibi normatif amaçlarla güney ülkelerine çoğunlukla Asya ve Afrika'ya gönderilmektedir (Puckett vd., 2005: 2). Bu yüzden atık kapsamına dahil edilmezler ve Basel Sözleşmesindeki tehlikeli atıkların taşınması kapsamına girmezler. Öte yandan bu ileri teknoloji içeren cihazlar, fakir ülkelerde önemli bir ikinci el piyasası oluştururken, Kuzeyli ülkeler bu sayede söz konusu elektronik atıklardan kurtulmaktadırlar.

Bu değerlendirmelerin ardından aynı konu bağlamında Kuzey ülkelerinde tehlikeli atıkların yönetimiyle ilgili birtakım gelişmelerin bulunduğunu eklemek gerekmektedir. Günümüzde artan bir biçimde tehlikeli atıkların bertaraf edilmesi sürecinin yönetimi hem AB hem diğer ulusal hükümetlerde devlet sektöründen özel sektöre doğru kaymaktadır. Dolayısıyla bu atıkların sorumlusu olan özel sektör daha yeşil ürünler üretmeye başlamıştır. Üretimden bertaraf edilmesine kadar tüm aşamaları hesaplamak zorunda olan özel sektördeki şirketler haliyle ürünlerin atık olduktan sonraki geri dönüşümlerini de planlar hale gelmişlerdir. Tüketicilerin tükettikleri maddelerin geri dönüşümü, yeniden işlenmesi ve güvenli bir şekilde imhası için sorumlulara yani üreticilere, gönüllü ya da zorunlu bir biçimde göndermelerine yönelik uygulamalar başlatılmıştır.

### 3.2 Tehlikeli atıklar rejiminin hukuksal geçmişi

İlk tehlikeli madde taşımacılığına ve bunun bir anlaşmayla hukukileştirilmesine dair sözleşme 1900 yılında Rhine Nehri üzerinde yapılan kimyasal aşındırıcı ve zehirli maddelerin taşınmasıyla ilgilidir (Kiss, 1985: 613). İlk hukuki sözleşme Rhine üzerine yapılmış olmasına rağmen, 20.yüzyılda karada ve denizlerdeki atık seviyelerinin artmasına şahitlik edilmiş ve böylece sorun etkileri bakımından kürenin tamamına yayılmıştır. Bu gelişmeyle devletler oldukça hayati olan açık denizlerde nükleer ve tehlikeli atıkların boşaltılması gibi durumları engellemek için çok taraflı müzakereler başlatmış ve sürdürmüştür. Bu sayede devletler takip ettikleri kurumsallaşmış davranışları değiştirerek, sınır ötesi taşımacılığa belli standartlar ve kurallar getirmiş ve aktörlerin davranışlarını kısıtlama eğilimine girmiştir. Ama çevrenin kolektif bir eylemliliği gerektirdiği koşulu ancak 1970'lerden itibaren anlaşılmış ve ulus devletler kirliliğin ve kaynak tüketiminin sınır ötesi boyutunu engellemek için küresel düzeyde bir iş birliğinin yapılmasını ihtiyaç olarak görmeye başlamıştır.

Liberal kurumsalcıların belirttiği gibi bir rejimin ortaya çıkmasında üst otoritenin yokluğu koşulu hayati öneme sahiptir. ABD'nin liderliğinin tartışılmaya başladığı bu dönemde devletler bir araya gelerek sorunlarının üstesinden gelmeye çalışmıştır. Doğal olarak gerçekleşen müzakerelerde inisiyatif alınması, uluslararası hukuka dayanılması, iş birliği gerçekleştirilmesi ve sorunun çözümü için gerekli mekanizmaların kurulması, şeffaflığın sağlanması, maliyetlerin düşürülmesi gibi beklentiler öne çıkmıştır. 1972 tarihli Atıkların ve Diğer Maddelerin Suya Batırılması Yoluyla Deniz Kirliliğinin Önlenmesi (UN, 1977: 138-218) ve 1973 tarihli Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme (MARPOL 73/78) başlıklı uluslararası sözleşmeler bu bağlamda öncüller olmuştur. İlk bölümde belirtildiği gibi, BM'nin öncülüğünde 1972 yılında Stockholm'de düzenlenen konferansla başlayan çevre ve kalkınma temalı konferans dizileri 1992'de Rio'daki Dünya Zirvesi'yle devam etmiş, sonuncusu ise 2002 yılında Johannesburg'da düzenlenmiştir. Bu konferanslar, uluslararası iş birliğinin uluslararası hukukça yönetilen uluslararası kurumlar tarafından koordine edilmesinin kabul edilmesinin yanı sıra uluslararası normları, prensipleri, hedefleri ve bunların karşılanmasında prosedürel çerçeveyi de belirlemiştir (Seyfang, 2003: 223-228).

Kirliliğin sınır ötesi ve küresel çapta etkileriyle kaynakların tüketilmesi, ulus devletleri bu sorunlardan kaçmalarına ya da bu sorunları en aza indirmesi yönünde iş birliğine yöneltmektedir. Basel Sözleşmesi, 1972 yılından beri yapılan çok taraflı çevre anlaşmalarının ve sınır ötesi problemler kapsamına giren ve tehlikeli atıkların taşınması konusunda imzalayan tarafları bağlayan ve iş birliği yapmalarını sağlayan bir rejimdir. Basel Sözleşmesi'nin ortaya çıkmasını etkileyen bir dizi ilerlemeler de söz konusu yıllarda kaydedilmiştir. Bu sözleşmelerden biri olan ve önceki paragrafta sözü geçen 1972 tarihli Londra Sözleşmesi'nin sorun alanı özellikle radyoaktif atıkların denizlerde bertaraf edilmesinin takibidir. 1976 tarihindeyse Rhine Nehri'nin Kimyasal Kirliliğe Karşı Korunma-

sı Sözleşmesi kabul edilmiştir. Yine aynı yılda OECD Konseyi yerel atık yönetim politikalarının geliştirilmesi için tüm üye devletlere 'Tavsiyeler' geliştirmiştir (Kummer, 1995: 31). 1980'lerdeyse OECD devletleri arasında tehlikeli maddenin dolaşımının yönetilmesiyle ilgili iradi prensipler geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi olan "ön bildirimli kabul" (prior informed consent- PIC) prensibi, ithal eden ülkenin atık sevkiyatının ithaline açıkça rıza göstermiş olması gerekliliğidir. Hem OECD'nin çabaları hem PIC prosedürü 1989 yılındaki Basel Sözleşmesi'nin sözleşme metninin tasarlanmasını etkilemiştir (Selin, 2014: 432). Bu gelişmeler mevcut durumla ilgili maliyetlerin gözler önüne serilmesini sağlamış, belli kuralların oluşturulmasına yol açmıştır.

BM Çevre Programı (UNEP) Yönetici Konseyi 1984'te tehlikeli atıkların yönetimine yönelik yeni teknik ilkeler ve politika tavsiyelerinin geliştirilmesi için bir çalışma grubu oluşturmuş ve bu grup 1987 yılında tehlikeli atıkların taşınmasında Kahire İlkeleri adı verilen ilk küresel standartları belirlemiştir (Rublack, 1989: 118). Bu ilkeler OECD'nin oluşturmuş olduğu PIC prosedürleri gibi bir tasarı şeklindedir. Ancak zamanla Kahire İlkeleri'ni yeterince güçlü bulmayan gruplar ortaya çıkmıştır. Özellikle Afrika devletleri mevcut durumu zengin ülkelerin ve iş çevrelerinin fakir ve zayıf ülkeleri sömürdüğü yönünde tanımlamaktaydı. Afrika Birliği ülkeleri, Greenpeace ve İskandinav ülkeleri desteğinde atıkların ticaretini yasaklayan yeni bir tasarı hazırlamıştır. Ancak endüstrileşmiş devletler bu tasarıya karşı güçlü bir itiraz yükseltmiştir. ABD'nin öncülüğünde bu veto koalisyonu devletleri yalnızca Kahire İlkeleri'ndeki gibi bir PIC prosedürüne uyabileceklerini belirtmekteydi. Söz konusu ticareti bir protokol çerçevesinde izinler alarak, bilgilendirme yaparak sürdürme niyetindeydiler. Nihayetinde Kahire İlkeleri'ne itiraz edip yeni bir tasarı hazırlayan grupla bu tasarıyı kabul etmeyen endüstrileşmiş devletler arasında gerçekleşen uzlaş, 1989 yılındaki Basel Sözleşmesi'nin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu sayede devletler farklı çıkarlarına rağmen ortak zeminde

bir araya gelip, karşılıklı kazanımlara doğru yol almak için önemli bir adım atmıştır. Bundan sonraki süreç şeffaflığın sağlanması, raporların hazırlanması, yeni mekanizmaların kurulması şeklinde gerçekleşmiştir.

Tehlikeli Atıkların Sınır Aşırı Taşınması ve Bertaraf Edilmesiyle ilgilene ve 1989 yılında hazırlanan Basel Sözleşmesi 1992 yılında onaylanarak yürürlüğe girmiştir (Basel Convention, 2020: 3). Bu sözleşme tehlikeli atıkların ticareti ve idaresiyle ilgili küresel nitelikte bir çevresel anlaşmadır. Anlaşma endüstriyel atıkları, tarım kimyasallarını, tıbbi atıkları ve hane halkı atıklarını içermektedir, ancak genellikle nükleer atıkları içermektedir. 2024 yılı itibarıyla 191 tarafı ve 53 imzacısı bulunmaktadır (Basel.int-1). Basel Sözleşmesi'ne dair ticaret yasağı yokluğunda, gelişmekte olan ülkeler arasında birtakım bölgesel anlaşmalar müzakere edilmiştir. Afrika ülkeleri arasında tehlikeli madde ithalatını yasaklayan Bamako Sözleşmesi, Afrikalı olmayan ülkelere gelen ithalatı yasaklamıştır. 1991 yılında imzalanan Lome IV sözleşmesi AB devletleriyle eski kolonileri arasındaki tehlikeli atık ticaretini yasaklamıştır. 1995 tarihli Waigani Sözleşmesi, Güney Pasifik bölgesindeki ada ülkeleri arasında hem tehlikeli maddelerin hem radyoaktif maddelerin ithalatını yasaklamıştır. 1996 tarihli Barselona Sözleşmesi ise Akdeniz boyunca tehlikeli atıkların bertaraf edilmesi ve sınırlar arası hareketliliğinden kaynaklanan kirliliği önleme ve yok etme amaçındadır.

Basel Sözleşmesinin Birinci Taraflar Konferansında (COP-1) özellikle Afrika devletlerinin çoğunluğu, Nordik ülkeler ve Greenpeace'in oluşturduğu ittifak, ticari kontrolün artırılmasına yönelik bir başarı kazanmıştır. İkinci Taraflar Konferansında (COP-2) OECD ülkelerinden diğer ülkelere bertaraf edilmesi için yapılan tüm tehlikeli atık ihracatının hemen yasaklanmasına, geri dönüştürülme amaçlıysa bu yasağın 1997 yılında başlamasına dair üzerinde görüş birliği bulunan bir tasarı hazırlanmıştır. Üçüncü Taraflar Konferansında (COP-3) ABD, Güney Kore, Avustralya ve Kanada'nın güçlü muhalefeti-

ne rağmen Basel Sözleşmesi Yasak Düzenlemesi (Ban Amendment) yapılmıştır. Böylece tehlikeli atıkların OECD ve AB ülkelerinden tamamen bertaraf edilmesi ve geri dönüşümü amacıyla yapılan ihracatın tamamen yasaklanması öngörülmüştür. 2008 yılındaki Doku zuncu Taraflar Konferansında (COP-9), 82 taraf devletten 63'ünün onayı, yani dörtte üçün bir fazlası, Yasak Düzenlemesinin yürürlüğe girmesini sağlaması beklenmekteydi. Ancak dörtte üçlük oranın, Yasak Düzenlemesini onaylayan 82 ülke üzerinden değil de Basel Sözleşmesini imzalayan 170 ülke üzerinden yapılması gerektiğine ancak 2011 yılındaki onuncu konferansta anlaşma gösterilmiştir. Nitekim uzun yıllar onaylayan ülke sayısının düşük kalması sebebiyle anlaşmanın yürürlüğe girmesi 2019 yılına bulmuştur. Yine bu konferansta 2012-2021 yıllarını kapsayan ve Basel Sözleşmesindeki ilerlemeyi ölçecek olan bir stratejik çerçeve oluşturulmuştur.

1999 yılındaki Beşinci Taraflar Konferansında (COP-5) görüşülen Yükümlülük ve Tazminat Protokolü (Liability and Compensation) de 29. maddesinde belirttiği gibi 20 devletin onayının yetmesine karşılık (BPLC, 1999: 20), günümüzde 12 tarafı bulunduğu yürürlüğe girmemiştir (Basel.int-2). Bu düzenlemenin önemi ise tehlikeli madde taşımacılığında meydana gelebilecek kaza durumlarında kimin finansal olarak sorumlu olduğunu belirlemesidir. En azından yükümlülükler bağlamında 2002 yılında bilgi depolanması ve tehlikeli madde üretiminin ve uluslararası taşımacılığının takip edilmesi için bir uzlaşma mekanizması oluşturulmuştur. Tarafların kapasite geliştirilmesi ve teknoloji transferi için oluşturduğu bölgesel merkezler de bulunmaktadır. Bu merkezler aynı zamanda bilinçliliği artırma, idari yeteneğin artırılması ve bilimsel ve teknik destek ve bilginin yayılması gibi aktiviteleri gerçekleştirmektedir (Selin, 2012). 2024 yılı itibarıyla sayısı 14 olan bu merkezler, sözleşmenin kurumsal mimarisini geliştirmektedir (Basel.int-3).

Basel Sözleşmesinden resmi olarak ayrı olan, ancak hukuki, siyasi ve pratikte bağlantılı

lan üç sözleşme daha hazırlanmıştır. 1998 yılında hazırlanan endüstriyel kimyasalların ve pestisitlerin uluslararası ticaretiyle ilgilenen Rotterdam Sözleşmesi 2004'te yürürlüğe girmiştir (RC, 2017: 4). Bu sözleşmeye göre, Basel'i hazırlayan hukuki düzenlemelerde olduğu gibi ancak önceden bildirim şartıyla sözleşmede listelenen kimyasallar bir taraftan diğer tarafa ihraç edilebilmektedir. Yine sözleşmenin tarafı olan bir devletin yasakladığı kimyasal madde varsa sözleşmenin sekretaryasına bildirmek zorundadır. Bu yolla diğer taraflar da değişiklikten haberdar olmaktadır.

1998 yılında hazırlanan POP Protokolü Üzerine Uzun Menzilli Sınır Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi (CLR-TAP) daha ziyade bölgesel olarak Kuzey Amerika ve Kuzey Avrupa girişimi olarak POP'ların üretimi, kullanımı, emisyonu ve bertaraf edilmesini kapsamakta ve tehlikeli madde emisyonlarının uzun menzilli taşınmasını, özellikle Kuzey Kutup Bölgesine ulaşmasını sorun olarak görmektedir. 2009 yılında yeni eklenen kimyasallarla listedeki anlaşma kapsamına giren kimyasal sayısı 25'e ulaşmıştır. 2001 yılında hazırlanan ve 2004 yılında yürürlüğe giren Stockholm Sözleşmesi, POP'ların üretimi, kullanımı, ticareti ve bertaraf edilmesini hedeflemektedir. Sözleşmenin yürürlüğe girmesiyle beraber listede bulunan POP sayısı 22 olarak güncellenmiştir (Chm.pops.int-1). 2024 itibarıyla 8'i Basel Sözleşmesi kapsamında fonksiyon gösteren 17 bölgesel merkezi vardır (Chm.pops.int-2).

Görüldüğü üzere, bu dört anlaşma kimyasalların yaşam döngüsündeki üretim, kullanma, emisyon, ticaret ve bertaraf aşamalarında farklı, fakat kesişen rollere sahiptir (Selin, 2013: 108). Basel Sözleşmesi'nin tarafları da POP atıkları üzerine teknik rehber dokümanları formüleştirmektedir (Selin, 2013: 115). Sözleşmelerin aralarında bu biçim ilişkisel kesişmelerin de varlığı söz konusudur. Dahası bu üç sözleşmeyi bir araya getirme çabaları, 2006 yılında Uluslararası Kimyasal Yönetimine Stratejik Yaklaşımın (SAICM) kurulmasına sebebiyet vermiştir. Bunun hedefleri arasındaysa risk azaltımı, bilgi ve enformasyon, yönetişim, kapasite inşası ve teknik dayanış-

ma ve yasadışı uluslararası kaçakçılık bulunmaktadır. 2010 yılında eş zamanlı olarak Basel, Rotterdam ve Stockholm Sözleşmelerinin taraflar konferansları düzenlenirken, 2011'de üç sözleşme arasında ortak idari fonksiyona sahip Yürütücü Sekretarya oluşturulmuştur.

Bu üç sözleşmeye ilaveten 2010 yılında Stockholm'de sözleşmenin birinci maddesinde belirtildiği gibi insan sağlığını antropojenik emisyonlar, cıva ve cıva bileşenlerinin etkilerinden korumak amacıyla bir toplantı düzenlenmiştir (MCOM, 2019: 14). Üç yıl süren müzakerelerin ardından 2013 yılında Japonya'da gerçekleşen bir diplomatik konferansta imzalanan bu sözleşme, geçmişte cıva kaynaklı zehirlenme sorunlarıyla karşı karşıya kalan Japon kenti Minamata ile anılmaktadır (Yang, 2015: 10064). Minamata Sözleşmesi ortak yükümlülükler ve farklılaşan hedefler bağlamında Basel, Rotterdam ve Stockholm sözleşmelerini izlemiştir. Sözleşmenin 2017'de yapılan İlk Taraflar Konferansında İsviçre Başkanı Doris Leuthard, bu dört sözleşmenin kimyasallar ve tehlikeli atıkların yönetimi üzerine kapsayıcı küresel bir rejim oluşturduğunu belirtmiştir (MCOM, 2019: 7).

### 3.3 Basel sözleşmesinin değerlendirilmesi

O'Neill (2009: 82) ülkeleri sorunun çözümü için anlaşma masasına götüren faktörleri beş kategori altında sınıflandırmaktadır. Kategorilerden birincisi olan bir "kriz ve farkındalık" durumu Basel rejiminin oluşmasını etkilemiştir (O'Neill, 1991). Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan devletler arasında büyüyen atık ticareti ve atıkların gelişmekte olan ülkelerde toplanması Basel Sözleşmesi'nin hazırlanmasında önemli bir etkiye sahiptir. İkinci faktör "liderlik ve baskıyla" ilgilidir (Young, 1989; Underdal, 1992; Skodvin ve Andresen, 2006). Bu baskıyı yapan lider bir devlet ya da devletler grubu, uluslararası örgütler ya da önemli kişiler olabilir. Basel görüşmelerinde Afrika ülkelerinin Kuzey-Güney ticaretinin yasaklanması bağlamında önemli bir rolü olduğu açıktır. Özellikle Basel Sözleşmesinin ilk iki taraflar konferansında Afrika ülkeleri koalisyonu 1995 tarihli Yasak Düzenlemesinin

yapılmasında etkili olmuştur. Üçüncü faktör “oyunun kuralları”, yani sözleşmeyi koordine eden kurumların yükümlülükleridir. Sözleşmenin Sekreteryasının rolü müzakereleri, katılımı ve rejimin performansını takip etmekle ilgilidir. Basel Sözleşmesi yapılmadan önce tehlikeli atık ticareti sorunuyla ilgili gönüllü bir sistem mevcuttu. Ancak gelişmekte olan ülkeler ve muhalif çevre grupları, mevcut sistemin istenmeyen ithalatı ve hukuksuz boşaltımları kontrol edemeyişinden ötürü güçsüz olduğunu savunmaktaydı. Netice olarak, Kahire İlkeleri'nin oluşturulması sürecindeki ve ertesindeki müzakereler, Basel Sözleşmesi'nin oluşmasına etki etmiş, sorun uluslararası bir anlaşmanın konusu haline gelmiştir. Dördüncü kategori meclisler, seçmenler ve lobilerden oluşan “ülke için yerel gruplardır”. Beşinci faktör ise “kuzey-güney siyasetiyle” ilgilidir. Bu faktör ortak, fakat farklılaşmış sorumluluk ilkesini içermektedir. Nitekim Basel Sözleşmesi gelişmiş ülkelere daha farklı ve daha fazla sorumluluk yüklemektedir.

1989 yılında hazırlanan Basel Sözleşmesi, “Tehlikeli Atıkların Sınır Aşırı Taşınması ve Bertaraf Edilmesine İlişkin” başlığıyla tanımlanmaktadır. Basel Sözleşmesi başlığında yer alan atıkların tehlikeli olduğu şu şekilde değerlendirilmektedir: Birincisi, ahşap koruyucu kimyasallar ve organik çözücüler gibi belli atık merkezlerinden gelmiş olmalarıdır. İkincisi, cıva bileşikleri ve bakır bileşikleri gibi belli kategorilere ait olabilirler. Üçüncüsü, zehirli, toksin ya da aşındırıcı olmaları gibi belli karakteristikler sergilemektedirler. Sözleşmenin başlığının geri kalan kısımlarından hem taşınmasının kurallarının belirlenmesi hem bertaraf edilmesinin nasıl gerçekleşeceğiyle ilgili düzenlemeleri kapsadığı anlaşılmaktadır. Sözleşmenin temel hedefleri de bu başlıklar etrafında belirlenmiştir. Sözleşmeyle öncelikle tehlikeli atıkların üretiminin asgarileştirilmesi ve çevreci idarelerin kurulması hedeflenmektedir. İkinci olarak, bu maddelerin sınır aşırı taşınmasının azaltılması, özellikle çevreci idarelerin bulunduğu yerlerin dışına kısıtlanması öngörülmektedir. Üçüncü olarak, tehlikeli atıkların sınır aşırı taşınması azaltılıp, müsaade edilebilir

sınır ötesi hareketlerin düzenlenmesi için bir sistem kurulması önerilirken, bu maddelerin bertaraf edilmesi ya da imha edilmesi de normatif bir kaygı olarak üretildiği yere yakın bir bölgede gerçekleşmesi düşünülmüştür.

Bundan sonra ele alınacak Basel Sözleşmesi'nin giriş kısmında üç soruya odaklanılmaktadır (Basel Convention, 2020: 4-7). Birincisi, tarafların problemi nasıl tanımladığı sorusu araştırılmaktadır. İkincisi, sözleşmenin gelecekte yapılacak aksiyonlarla ilgili hangi maddeleri içermekte olduğu incelenmektedir. Üçüncüsü, bazı devletlerin ya da uluslararası aktörlerin davranışlarına kınama olup olmadığı ele alınmaktadır. İlk olarak, taraflar problemi insan sağlığı ve çevreye verebileceği zarar üzerinden tanımlamaktadır. Tehlikeli atıkların taşınması ve bertarafının insan sağlığı ve çevre için giderek büyüyen bir tehdit oluşturduğu kabul edilmektedir. Tehlikeli atıkların sınır ötesi taşınması ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde bertarafı da problem içerisinde tanımlanmaktadır. İkinci olarak, sözleşme gelecek aksiyonlarla ilgili pek çok başlığı içermektedir. En başta bu tehlike atıkların üretilmiş oldukları ülkelerde bertaraf edileceği konusu ağır basmaktadır. Tabi ki sorunun yönetiminin çevresel açıdan yani çevrenin korunması açısından tutarlı biçimde olacağı da yer almaktadır. Sınırlar ötesi taşımayla ilgili bilgilerin taraflar arasındaki paylaşımı üzerine alınacak tedbirlerin, yani şeffaflığın korunmasına dair önlemlerin devletler tarafından alınacağı belirtilmektedir. Çevreye duyarlı ve az atık üreten teknolojilerin yanı sıra yine aynı değerlere uygun bakım ve yönetim sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması vurgulanmaktadır. Tehlikeli atıkların taşınmasının mümkün olduğunca en aza indirileceğinin altı çizilmektedir. Ayrıca atıkların yönetimine ilişkin teknolojinin gelişmekte olan ülkelere transferi hedeflenmektedir. Problemin tanımı ve gelecek aksiyonlarından anlaşılacağı üzere bazı devletlere ya da uluslararası aktörlerin davranışlarına kınama olmamasına karşın, sorumluluğun gelişmiş ülkelere olduğunun ve en çok onların yükümlülüklerine sahip olduğu açıkça görülmektedir. Sözleşmenin gelişme bölümünde tespit edilen tarafları bağlayıcı

yükümlülükler bundan sonra yer verilmektedir.

Üçüncü maddede belirtildiği üzere taraflar kendi ulusal mevzuatlarına göre tehlikeli olan ve olduğu düşünülen atıkların listesini, gerekli taşıma usullerini ve meydana gelecek değişiklikleri Sekretaryaya bildirmekle yükümlüdür (Basel Convention, 2020: 9-10). Dördüncü maddenin birinci fıkrasının a bendine göre ithalatı yasaklama hakkını kullanan tarafların bunu diğer taraflara bildirmeleri gerekmektedir (Basel Convention, 2020: 10). Böyle bir bildirim alan devletler bir sonraki bentte belirtildiği gibi bu devletlere karşı atıkların ihracını yasaklayacaktır. Dördüncü maddenin beşinci fıkrasına göre, taraf ülkeler taraf olmayan bir ülkeye ihracata ve bu ülkeden ithalata izin vermeyecektir (Basel Convention, 2020: 12). Dördüncü maddenin altıncı fıkrasında tarafların tehlikeli atıkları 60 derece güney enleminin altında bertaraf edilmek üzere ihracına izin vermeyecekleri belirtilmektedir. Sözleşme ayrıca taşıma veya bertaraf süreçlerinin yalnızca yetki veya izin verilmiş kişilerce yapılması zorunluluğunu getirmektedir (4. madde 7. fıkra a bendi). Dördüncü maddenin yedinci fıkrasının b bendi tehlikeli atıkların uluslararası kurallara ve standartlara göre paketlenmesi, etiketlenmesi ve nakledilmesini zorunlu kılmaktadır. Altıncı maddenin birinci fıkrası sınırlar ötesi taşımacılıkta ihracatçı devletin ithalatçı devlete bildirim yükümlülüğüne yer vermektedir (Basel Convention, 2020: 14). Aynı maddenin ikinci fıkrasında ithalatçı devletin söz konusu taşımaya şartlı veya şartsız rıza gösterdiğini, izin vermeyi reddettiğini veya ek bilgi istediğini cevaplamakla yükümlü olduğu belirtilmektedir.

Gelişme bölümünde taraflar arasında farklılaşmış bir sorun alanı sadece dördüncü maddenin on üçüncü fıkrasında görülmektedir (Basel Convention, 2020: 13). Buna göre [gelişmiş devletler] gelişmekte olan devletlere ihraç edilen tehlikeli atıkların kirlilik potansiyelini azaltabilmek için imkanlarını periyodik olarak gözden geçirecektir. Yürütmeyle ilgili olarak, sözleşmenin on altıncı

maddesinin ikinci fıkrasında Birinci Taraflar Konferansı'na (COP-1) kadar yürütmenin geçici olarak BM Çevre Programı tarafından gerçekleştirileceği, ardından sözleşmenin Sekretaryasına devredileceği anlaşılmaktadır (Basel Convention, 2020: 25). Anlaşmanın yürürlüğe girmesi için, on yedinci maddenin üçüncü fıkrasında toplantıya katılan ve oy kullanan tarafların dörtte üç çoğunluğu ibaresi bulunmaktadır. Anlaşmanın ihlal edilmesi durumları dokuzuncu maddenin başlığında "Yasa Dışı Trafik" olarak belirtilmektedir. Bu durumlarda taraflara bir ceza yüklemekten ziyade, ihracatçıdan kaynaklı yasadışı trafik söz konusuysa ilgili maddelerin ihracatçıya geri getirilmesi (9. madde 2. fıkra a bendi); ithalatçı veya bertaraf edici tarafından yasa dışı bir durum oluşmuşsa söz konusu ithalatçı veya bertaraf edicinin çevreye uyumlu bir şekilde bertaraf etmesi (9. madde 3. fıkra); yasadışı trafik sorununun ihracatçı, ithalatçı ve bertaraf ediciye yüklenemediği durumlarda ilgili tarafların iş birliği yapması ve çevreye uygun bir biçimde en kısa sürede bertaraf edilmesini temin etmeleri (9. madde 4. fıkra) gerekmektedir (Basel Convention, 2020: 17-18). Yasa dışı trafiği engellemek ve cezalandırmak için taraflar kendi ulusal mevzuatlarını hazırlamakla yükümlü kılınmıştır.

Sonuç olarak, bu bölümde, Basel çevre rejiminin ortaya çıkış süreci incelenmiştir. Bu bağlamda tehlikeli atıkların taşınması ve ticaretinden kaynaklı sorunun doğası, kapsamı, etkileri ve son yıllarda yaşanan yeni gelişmelere yer verilmiştir. Rejimin hukuksal gelişimi araştırılarak rejimin ortaya çıkması, müzakere alanları ve hukuksal ve idari düzenlemeler ele alınmıştır. Son olarak Basel Sözleşmesi değerlendirilerek, giriş bölümündeki tanım, aksiyon ve zorunluluklar; gelişme bölümündeki yükümlülükler, sorun alanları ve yönetimi ihmal edilmiş durumlar incelenmiştir. Bundan sonraki bölümde ise Türkiye'nin tehlikeli atıklarla ilgili oluşturduğu mevzuatın gelişimi ve izlediği politikalar değerlendirilecektir.



#### 4. Türkiye'nin Çevresel Sorunlar ve Tehlikeli Atıklar Özelinde İlgili Mevzuatını Uyumlaştırması

Bu bölümde Türkiye'nin Basel çerçeve sözleşmesine ne derecede rıza gösterdiği incelenmekte, sorun çözme seviyesinin ne seviye ilerleme katettiğinin anlaşılması hedeflenmektedir. Bu amaçla, ilk olarak Türkiye'nin çevre politikalarının izlenmesi için yapmış olduğu kurumsallaşmanın geçmişi ve Kalkınma Planlarındaki tehlikeli atıklar yönetiminin gelişimi incelenmektedir. İkinci olarak, Türkiye'nin AB'yle üyelik müzakerelerine başlamasının ardından çevre fasıllarının açılması sürecindeki AB Müktesebatına uyum programında tehlikeli atıkların durumu ele alınmaktadır. Bu çerçevede Avrupa Komisyonu İlerleme Raporları, Türkiye'nin Ulusal Eylem Planları, Ulusal Atık Eylem Planı gibi resmi dokümanlar değerlendirilecek, Eurostat ve Türkiye'deki ilgili bakanlıkların tehlikeli atık üretme, geri dönüşüm ve bertaraf etme verilerine yer verilmektedir.

##### 4.1 Kalkınma Planlarında tehlikeli atıkların yönetimi

Türkiye'de çevre politikaları 1970'li yıllarda özellikle Stockholm Konferansının ardından önemli bir kurumsallaşma sürecine girmiştir. Bütün üye ülkelerde çevreyle ilgili kurumsal örgütlenmenin başlamasının etkisiyle 1972 yılında Çevre Sorunları Koordinasyon Kurulu kurulmuştur (Şengün, 2015: 113). 1983 yılında 2872 sayılı ilk Çevre Kanunu yapılmış (RG, 9 Ağustos 1983, Sayı 18132), 1984 yılındaysa Başbakanlığa bağlı Çevre Genel Müdürlüğü kurulmuştur (KHK, 222, 8 Haziran 1984). Çevre Müsteşarlığı 1989 yılında bir kanun hükmünde kararnameyle yeniden oluşturulmuş (RG, 9 Kasım 1989, Sayı 20337) Çevre Bakanlığı 1991 yılında Bakanlar Kurulu kararıyla kurulmuştur (RG, 21 Ağustos 1991, Sayı 20967). Çevre Bakanlığının adı 2003 yılında yapılan bir düzenlemeyle Çevre ve Orman Bakanlığı olarak değiştirilmiştir. Çevre ve Orman Bakanlığı ise 2011 yılında iki bakanlığa bölünmüştür. İlk olarak, 1983'te birleştirilen Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Bakanlar Kurulunun ilgili Haziran 2011 düzenlemesiyle Çevre, Orman ve

Şehircilik Bakanlığı haline getirilmiştir (RG, 3 Haziran 2011, Sayı 27958). Ekim 2021'de Cumhurbaşkanlığı kararnamesiyle Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı olarak düzenlenmiştir (RG, 29 Ekim 2021). İkinci olarak, Temmuz 2011'de Orman ve Su İşleri Bakanlığı kurulmuştur (RG, 4 Temmuz 2011, Sayı 27984 Mükerrer). Bu bakanlık da Temmuz 2018'de bir Cumhurbaşkanlığı kararnamesiyle Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'yla birleşerek Tarım ve Orman Bakanlığı kurulmuştur (RG, 10 Temmuz 2018, Sayı 30474).

Tehlikeli atıkların taşınması ve bertaraf edilmesi üzerine olan Basel Sözleşmesi, 1994 yılında Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM) tarafından onaylanmış ve böylece Türkiye sözleşmeye resmen taraf olmuştur (RG, 15 Mayıs 1994, Sayı 21935). Sözleşmenin taraf ülkelere verdiği yükümlülüklerden biri olan sözleşmenin ulusal mevzuatla uyumlaştırılması, 1995 yılında yürürlüğe giren "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" ile gerçekleştirmiştir. Şu an yürürlükte bulunan ve üzerinde değişiklikler yapılan Tehlikeli Atık Yönetmeliği 2005 yılında hazırlanmış (RG, 14 Mart 2005, Sayı 25755) ve 2013 yılında yapılan değişikliklerle Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının yönetimine bırakılmıştır. Ayrıca Basel Yasası düzenlemesi (Basel Ban Amendment) 2003 yılında TBMM tarafından onaylanmıştır (RG, 28 Temmuz 2003, Sayı 25182). Basel Sözleşmesi'nin imzalanmasının ardından yapılan ve Akdeniz'in Basel Sözleşmesi'nin çerçevesi içinde korunmasına ilişkin protokol 1996 yılında İzmir'de 20 Akdeniz ülkesinin katılımıyla imzalanmış, Türkiye de 2003 yılında onaylayarak bu bölgesel iş birliğine katılmıştır (RG, 9 Aralık 2003, Sayı 25311). Bu sözleşme Basel rejiminin ilgilendiği tehlikeli atıkları kapsadığı gibi evsel ve radyoaktif atıkların da ticaretini ve transit geçişini kontrol altına almayı düzenlemektedir.

1961 yılında Devlet Planlama Teşkilatı'nın kurulmasıyla hazırlanmaya başlayan Beş Yıllık Kalkınma Planlarında ise 1973-1977 yıllarını kapsayan üçüncü plandan

itibaren çevre konuları yer almaya başlamıştır. Üçüncü ve Dördüncü Kalkınma Planlarında erozyon, büyük kentlerde hava, su ve kıyı kirlenmesi sorunlarına yer verilmiştir. 1985-1989 yıllarını kapsayan Beşinci Kalkınma Planı'nda şehirleşme, erozyon, tabii afetler, hızlı sanayileşme ve tarımda modernleşmenin getirdiği çevre sorunları ön plana çıkmaktadır (BDPT-5, 171). Denizlerin ve körfezlerin kirlenmesi sebebiyle sanayi tesisleri tarafından tedbirlerin alınması, içme suyu standartlarının sağlanması, hava kirliliğine karşı acil önlemler alınmasının önemsendiği görülmektedir. 1990-1994 yıllarını kapsayan Altıncı Kalkınma Planı çevre başlığına önemli görülebilecek genişlikte yer ayırmıştır. Bu planda “yabancı ülke atık ve atıklarının Türkiye’ye girmesi önlenerek, ülke içindekilerin zararsız hale getirilmesi esas alınacaktır” ifadesi yer almaktadır (BDPT-6, 313). Planda ayrıca hastane atıklarının, ev ve sanayi atıklarından ayrıştırılması ve ayrı bertaraf edilmesi hedeflenmektedir. Bu planın atıklara verdiği önem sebebiyle Basel görüşmelerinin etkisinde olduğu açıkça görülmektedir.

1996-2000 tarihlerini kapsayan Yedinci Kalkınma Planı'nda hem çevre politikaları hem önceki kalkınma planında belirtilen hedeflerin gerçekleşmeyeceği detaylıca eleştirilmiş, ardından yeni amaçlar, ilkeler ve politikalar belirlenmiştir (BDPT-7, 189-193). Önceki planda yer alan sürdürülebilir kalkınma yaklaşımına rağmen, hedeflere ulaşamadığından yakınılmıştır. Sorumlu kuruluşlar arasındaki irtibatın sağlanamadığı, finansal sistem kurulamadığı, veri ve bilgi altyapısı oluşturulamadığı tespit edilmiştir. Mevcut çevre kanununun günün ihtiyaçlarına cevap veremediği belirtilmiş, üstelik kanunun çevre korumasından ziyade kirliliğe odaklı olması eleştirilmiştir. Ayrıca bakanlık ve kuruluşlar arasındaki yetki ve sorumluluk çatışmalarına yer verilmiştir. Rio Konferansı sonrasında kabul edilen Gündem 21 Eylem Planı'nın getirdiği yükümlülüklerle değiştirilerek, gerekli altyapının kurulması gerekliliği vurgulanmıştır. Katı atıklar, kimyasallar ve tıbbi atıklara ilişkin mevzuatın tamamlandığı da ifade edilmiş, çevre verilerinin toplanmasında alt yapı oluş-

turma çalışmalarının hızlandırıldığından bahsedilmiştir. Atıklarla ilgili önceki kalkınma planında belirtildiği gibi ülkeye girişlerinin engellenmesi, ülke içindekilerin zararsız hale getirilmesinden ziyade ortaya çıkan atıkların en asgari düzeye indirilmesi, geri kazanılması ve yeniden değerlendirilmesi çalışmalarının destekleneceği belirtilmiştir. Böylece, atıklarla ilgili politikalarda dikkate değer bir eylem planının olduğu görülmektedir.

2001-2005 yıllarını kapsayan Sekizinci Kalkınma Planı'nda hızlı kentleşmenin olumsuz doğasına yer verilerek, bu gelişmenin atıkların miktarını artırdığına işaret edilmektedir. Bu planda, çevre envanterleri, istatistikler ve standartlar konularında yeterli gelişme sağlanamaması da yer bulmuştur. Çevre sorunlarının çözümü için uygulanan politikaların ve alınan kararların AB normları ve uluslararası standartlarla uyumlu hale getirilmesi çalışmalarına devam edildiği belirtilmiştir (BDPT-8, 2000: 188). Sanayi politikaları ve yatırımları bağlamındaysa çevre dostu teknolojilerin teşvik edilmesi yer almaktadır. Genel olarak, bu planda daha ziyade çölleşme, erozyon, iklim değişikliği sorunları öne çıkarken, önceki planın aksine tehlikeli atık sorununa yer verilmiştir.

Önceki planlara göre daha kısa olan, ancak AB'yle tam üyelik müzakerelerinin başlamasının hemen ertesine denk gelen 2007-2013 tarihlerini kapsayan dokuzuncu planda AB'ye uyum sürecinde atık yönetimi, doğa koruma, gürültü ve çevresel etki değerlendirme konularında ilerleme sağlanmasına rağmen, çevre alanında halen çok sayıda düzenlemeye ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir (BDPT-9, 28). Aynı planın başka bir bölümünde çevrenin korunması bahsine tekrar yer verilmiş, burada “evsel nitelikli olmayan atıkların üretiminin azaltılacağı, atık türüne ve koşullarına göre uygun toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf sistemleri oluşturulacağına yer verilmiştir (BDPT-9, 74). Kalkınma Bakanlığı'nın hazırladığı 2014-2018 tarihlerini kapsayan Onuncu Kalkınma Planı'nda ise önceki dönemde çevre mevzuatının ve standartlarının geliştirilmesi, kurumsal ve teknik altyapının

iyileştirilmesi ve çevre yönetiminin güçlendirilmesine yönelik projelerin gerçekleştirilmesiyle övünülmüştür. “Yeşil büyüme”, “sürdürülebilir şehirler”, “çevre dostu ürünlerin geliştirilmesi” gibi yeni kavramsal kullanımlar yer alırken, tehlikeli atık yönetimiyle ilgili doğrudan bir içerik bulunmamaktadır (KB-10, 2013: 137).

2019-2023 yıllarını kapsayan On Birinci Kalkınma Planı Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından hazırlanmıştır. Planda “yaşanabilir şehirler” ve “sürdürülebilir çevre” başlığı dikkat çekmektedir, ancak içeriğinde tehlikeli atıklar konusu yer almamaktadır. (CSBB-11, 2019: 157). 2024-2028 yıllarına projeksiyon yapan On İkinci Kalkınma Planı’nda sürdürülebilir çevre başlığı, 2023 yılında yaşanan deprem sebebiyle “afetlere dirençli yaşam alanları” konusuyla ele alınmıştır (CSBB-12, 2023: 200). Bu planda “tüm atıkların” insan sağlığına ve çevreye olan zararlı etkilerinin en aza indirilmesinde havaya, suya, toprağa salınımlarında önlem alınacağı ve hammadde atık yönetiminde uluslararası standartlara uyum için mevzuat çalışmalarının tamamlanacağı ifade edilmektedir (CSBB-12, 2023: 210). Ayrıca bataryaların toplanması ve geri dönüşümüne yönelik AB Batarya ve Batarya Atıkları Tüzüğüne uyum sağlanacağı belirtilmektedir (CSBB-12, 2023: 94). Türkiye’nin bir süreden beri yaşadığı AB adaylık süreci tıpkı Basel Sözleşmesi yükümlülüğünde olduğu gibi ilgili mevzuatının AB mevzuatına uyumlaştırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu yüzden ilgili kurum ve kuruluşlar eylem planları ve mevzuat tasarımları hazırlamıştır. 1997’de Tehlikeli Atıkların Yönetimi Eylem Planı, 1998’de Ulusal Çevre Stratejisi ve Eylem Planı (UÇEP), AB Müktesebatı 2008 Türkiye Ulusal Programı ve devam eden alt başlıkta incelenecek olan AB Müktesebatına Uyum Programı (2007-2013), AB’ye Katılım İçin Ulusal Eylem Planı (2016-2019), AB’ye Katılım İçin Ulusal Eylem Planı (2021-2023) gibi çalışmalar yapılmıştır. Bu uyum programı bir sonraki kısımda uluslararası tehlikeli atık rejimine uyum sağlanması bağlamında incelenecektir.

## 4.2 Tehlikeli atık özelinde Türkiye’nin AB Müktesebatına Uyum Programı

Türkiye, AB’yle başladığı tam üyelik müzakere sürecinde bir dizi uyum programına tabi olmuştur. Bu kapsamda mevzuatlar, yönetmelikler ve direktifler oluşturulmuştur. Birinci olarak, Türkiye-AB müzakerelerinin açılış kriterlerinde fasıldaki müktesebatın kademeli olarak uyumlaştırılması, uygulanması ve yürürlüğe konulmasına yönelik kapsamlı bir stratejinin hazırlanması ve bunun aşamalar ve takvimlerle sunulması istenmiştir. Türkiye’nin başarıyla karşıladığı bu açılış kriterinde yer alan dokuz sektörden biri atık yönetimiyle ilgilidir. İkinci olarak, AT-Türkiye Ortaklık Konseyi kararlarına göre tabi olunan çevre müktesebatının uygulanmasına ilişkin yükümlülüklerini yerine getirmesi gerekmektedir. Bu açılış kriterinde tehlikeli maddelerin ve müstahzarların sınıflandırılması, ambalajlanması ve etiketlenmesine dair direktif Avrupa Komisyonuna iletilmiştir. Bu sayede 2009 yılında AB’yle çevre faslında müzakereler başlamıştır.

Bu süreçte AB Müktesebatına uyum çerçevesinde yeni bir Atık Yönetim Mevzuatı oluşturulmuştur. Atık başlığı altında çerçeve mevzuat, atıkların düzenli depolanması, atıkların taşınımı ve özel atıklara ilişkin düzenleme yer almaktadır. Basel Sözleşmesi imzalandıktan sonra 1991 yılında hazırlanan Tehlikeli Atık Direktifi ve 2006 yılında hazırlanan Atık Direktifi, AB’nin atık yönetiminin temel esaslarını ve genel çerçevesini belirlediği 2008 yılındaki Atık Çerçeve Direktifi kapsamına alınarak yürürlükten kaldırılmıştır (RG, 5 Temmuz 2008, Sayı 26927). 1975 tarihli Atık Yağlar Düzenlemesi de bu Atık Direktifi kapsamına alınmıştır. Bu direktife uyum sağlayan Atık Yönetimi Yönetmeliği 2015 yılında Resmî Gazetede yayımlanarak uygulamaya konulmuştur (RG, 2 Nisan 2015, Sayı 29314). 2008 tarihli direktif de döngüsel ekonomi prensiplerine uyum çerçevesinde 2018/851 direktifiyle güncellenmiştir. Atık Sonu kavramının geliştirilmesi ve ulusal müktesebatla uyumu üzerine bakanlığa bağlı Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğünün yürüttüğü çalışmalar sürmektedir.

Türkiye'nin 2008'de sunduğu Müzakere Pozisyon Belgesi kapsamında yayımlanması beklenen on üç yönetmelik arasından yayımlanan on tanesinin büyük ölçüde uyumlu olduğu bildirilmiştir. Bu yönetmelikler arasında Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği de yer almış, ancak sonuncu direktif yeni Atık Çerçeve Direktifi kapsamına alınarak kaldırılmıştır. Bertaraf ve arıtma hususunda 1999 yılında yapılan Atıkların Düzenli Depolanması Düzenlemesi 2010'da Resmî Gazetede yayımlanmış, sonraki değişikliklerle mevzuatta yer almaktadır (RG, 26 Mart 2010, Sayı 27533). Atıkların sınır ötesi taşınması ve kontrolüyle ilgili olarak 2006 yılında hazırlanan Atıkların Taşınımı Tüzüğü (ATT) de yürürlüğe girerek komisyona bildirilmiş ve 2007'den beri uygulanmaktadır (RG, 14 Mart 2005, Sayı 25755). 2002 tarihli Atık Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlar düzenlemeleri 2012 yılındaki Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü yönetmeliğiyle yürürlükten kaldırılmıştır (RG, 22 Mayıs 2012, Sayı 28300). Bu yönetmelik de 2022 yılında Resmî Gazetede yayımlanan Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Yönetimi Hakkında Yönetmelik ile yürürlükten kalkmıştır (RG, 26 Aralık 2022, Sayı 32055).

Endüstriyel Kirlilik ve Risk Yönetimi alanında ise 2000/76/EC sayılı Atık Yakma Direktifi 2009'da uyum kapsamına alınmış, 2010 yılında Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (RG, 6 Ekim 2010, Sayı 27721). Böylece atıkların yakılmasına ilişkin yönetmeliğin çıkarılmasıyla 2000/76 sayılı AB Atık Yakma Direktiflerine de uyum sağlanmıştır. Büyük Yakma Tesisleri Yönetmeliği de 2010 yılında yayımlanmıştır. Kimyasallar bahsinde 1967 tarihli Tehlikeli Maddeler Direktifi 2008'de uyum kapsamına alınmıştır. Bu alanda gerçekleştirilen çalışmalardan Tehlikeli Maddelerin ve Müstahzarların Sınıflandırılması, Ambalajlanması ve Etiketlenmesi Hakkında Yönetmelik, Bazı Tehlikeli Maddelerin, Müstahzarların ve Eşyaların Üretimine, Piyasaya Arzına ve Kullanımına İlişkin Kısıtlamalar Hakkında Yönetmelik yayımlanmıştır.

Türkiye'de tehlikeli atık beyan sistemi kullanan tesis sayısı 2006 yılında 600; 2007 yılında 6.500; 2008 yılında 11.450; 2009 yılında 15.664; 2010 yılında 18.685 olmuştur. 2010 yılından itibaren Tehlikeli Atık Bildirim Sistemi (TABS), tehlikeli atık üreticileri tarafından kullanılmaya başlanmıştır. 2010 yılına dair tehlikeli atık üretimi 18.685 tesis tarafından doldurulan ve Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri tarafından doğrulanmış sonuçlara göre Türkiye geneli işlem gören tehlikeli atık miktarı bu yılda 786.418 ton olarak belirlenmiştir (ÇŞB, 16.04.2012). Bu toplamın 610.770 tonu geri kazanım (%77); 30.315 tonu bertaraf (%4); 127.730 tonu tesis içi (%16); 22.971 tonu stok (%3); 632 tonu ihracatta kullanılmıştır. Bu yıla dair verilerde illere göre atık dağılımında 100 bin tonun üzerinde iki il görülmektedir: İzmir (172.701 ton) ve Kocaeli (144.965 ton).

Beyan sistemini kullanan tesis sayısı 2011 yılında artış trendini durdurarak 18.428'e düşmüştür (ÇŞB, 11.10.2013). Bu yılda tehlikeli atık miktarı ise 938.468 tona çıkmıştır. İl dağılımında 150 bin tonun üzerinde yine sırasıyla Kocaeli (209.178 ton) ve İzmir (176.426 ton) bulunmaktadır. Bu verilerle uyumlu şekilde 2012 yılında yayımlanan Avrupa Komisyonu Türkiye ilerleme raporunda atık yönetimi alanında sınırlı ilerleme olduğu kaydedilmiştir. 2013 ve 2014 yılında ayırma ve geri dönüşüm kapasitesinin arttığı (AK, 16.10.2023: 71; AK, 08.10.2014: 68), 2015 yılında ilk defa tehlikeli atıkların geri dönüşümüne yönelik kapasitesinin arttığı (AK, 10.11.2015: 84) doğrudan metinde belirtilmiştir.

Komisyonun 2015 yılı Türkiye ilerleme raporu çevre mevzuatının uyumlaştırılması hususunda bazı ilerlemeler kaydedildiğini belirtirken, Türkiye'nin atık yönetimi ve endüstriyel kirlenmeye ilişkin uygulamalarını yetersiz bulmuştur. Ayırma, geri dönüşüm, tıbbi atıkların arıtılması ve tehlikeli atıkların geri dönüşümüne yönelik kapasite artırılması ise övgü almıştır. Ancak farklı atık çeşitlerinin ayrıştırılarak toplanması konusunda daha fazla çalışmanın yürütülmesi gerekliliği vurgulanmıştır. 2016-2019 Avrupa Birliği'ne

katılım için ulusal eylem planında tehlikeli kimyasalların ihracatı ve ithalatına dair yönetmelik çıkarma çalışması yapılarak, AT'nin 649/2012 sayılı tüzüğüne uyum sağlanacağı hedeflenmiştir (ABB-UEP, 26.02.2016: 202). 2016 İlerleme Raporunda tehlikeli atıklar konularında daha fazla çalışmanın yürütülmesi gerekliliği (AK, 9.11.2016: 87), 2018 Raporunda tehlikeli atıkların yakılması konularında daha fazla çalışmanın yürütülmesi belirtilmiştir (AK, 17.4.2018: 91). Sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde uluslararası normlar ve ulusal öncelikle gözetilme amacıyla hazırlandığı belirtilen Türkiye'nin 2016-2023 yıllarını kapsayan Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı raporunda, tehlikeli atıklar başlığı yer almıştır. Bu bölümünde beyan sisteminin kullanan tesis sayısının 2014 yılında 40 binin üzerine yükseldiği, tehlikeli atık miktarı 1.413.202 tona ulaştığı belirtilmektedir (ÇŞB-UAYEP, 5.12.2017: 32). 2014 yılına ait tehlikeli atığın %73'ü geri kazanım, %22'sinin ise düzenli depolama ve yakma yöntemiyle bertaraf edildiği rapor edilmektedir (ÇŞB-UAYEP, 5.12.2017: 34). 2016 yılında atıkların doğru şekilde beyanı ve mevzuata uygun şekilde bertarafı için tehlikeli atık üreticileri tarafından ilave Mobil Takip Sistemi (MoTAT) kullanılmaya başlamıştır.

Öte yandan rejimdeki ölçme sorunu ve rakamlardaki farklılığı göstermesi bakımından, Eurostat verileri Türkiye'nin 2014 yılında 3,4 milyon ton tehlikeli atık üreterek Avrupa'da dokuzuncu sırada olduğunu göstermektedir (Eurostat-1). Eurostat verilerine göre, Türkiye'de tehlikeli atık üretimi 2016 yılında 5,6 milyon tonla sekizinci sıraya, 2018 yılında 14,9 milyon tonla üçüncü sıraya yükselmiş, 2020 yılında 30,6 milyon ton üretimle birinci sıraya ulaşmıştır. Listede 2020 yılında Türkiye'nin ardından Almanya ve Bulgaristan gelmektedir. Aynı veri kaynağına göre, Türkiye tehlikeli atıkların işlenmesinde 2010 yılında ürettiği kadarını işleyerek 3,2 milyon tonla Avrupa ülkeleri arasında sekizinci sıradayken, 2012 yılında ürettiğinden azını işleyerek 3,6 milyon tonla yedinci sırada yer almıştır (Eurostat-2). 2014 yılında 6,5 milyon tonla ürettiğinden fazlasını işlemeye başlamış ve

beşinci sıraya yükselmiş, 2016 yılında 7,7 milyon ton işleyerek aynı sırada yer almıştır. 2018 yılında 19,2 milyon ton işleyerek ikinci sıraya yükselmiş, 2020 yılında ürettiğinden fazlasını işlemeyi sürdürerek 38,2 milyon tonla birinci sıraya ulaşmıştır (Eurostat-2). Türkiye'yi bu yılda tehlikeli atıkların işlenmesi sıralamasında da Almanya ve Bulgaristan izlemektedir.

Türkiye hakkında 2019 yılındaki ilerleme raporunda tehlikeli atık ifadesi geçmemesine rağmen, atık yönetiminin yasal çerçevesinin uyumlandığı, geri dönüşümü ve yeniden kullanımı artırmayı teşvik eden stratejinin övüldüğü, tıbbi atıkların arıtılmasına yönelik uyum ve kapasite artışı not edilmiştir (AK, 29.5.2019: 105). 2021 yılı raporunda Türkiye'nin karışık plastik ithalatını yasaklamasının övüldüğü, buna karşın 2019'da On Dördüncü Taraflar Konferansında (COP 14) Basel Sözleşmesi Plastik Atık Değişikliğini kabul etmeyişi dikkat çekilmiştir (AK, 19.10.2021: 110). 2022 yılı raporunda Türkiye'nin mevcut tebligat usulü uygulamalarının Basel Sözleşmesi'yle uyumlu olduğu belirtilmiştir (ABK, 12.10.2022: 117). Son olarak, AB Avrupa Birliği mevzuatına uyum çerçevesinde hazırlanarak, 2023'te ilan edilen yönetmelikte Rotterdam sözleşmesi dahilindeki tehlikeli kimyasalların eklendiği görülmektedir (RG, 28 Ocak 2023).

## 5. Sonuç

Amerikan hegemonyasının zayıfladığı ve karşılıklı karmaşık bağımlılığın giderek arttığı 1970'li yıllardan itibaren devletlerin sınır aşan sorunlara karşı kurumlar ve mekanizmalar oluşturup iş birliği yapmaları kaçınılmaz hale gelmiştir. Uluslararası iş birliğini sağlayan küresel çevre yönetiminin kurulması; devletler arasındaki çok taraflı anlaşmaların artması, bir devletlerarası kuruluş olan BM'nin katkıları ve 1972 yılında yapılan Stockholm Konferansı'yla gerçekleşmiştir. Basel çevre rejiminin gelişmesi, liberal kurumsalcılık yaklaşımının açıkladığı üzere uluslararası sistemdeki karşılıklı bağımlılıktan kaynaklanmış ve bağlayıcı mekanizmaların ve yönetici kurumların oluşturulmasını

sağlamış, devletler çıkarlarını şekillendirmiştir. Uluslararası rejim teorilerinin savunduğu gibi devletler beklentilerinin çakıştığı durumlarda kurumsal davranışlarını değiştirmiştir. Rejimin oluşmasında liberal kurumsalcıların altını çizdiği üzere mekanizmaların şeffaflığı artırması ve iş birliği maliyetlerini azaltması faktörleri de etkilidir.

Basel rejimi örneğinde, Oran R. Young'ın kurumsal müzakere kavramının açıklayıcı olduğu görülmektedir. Bu kavram kapsamında tartışılan sorunun geleceğinin öngörülemez olması, sorunun tarafları olan devletleri Basel'de inisiyatif almaya yönlendirmiştir. Hem Afrika devletlerinin oluşturduğu koalisyon hem ABD liderliğindeki anlaşmaya yanaşmayan koalisyon karşılıklı tavizlerle inisiyatif göstermiştir. Thomas Bernauer'in bir rejimin başarılı veya başarısız olma ölçütü dikkate alındığında, Basel çevre rejimi aktör davranışlarında sağladığı değişiklikler ve doğal çevre ortamının en azından daha fazla kirlenmemesi yönünde aldığı önlemlerle 'kısmen' başarılı sayılabilir. Ama kurumsal tasarımın farklı boyutlara şekil alması kapsamında bazı düzenlemelerin yürürlüğe girmediğini vurgulamak gerekir. Basel çevre rejiminin oluşturulması açıklanırken kullanılan sözleşme-protokol metodu problemin doğasını, kapsamını, sebebini araştırmaya yönlendirirken; rejimin hukuksal geçmişinin, müzakerelerin takibinin, yükümlülüklerinin ve yasa değişikliklerinin analizinin belli bir çerçevede yapıldığını sağlamaktadır.

Sınır aşan çevre problemleri arasında sınırlanan tehlikeli atık ticaretinin geniş bir yelpazede sınıflandırılması önemli bir sorun olarak dikkat çekerken, Basel rejimi ve diğer çok taraflı uluslararası anlaşmalar bu yelpazenin bir kısmını kendi yönetim alanlarına dahil etmiştir. Bu atıkların yönetiminde özellikle taşınması ve bertaraf edilmesiyle ilgilenirken, rejim üretim kısmını da kapsar hale gelmiştir. Basel rejiminin diğer bir sorunu istatistiklerin yetersiz ve güvensiz olmasına rağmen, son bölümde ulaşılabilen bilgiler ışığında, atıkların kaynağı ve miktarı gösterilmiştir. Teknolojik alt yapısı zayıf, gelişmekte olan

devletlerin yakma ve gömme yöntemlerini kullanması rejimin bir diğer sorunudur. Özel sektörün de bu kar getiren imha işlemi ucuz maliyet getiren ülkelerde yapmak istemesi, yukarıda kısmen başarılı olarak nitelenen rejimin üzerine gölge düşürmektedir. Ancak kuzey ülkelerindeki geri dönüşüm alanında yaşanan gelişmeler, 'yeşil' üretim, tüketim ve bertaraf zincirini oluşturmaya başlamıştır.

Basel rejiminin ortaya çıkmasında ve sözleşme metninin tasarlanmasında 1970'li yıllarda kirlilikle mücadele eden sözleşmelerin yapılması, OECD'nin politikaları ve geliştirdiği prensipler ve BM Çevre programının ayrı öneme sahip oldukları görülmüştür. Basel Sözleşmesi ivedilikle bir ticaret yasağı hazırlamadığı için bölgesel ticaret yasakları sözleşmelerinin kurulmasına yol açmıştır. Türkiye de Akdeniz bağlamındaki 1996 tarihli Barselona Sözleşmesi'nin bir tarafı olmuştur. Basel Sözleşmesi'nin Taraflar Konferansında rejim farklı bir biçime doğru şekil almaya başlamıştır. Yeni yükümlülükler ve yasakların bir kısmı uygulamaya konmuş, bir kısmıysa onay beklemektedir. Önemli bir kurumsallaşmaya örnek olarak 14 bölgesel merkezin kurulması, hatta bunların bir kısmının Stockholm Sözleşmesi'yle ortak bir biçimde çalışması gösterilebilir. Kimyasalların yönetiminde ortak strateji gerçekleştiren SAICM'in oluşturulması, Basel, Stockholm ve Rotterdam Sözleşmelerinin ortak idari fonksiyona sahip sekretaryasının kurulması diğer kurumsal gelişmelerdir.

Basel Sözleşmesi tehlikeli atıkları insana ve çevreye verebileceği zarar üzerinden tanımlamaktadır. Gelecek aksiyonları arasındaysa tehlikeli atıkların üretildiği ülkelerde bertaraf edilmesi, bu atıkların ticareti yapılırken bilgi değişimiyle alakalı tedbirlerin devletler tarafından alınması, çevreye duyarlı teknolojilerin geliştirilmesi, atık yönetiminde teknoloji transferleri yer almaktadır. Sözleşme gelişmiş devletlere bir kınamada bulunmamasına rağmen, onların üzerine daha fazla sorumluluk yüklemektedir. Sözleşmenin getirdiği yükümlülükler arasındaysa sekretaryaya bildirimler, taraf olmayan ülkelere tehlikeli atıklarla ilgili ihracat ve ithalat yasağı, 60

derece güney enleminin altına bertaraf amacıyla ihraç yasağı, taşınım ve bertaraf süreçlerinin yetki veya izinli kişilerce yapılması, uluslararası standartlara göre taşınım, ihracatçı devletin bildirim ve ithalatçı devletin rızasının alınması bulunmaktadır. Farklılaşmış sorun alanları arasındaysa gelişmiş ülkelerin tehlikeli atıkların kirlilik potansiyelini azaltması için imkanlarını belli periyotlarla gözden geçirmeleri yer almaktadır. Anlaşmanın ihlal edilmesi durumlarında ceza yüklemekten ziyade, ihlalin kaynaklandığı taraf eliyle çözülmesini, kaynak belli değilse de bir iş birliği aracılığıyla kısa sürede bertarafını içermektedir.

Türkiye özelindeyse anlaşma 1994 yılında meclis onayından geçirilerek taraf olunmuş, 1995 yılında bir yönetmelik hazırlanarak bu yükümlülük yerine getirilmiştir. Üstelik Basel Ticaret Yasağı (Ban) da 2003 yılında onaylanmıştır. Kalkınma Planları bağlamındaysa tehlikeli atıklar ilk kez 1990-1994 tarihlerini kapsayan altıncı planda yer almıştır. Yedinci planda gerçekleştirilemeyen hedefler ve sorunun yanlış yönetildiği alanları eleştirilmiştir. Türkiye mevzuat düzenlemeleri ve kalkınma planlarında zaman zaman görüldüğü üzere rejime rıza göstermektedir.

Ayrıca AB Müktesebatına uyum sürecinde de mevzuatını yenilemekte ve uygulamalarını düzenlemektedir. Son bölümde görüldüğü üzere, Eurostat ile Türkiye'nin kendi tuttuğu veriler arasında muazzam bir farklılık bulunmaktadır. Rejimin doğasında veri ve istatistik sorunu olduğu metin içinde de belirtilmişti, bu yüzden farklı kuruluşlardan gelen verilerde uyumsuzluk kendini göstermektedir. Buna rağmen, bu veriler bir yandan diğer Avrupa ülkeleriyle karşılaştırma yapılmasını sağlarken, öte yandan Türkiye'nin atık yönetimi kapasitesinin artırdığını göstermektedir. Çalışmanın argümanını doğrular bir şekilde, Basel çevre rejiminin gelişmeye başladığı ve Türkiye'nin rejimin bir parçası olduğu 1990'lı yıllardan itibaren yasalar yaparak ve uygulamalar oluşturarak rejime rıza gösterdiği, 2007 sonrası Avrupa uyum sürecine girmesiyle rejime giderek uyum sağladığı görülmektedir. Kalkınma planları incelenirken görüldüğü gibi tehlikeli atık meselesinin devletin ilgili kurumlarınca özellikle Basel görüşmelerinin ardından önem kazandığı, hatta AB müktesebatına uyum sürecinde atık yönetiminde önemli ilerlemeler kaydettiği Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan ilerleme raporlarında, uyum takviminde ve eylem planlarında görülmektedir.

## Kaynakça

- ABK, (12.10.2022).. Avrupa Parlamentosuna, Konseye, Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesine ve Bölgeler Komitesine Sunulan Komisyon Bilgilendirmesi, 2022 Türkiye Raporu, Brüksel.
- Agius, MF. (2014). *Interaction and Delimitation of International Legal Orders*, Leiden ve Boston: Brill Nijhoff.
- AK. (16.10.2013). Avrupa Komisyonu, Komisyon Tarafından Avrupa Parlamentosuna ve Konseye Sunulan Bildirim: Türkiye 2013 Yılı İlerleme Raporu, Brüksel.
- AK. (08.10.2014). Avrupa Komisyonu, Komisyon Tarafından Avrupa Parlamentosuna ve Konseye Sunulan Bildirim: Türkiye 2014 Yılı İlerleme Raporu, Brüksel.
- AK. (10.11.2015). Avrupa Komisyonu, Komisyon Tarafından Avrupa Parlamentosuna, Konseye, Ekonomik ve Sosyal Komiteye ve Bölgeler Komitesine Sunulan Bildirim, Türkiye 2015 Yılı İlerleme Raporu, Brüksel.
- AK. (9.11.2016). Avrupa Komisyonu, Komisyon Çalışma Dokümanı: 2016 Türkiye Raporu, Brüksel.
- AK. (17.4.2018). Avrupa Komisyonu, Komisyon Tarafından Avrupa Parlamentosuna, Konseye, Ekonomik ve Sosyal Komiteye ve Bölgeler Komitesine Sunulan Bilgilendirme, 2018 Türkiye Raporu, Brüksel.
- AK. (29.5.2019). Avrupa Komisyonu, Komisyon Tarafından Avrupa Parlamentosuna, Konseye, Ekonomik ve Sosyal Komiteye ve Bölgeler Komitesine Sunulan Bilgilendirme, 2019 Türkiye Raporu, Brüksel.
- AK. (19.10.2021). Avrupa Komisyonu, Avrupa Parlamentosuna, Konseye, Ekonomik ve Sosyal Komiteye ve Bölgeler Komitesine Sunulan Bilgilendirme, 2021 Türkiye Raporu, Brüksel.
- ABB-UEP. (26.02.2016). T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı, Avrupa Birliği'ne Katılım için Ulusal Eylem Planı (Ocak 2016-Aralık 2019).

- Baldwin DA. (1993). *Neorealism and Neoliberalism: The Contemporary Debate*, New York: Columbia University Press.
- Basel Convention (2020). On the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, Revised in 2019.
- Basel.int-1. Parties to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. <https://www.basel.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesSignatories/tabid/4499/Default.aspx>. (Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024).
- Basel.int-2. Basel Protocol on Liability and Compensation for Damage Resulting from Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal Basel, 10 December 1999, <https://www.basel.int/Countries/StatusofRatifications/TheProtocol/tabid/1345/Default.aspx>. (Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024).
- Basel.int-3. The Basel Convention Regional and Coordinating Centres, <https://www.basel.int/Partners/RegionalCentres/Overview/tabid/2334/Default.aspx>. (Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024).
- BDPT-5. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Beşinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1985-1989).
- BDPT-6. T.C. Başbakanlık, Devlet Planlama Teşkilatı, Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı (1990-1994).
- BDPT-7. Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1996-2000).
- BDPT-8. 2000. Uzun Vadeli Strateji ve Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005), Ankara.
- BDPT-9. Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013).
- Bernauer T. (1995). The Effect of International Environmental Institutions: How We Might Learn More, *International Organization*, 49(2), 351-377.
- BPLC. (10 Aralık 1999). Basel Protocol on Liability and Compensation: Protocol on Liability and Compensation for Damage Resulting from Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal.
- Chasek PS., Downie DL., Brown JW. (2014). *Global Environmental Politics: Dilemmas in World Politics*, Westview Press.
- Chm.pops.int-1. The Stockholm Convention Regional and subregional centres, <https://chm.pops.int/Partners/RegionalCentres/Overview/tabid/425/Default.aspx>. (Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024).
- Chm.pops.int-2. The New POPs under the Stockholm Convention, <https://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx>. (Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024).
- Clapp J. (1994). Africa, NGOs, and the International Toxic Waste Trade, *The Journal of Environment & Development*, 3(2), 17-46.
- Clapp J. (2010). *Toxic Exports: The Transfer of Hazardous Wastes from Rich to Poor Countries*, Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Conca K. (2005). Environmental Governance after Johannesburg: From Stalled Legalization to Environmental Human Rights? *Journal of International Law & International Relations*, 1(1-2), 121-138.
- CSBB-11. (2019). T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), Ankara.
- CSBB-12. (2023). T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, On İkinci Kalkınma Planı (2014-2028), Ankara.
- ÇŞB. (16.04.2012). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü-Atık Yönetimi Dairesi-Tehlikeli Atıklar Şube Müdürlüğü, Sayı: 2.
- ÇŞB. (11.10.2013). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü-Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Sayı: 3.
- ÇŞB-UYAYEP. (5.12.2017). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı-2023.
- Eurostat-1. Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity, [https://doi.org/10.2908/env\\_wasgen](https://doi.org/10.2908/env_wasgen). (Erişim Tarihi: 5 Haziran 2024).
- Eurostat-2. Treatment of waste by waste category, hazardousness and waste management operations, [https://doi.org/10.2908/env\\_wastrt](https://doi.org/10.2908/env_wastrt). (Erişim Tarihi: 5 Haziran 2024).
- GEO5. 2012. Global Environmental Outlook 5: Environment For the Future We Want, United Nations Environment Programme.
- Haas PM. (2001). Environment: Pollution, P. J. Simmons, C. J. Oudraat (Ed.), içinde *Managing Global Issues: Lessons Learned* (310-353), Washington DC: Carnegie Endowment for International Peace.
- Haas PM., Keohane RO., Levy MA. (1993). *Institutions for the Earth: Sources of Effective International Environmental Protection*, Cambridge, MA: MIT Press.
- KB-10. (2013). T.C. Kalkınma Bakanlığı, Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018), Ankara.
- Keohane RO. (1984). *After Hegemony: Cooperation and Discord in the World Economy*, Princeton: Princeton University Press.
- Keohane RO. (1989). *International Institutions and State Power: Essays in International Relations Theory*, Boulder, CO: Westview Press.
- Keohane RO., Nye J. (1977). *Power and Interdependence: World Politics in Transition*, Boston: Little, Brown.
- KHK. (8 Haziran 1984). Kanun Hükmünde Kararname, 222.
- Kiss A. (1985). The Protection of the Rhine Against Pollution, *Natural Resources Journal*, 25(3), 613-637.
- Krasner SD. (1983). *International Regimes*, Ithaca: Cornell University Press.
- Krueger J. (1999). *International Trade and the Basel Convention*, London: Royal Institute for International Affairs.



- Kummer K. (1995). *International Management of Hazardous Wastes: The Basel Convention and Related Legal Rules*, Oxford: Clarendon Press.
- MARPOL 73/78. Final Act of the International Conference on Marine Pollution, 1973; Protocol of 1978 Relation to the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973.
- MCOM. (2019). Minamata Convention on Mercury: Texts and Annexes. [www.mercuryconvention.org](http://www.mercuryconvention.org).
- Mitchell RB. (2003). International Environmental Agreements: A Survey of Their Features, Formation and Effects, *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 429-461.
- O'Neill K. (1991). Political Leadership and Regime Formation: On the Development of Institutions in International Society, *International Organization*, 45(3), 281-308.
- O'Neill K. (2009). *The Environment and International Relations*, Cambridge.
- Pettenger ME. (2014). International Environmental Regimes: Formation, Effectiveness and Trends, P. G. Harris (Ed.), içinde *Routledge Handbook of International Environmental Politics* (111-123), Routledge.
- Puckett J., Wetervelt S., Gutierrez R., Takamiya Y. (2005). *The Digital Dump: Exporting Re-Use and Abuse to Africa*, Jim Puckett (ed.), Seattle: Basel Action Network.
- RC. (2017). Rotterdam Convention: On the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade. [www.pic.int](http://www.pic.int). (Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024).
- RG. (9 Ağustos 1983). Resmî Gazete. Sayı 18132. Çevre Kanunu, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=2872&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>.
- RG. (9 Kasım 1989). Resmî Gazete. Sayı 20337. Çevre Müsteşarlığının Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname 389, <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/20337.pdf>.
- RG. (21 Ağustos 1991). Resmî Gazete. Sayı 20967. Çevre Bakanlığının Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname 443, <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/20967.pdf>.
- RG. (15 Mayıs 1994). Resmî Gazete. Sayı 21935. Milletlerarası Sözleşme, <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/21935.pdf>.
- RG. (28 Temmuz 2003). Resmî Gazete. Sayı 25182. 2003/5909 Tehlikeli Atıkların Sınırlanması ve Bertaraf Edilmesinin Kontrolüne İlişkin Basel Sözleşmesine Getirilen Değişikliğin Onaylanması Hakkında Karar, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2003/07/20030728.htm#2>.
- RG. (9 Aralık 2003). Resmî Gazete. Sayı 25311. Akdeniz'de Tehlikeli Atıkların Sınırlanması Hareketleri ve Bertarafından Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Protokolünün Onaylanmasının Uygun Bulduğuna Dair Kanun, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2003/12/20031209.htm#2>.
- RG. (14 Mart 2005). Resmî Gazete. Sayı 25755. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/03/20050314-1.htm>.
- RG. (5 Temmuz 2008). Resmî Gazete. Sayı 26927. Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/07/20080705-7.htm>.
- RG. (26 Mart 2010). Resmî Gazete. Sayı 27533. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100326-13.htm>.
- RG. (6 Ekim 2010). Resmî Gazete. Sayı 27721. Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/10/20101006-21.htm>.
- RG. (3 Haziran 2011). Resmî Gazete. Sayı 27958. Çevre, Orman ve Şehircilik Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname 636, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/06/20110608M1-4.pdf>.
- RG. (4 Temmuz 2011). Resmî Gazete. Sayı 27084 Mükerrer. Orman ve Su İşleri Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname 645, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/07/20110704M1-2.htm>.
- RG. (22 Mayıs 2012). Resmî Gazete. Sayı 28300. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/05/20120522-5.htm>.
- RG. (2 Nisan 2015). Resmî Gazete. Sayı 29314. Atık Yönetimi Yönetmeliği, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm>.
- RG. (10 Temmuz 2018). Resmî Gazete. Sayı 30474). Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi 1, Madde 410, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/07/20180710-1.pdf>.
- RG. (29 Ekim 2021). Resmî Gazete. Sayı 31643. Cumhurbaşkanlığı Kararnamelerinde Değişiklik Yapılması Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi 85, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/10/20211029-35.pdf>.
- RG. (26 Aralık 2022). Resmî Gazete. Sayı 32055. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Yönetimi Hakkında Yönetmelik, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/12/20221226-1.htm>.
- RG. (28 Ocak 2023). Resmî Gazete. Sayı 32087. Bazı Zararlı Kimyasalların İhracatı ve İthalatı Hakkında Yönetmelik.
- Rittberger V. (1995). *Regime Theory and International Relations*, Oxford: Oxford University Press.
- Rublack S. (1989). Controlling Transboundary Movements of Hazardous Waste: The Evolution of a Global Convention, *The Fletcher Forum of World Affairs*, 13(1), 113-125.

- Selin H. (2012). *Global Environmental Governance and Regional Centers*, *Global Environmental Politics*, 12(3), 18-37.
- Selin H. (2013). Global Chemicals Politics and Policy, R. Falkner (Ed.), içinde *The Handbook of Global Climate and Environment Policy* (107-124), Wiley-Blackwell.
- Selin H. (2014). Hazardous Wastes, P. G. Harris (Ed.), içinde *Routledge Handbook of Global Environmental Politics* (427-438), Routledge.
- Seyfang G. (2003). Environmental Mega-Conferences from Stockholm to Johannesburg and Beyond, *Global Environmental Change*, 13, 223-228.
- Skodvin T., Andresen S. (2006). Leadership Revisited, *Global Environmental Politics*, 6(3), 13-27.
- Susskind LE. (1994). *Environmental Diplomacy: Negotiating More Effective Global Environmental Agreements*, New York: Oxford University Press.
- Şengün H. (2015). Türkiye’de Çevre Yönetimi ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Uygulamaları, *Strategic Public Management Journal*, 1, 109-130.
- UN. (1977). Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, *United Nations Treaty Series*, 1046, 138-218.
- Underdal A. (1992). The Concept of Regime ‘Effectiveness’, *Cooperation and Conflict*, 27(3), 227-240.
- Yang T. (2015). The Minamata Convention on Mercury and the Future of Multilateral Environmental Agreements. Environmental Law Reporter, Santa Clara Univ. Legal Studies Research Paper No. 1-15.
- Young OR. (1989). The Politics of International Regime Formation: Managing Natural Resources and the Environment, *International Organization*, 43(3), 349-375.