



**T.C.  
İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
SAĞLIK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

**TIBBİ ATIK YÖNETİMİNDE DÖNGÜSEL GEÇİŞİN  
YOL HARİTASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**ARIF SÖYLER**

**İZMİR-2023**

T.C.  
İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
SAĞLIK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

TIBBİ ATIK YÖNETİMİNDE DÖNGÜSEL GEÇİŞİN  
YOL HARİTASI

Yüksek Lisans Tezi

ARIF SÖYLER

DANIŞMAN: PROF. DR. SERHAT BURMAOĞLU

İZMİR-2023

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Tıbbi Atık Yönetiminde Döngüsel Geçişin Yol Haritası" adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

27/03/2023

Arif SÖYLER

# ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

## **TIBBİ ATIK YÖNETİMİNDE DÖNGÜSEL GEÇİŞİN YOL HARİTASI**

**Arif SÖYLER**

**İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi**

**Sosyal Bilimler Enstitüsü**

**Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı**

Dünya nüfusunun ve yaşlanma oranlarının giderek artan etkisiyle oluşan sağlık hizmeti ihtiyaçlarındaki artışlar, sağlık yönetiminin tıbbi atık boyutunun sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesini gerektirmiştir. Mevcut duruma ek olarak dünyadaki tüm sektörleri benzeri görülmemiş bir şekilde etkileyebilen salgın ve afetler gibi durumlarda, toplumları enfeksiyondan korunmak için tüm önlemlerin alınması, aşırı şekilde artan tıbbi atıkların kontrolü çok önemli hale gelmiştir. Tıbbi atıkların yönetimi ise geleneksel yani doğrusal yöntemler yerine daha çevreci ve sürdürülebilir olan döngüsel sistemler tercih edilerek geliştirilebilecektir. Döngüsel ekonomiye odaklı yaklaşımlar için döngüsel ekonomi prensiplerinin tüm politikacılar ve yöneticiler tarafından kullanılması gerekmektedir. Bu prensiplerin uygulanmasıyla tasarım ve üretimden itibaren daha az ham madde ve ürün kullanılarak çevresel ve ekonomik kazanım sağlanabilir. Tüm tıbbi atıklar eğer geri dönüştürülemiyorsa nihai noktada enerji kazanımı sağlanabilir. Tüm sektörlerde olduğu gibi sağlık hizmetlerinde ve tıbbi atık yönetiminde çevre, enerji ve ekonomi temelli döngüsel bir anlayışa yönelme söz konusudur.

Bu nedenle, yürütülen tez çalışmasının amacı tıbbi atıkların yönetim sürecinde döngüsel ekonomi prensipleriyle makro açıdan politikacılar ve yöneticiler için oluşturulabilecek döngüsel tıbbi atık yönetiminin yol haritasını tespit etmektir. Bu amacı gerçekleştirmek için oluşturulan araştırma çerçevesinin ilk adımı olan literatür taramasında kalitatif analiz kullanılarak tam metin üzerinden incelemeler yapılmış, veri kaynağı olarak ise Google Scholar, Science Direct, Scopus ve PubMed kullanılmıştır.

Tezimizde karma bir yaklaşım kullanılarak döngüsel tıbbi atık yönetiminin boyutları uygulama adımlarıyla araştırılmıştır. Öncelikle global durum değerlendirmesi için PESTEL analizi uygulanmış, COVID-19 salgını sınırlılık olarak belirlenmiş ve salgın sonrasında döngüsel atık yönetimini yönlendirebilecek makro ortamı keşfetmek için nitel bir araç olarak kullanılmıştır. Bu sınırlılığa istinaden, tezin tamamı salgının ortaya çıkmasıyla birlikte tüm dünyayı etkisi altına alan pandemi sürecinin etkisiyle, döngüsel ekonomi ile gelişen değişimlerin tıbbi atık süreciyle nasıl ilişkilendirilebileceği boyutuyla da ele alınmıştır. Döngüsel tıbbi atık yönetimi oluşturulabilmek için PESTEL analizinin etkisiyle politika ve teknoloji odaklı senaryolar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu senaryolar doğrultusunda yol haritası kanvası belirlenmiştir. Son olarak yürütülen bu çalışmayla sağlık hizmetlerinde tıbbi atık ve döngüsel ekonomi uygulamalarının ne aşamada olduğu tespit edilmeye çalışılmış, senaryolar doğrultusunda çalışmamızın nihai hedefi olan döngüsel tıbbi atık yönetimi için makro açıdan yol haritası ve her iki senaryonun optimal çıktısı olan karma senaryo adımları oluşturulmuştur. Bu yol haritası ve karma senaryo adımlarının, gelecekte hem sağlık, çevre, ekonomi gibi sektörel gelişmelere hem de akademik araştırmalara yön vereceği düşünülmüştür. Sonuç olarak tezimizin, sağlık kuruluşları yöneticilerinin ve politika yapıcıların, tıbbi atık yönetimini döngüsel olarak değiştirebilecek makro ortamı anlamalarına yardımcı olacağı değerlendirilmektedir.

Elde edilen bulgulara göre, döngüsel tıbbi atık yönetiminin politik ve teknolojik odaklı karma senaryo adımlarıyla gerçekleştirilebileceği, bu durumun ise başta sağlık, çevre ve ekonomi olmak üzere tüm sektörlerle etkisinin ve katkılarının olacağını göstermektedir. Bu amaçlarla uyumlu politikacıların, sağlık ve çevre yöneticilerinin döngüsel konulara önem vermesi gerektiği, tıbbi atıklar başta olmak üzere her konuda kendi yol haritalarını oluşturup döngüsel sonuçlara ulaşmasının gerekliliğini vurgulanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tıbbi Atık, Döngüsel Ekonomi, Döngüsellik, Yol Haritası, PESTEL, Dönüşüm.

# **ABSTRACT**

**Master's Thesis**

**Roadmap Of The Circular Transition In Medical Waste Management**

**Arif SÖYLER**

**İzmir Katip Çelebi University**

**Graduate School of Social Sciences**

**Department of Healthcare Management Program**

The increase in healthcare needs, which is caused by the increasing effect of the world population and aging rates, necessitated the evaluation of the medical waste dimension of health management in terms of sustainability. In addition to the current situation, in situations such as pandemics and disasters that can affect all sectors in the world in an unprecedented way, it has become very important to take all measures to protect societies from infection and to control excessively increased medical waste. The management of medical waste can be improved by preferring more environmentally friendly and sustainable circular systems instead of traditional linear methods. Circular economy principles should be used by all politicians and managers for circular economy oriented approaches. By applying these principles, environmental and economic gains can be achieved by using less raw materials and products from beginning of design and production. If all medical wastes cannot be recycled, energy recovery can be achieved at the final point. As in all sectors, there is a tendency towards a circular understanding based on environment, energy and economy in health services and medical waste management.

For this reason, the aim of the thesis is to determine the roadmap of circular medical waste management that can be created for politicians and managers in macro terms with the principles of circular economy in the management of medical wastes. For the literature review, which is the first step of the research framework created to achieve this aim, full text analyzes were used using qualitative analysis, and Google Scholar, Science Direct, Scopus and PubMed were used as data sources.

In our thesis, the dimensions of circular medical waste management were investigated with application steps using a multi-method approach. First of all, PESTEL analysis was applied for the global situation assessment, the COVID-19 outbreak was determined as a limitation, and it was used as a qualitative tool to explore the macro environment that can guide circular waste management after the pandemic. Based on this limitation, the whole thesis has been discussed in terms of how the circular economy and the developing changes can be associated with the medical waste process, with the effect of the pandemic process that has affected the whole world with the emergence of the epidemic. In order to create circular medical waste management, policy and technology-oriented scenarios were created with the effect of PESTEL analysis. In line with these scenarios, the roadmap canvas was determined. Finally, with this study, it was tried to determine the stage of medical waste and circular economy practices in health services, and a macro roadmap was created for circular medical waste management in line with the scenarios. It is thought that this roadmap will guide both sectoral developments such as health, environment, economy, and academic research in the future. As a result, it is evaluated that our thesis will help healthcare managers and policy makers to understand the macro environment that can circular change of medical waste management.

According to the findings, it shows that circular medical waste management can be realized with political and technological steps, and this situation will have effects and contributions to all sectors, especially health, environment, and economy. It is emphasized that politicians, health, and environmental managers, who are compatible with these purposes, should attach importance to circular issues, and that they should create their own roadmaps and reach circular results in every issue, especially medical wastes.

**Keywords:** Medical Waste, Circular Economy, Circularity, Roadmap, PESTEL, Transformation.

# İÇİNDEKİLER

|   |             |
|---|-------------|
| <b>YEMİN METNİ</b> .....                                | <b>ii</b>   |
| <b>ÖZET</b> .....                                       | <b>iii</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                   | <b>v</b>    |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....                                | <b>vii</b>  |
| <b>TABLolar LİSTESİ</b> .....                           | <b>x</b>    |
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....                           | <b>xi</b>   |
| <b>KISALTMALAR</b> .....                                | <b>xii</b>  |
| <b>ÖN SÖZ</b> .....                                     | <b>xiii</b> |
| <b>GİRİŞ</b> .....                                      | <b>1</b>    |
| <b>TIBBİ ATIK YÖNETİMİNE İLİŞKİN LİTERATÜR</b> .....    | <b>5</b>    |
| 1.1.Tıbbi Atık.....                                     | 6           |
| 1.2. Tıbbi Atık Yönetimi.....                           | 10          |
| 1.2.1.Kaynağında Ayrıştırma.....                        | 13          |
| 1.2.2.Atık Toplama .....                                | 14          |
| 1.2.3.Atık Depolama .....                               | 15          |
| 1.2.4. Atık Taşıma.....                                 | 15          |
| 1.3.Tıbbi Atık Eğitimi.....                             | 16          |
| 1.4.Tıbbi Atık Bertaraf Yöntemleri .....                | 18          |
| 1.4.1. Depolama .....                                   | 20          |
| 1.4.2. Yakma .....                                      | 21          |
| 1.4.3. Otoklavlama.....                                 | 23          |
| 1.4.4. Buhar Sterilizasyonu.....                        | 24          |
| 1.4.5. Mikrodalga ve Ultraviyole Isıtma Sistemleri..... | 24          |
| 1.4.6. Kimyasal Dezenfeksiyon .....                     | 25          |
| 1.4.7. Plazma Piroliz Yöntemi .....                     | 26          |
| 1.4.8. Katılaştırma/Stabilizasyon .....                 | 28          |



|   |           |
|---|-----------|
| 1.4.9. Diğer Yöntemler .....  | 29        |
| <b>DÖNGÜSEL EKONOMİ VE TIBBİ ATIK YÖNETİMİ .....</b>  | <b>36</b> |
| 2.1. Döngüsel Ekonominin Temel Prensipleri.....   | 38        |
| 2.1.1. Reddetmek .....  | 41        |
| 2.1.2. Yeniden Düşünmek ve Yeniden Tasarlamak.....  | 41        |
| 2.1.3. Azaltmak .....   | 42        |
| 2.1.4. Yeniden Kullanmak .....  | 43        |
| 2.1.5. Bakımını Yapmak ve Tamir Etmek .....   | 44        |
| 2.1.6. Yenilemek .....  | 45        |
| 2.1.7. Yeniden Üretmek .....  | 46        |
| 2.1.8. Yeniden Amaçlandırmak .....  | 47        |
| 2.1.9. Geri Dönüştürmek.....  | 47        |
| 2.1.10. Enerjiye Dönüştürmek .....  | 48        |
| 2.2.Döngüsellik'in Sağlık İlişkisi ve Uygulamaları.....   | 50        |
| <b>YÖNTEM.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>UYGULAMA.....</b>  | <b>73</b> |
| 4.1. PESTEL Analizi ile Global Durum Değişimleri .....  | 73        |
| 4.2. Senaryo Planlaması.....  | 82        |
| 4.2.1. Politika Odaklı Senaryo .....  | 85        |
| 4.2.2. Teknoloji Odaklı Senaryo .....   | 86        |
| 4.3. Uzman Görüşmeleri Işığında Yerel Durum Analizi .....   | 87        |
| 4.4. Yol Haritası Kanvas'ının Oluşturulması.....  | 90        |
| 4.5. Uzman Görüşleri ve Literatür Sentezi Işığında Yol Haritasının<br>Oluşturulması ve Tartışılması ..... | 92        |
| <b>BULGULAR .....</b>   | <b>95</b> |
| 5.1 Karma Senaryo Adımları ve Analizi .....   | 96        |
| 5.1.1 Döngüsel Eğitim .....   | 97        |
| 5.1.2. Döngüsel Ekonomiye Uyum.....   | 98        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.1.3. Atıkları Kaynağında Ayırma .....  | 99         |
| 5.1.4. Atık Azaltma.....   | 100        |
| 5.1.5. Döngüsel Tasarım .....  | 100        |
| 5.1.6. Enerjisini Üretebilen Sağlık Tesisleri .....  | 101        |
| 5.1.7. Vergi Teşvikleri ve Standartlaşmanın Sağlanması .....   | 101        |
| 5.1.8. Döngüsel Bertaraf Tesislerinin Tasarımı .....   | 102        |
| 5.1.9. Akıllı ve Entegre Sistemler ile Tıbbi Atık Yönetimi ve Takibi.....                              | 103        |
| 5.1.10. Döngüsel ve Çevre Dostu Ürünlerin Tercihini .....  | 105        |
| 5.1.11. Yasal Düzenlemelerin Yapılması .....   | 106        |
| 5.1.12. Dijitalleşmenin Benimsenmesi ve Teknoloji Entegrasyonu.....                                    | 108        |
| 5.1.13 Otonom Sistemlerin Kullanımı .....  | 109        |
| 5.3.14. Bilgi Teknolojileri ve Veri Biliminin (IoT, Big Data, AI, GIS, Makine Öğrenimi) Kullanımı..... | 110        |
| 5.1.15. Çevre Dostu Teknolojilerin Tercihini .....   | 113        |
| 5.1.16. Teknoparklarda Unicorn Şirketlerin Teşviki .....   | 114        |
| <b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>  | <b>116</b> |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>  | <b>120</b> |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| <b>Tablo 1.</b> Tıbbi Atık Çeşitleri ve Bertaraf Yöntemleri İlişkisi..... | 19 |
| <b>Tablo 2.</b> Tıbbi Atık Bertaraf Yöntemleri .....                      | 30 |
| <b>Tablo 3.</b> Döngüsel Ekonomi Prensipleri ve Öncelik Sırası .....      | 49 |
| <b>Tablo 4.</b> Döngüsel Tıbbi Atık Yönetimi Yol Haritası Kanvası.....    | 91 |
| <b>Tablo 5.</b> Döngüsel Tıbbi Atık Yönetimi Yol Haritası.....            | 94 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1. Tıbbi Atık Yönetim Sistemi.....                            | 13 |
| Şekil 2. Döngüsel Ekonomi Prensipleri .....                         | 40 |
| Şekil 3. Araştırma Adımları .....                                   | 57 |
| Şekil 4. PESTEL Adımları .....                                      | 58 |
| Şekil 5. Politika Odaklı Senaryo.....                               | 83 |
| Şekil 6. Teknoloji Odaklı Senaryo .....                             | 84 |
| Şekil 7. Döngüsel Tıbbi Atık Yönetimi İçin Senaryo Tercihleri ..... | 95 |
| Şekil 8. Döngüsel Tıbbi Atık Yönetimi İçin Uygulama Adımları .....  | 97 |

## KISALTMALAR

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>DSÖ</b>      | : Dünya Sağlık Örgütü                                |
| <b>COVID-19</b> | : Koronavirüs Pandemisi                              |
| <b>SBA</b>      | : Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Büyüme Amaçları |
| <b>KKE</b>      | : Kişisel Koruyucu Ekipmanlar                        |
| <b>TA</b>       | : Tıbbi Atık   |
| <b>KÇSE</b>     | : Küresel Çevre Stratejileri Enstitüsü               |
| <b>AI</b>       | : Yapay Zekâ (Artificial Intelligence)               |
| <b>IoT</b>      | : Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)          |
| <b>GIS</b>      | : Coğrafi Bilgi Sistemi                              |
| <b>BT</b>       | : Bilgi Teknolojileri                                |
| <b>TGA</b>      | : Teknoloji Gelecek Analizi                          |
| <b>YDD</b>      | : Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi                      |
| <b>HCWH</b>     | : Uluslararası Zararsız Sağlık Örgütü                |
| <b>VR</b>       | : Sanal Gerçeklik                                    |

## ÖN SÖZ

Bu zevkli ve zorlu süreçte benden desteklerini esirgemeyen başta sevgili eşim, aileme çok teşekkür ederim. Tez sürecim başta olmak üzere eğitim-öğretim hayatımda bilgisi ve tecrübesiyle her konuda yardım eden, danışmanlığın ötesinde yol göstericim de olan, motivasyonum düştüğünde gerçekçi ve umut verici tavsiyeleriyle yolumu aydınlatan, iyi bir akademisyen olmasından ziyade iyi de bir insan olduğunu düşündüğüm saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Serhat BURMAOĞLU'na yapmış oldukları katkılardan dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ders ve tez dönemlerimde bana olan inancı ve düşünceleriyle büyük bir motivasyon sağlayan, öğrenmenin hayat boyu devam ettiğini hissettiren, yönetim tecrübelerini bizimle paylaşarak yol gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Levent B. KIDAK'a katkılarında dolayı çok teşekkür ederim. Ayrıca her danıştığım da destek olan sevgili arkadaşım Güler KOŞTI'ya teşekkür ederim.

Yüce Türk milletinin ortak iradesi ve eşsiz kahramanlık mücadelesi sonucunda Ulu önder Mustafa Kemal ATATÜRK ve silah arkadaşlarınca kurulan Cumhuriyetimizin 100'üncü yıl dönümünde tezimi tamamlamanın gururunu ve mutluluğunu yaşarken, büyük emek ve çabalar sonucunda yazmış olduğum tezimi, bugünlere gelmemde büyük emeği olan 2018 yılında vefat eden dedem Aziz KARAKAYA'nın anısına ithaf ederim.

Arif SÖYLER

İzmir-2023

## GİRİŞ

İklim değişikliği, globalleşme, sanayileşme ve kentleşmenin hızlanması gibi etkiler ekolojik denge ve doğal kaynakların tüketiminde olumsuz baskı yaratmıştır. Nüfus artışı ve ekonomik büyüme odaklı politikalarla kaynaklara olan talebin artması, doğal kaynakların hızlı bir şekilde tüketilmesi ve yok olmasına varan süreci beraberinde getirmiştir. Bu anlamda kaynakların azalması ve üretimin artmasından dolayı atık miktarının yükselmesi döngüsel ekonomi kavramını gündeme getirmiştir. Döngüsel ekonomi, doğrusal ekonomide olan al – kullan – at modeli yerine mevcut malzeme ve ürünlerin önce kullanımının azaltılması, sonra mümkün olduğunca kullanılmasını, onarılmasını, yenilenmesini ve nihai noktada geri dönüştürülmesini içeren bir üretim – tüketim modelidir.

Döngüsel ve sürdürülebilir bir yaşam inşa etmek için atıkların yönetimi, günümüzde tüm dünyada zaruri hale gelmiş bulunmaktadır. Atık çeşitlerinden tıbbi atıkların döngüsel sistemler ile yönetilmesi ve bertaraf edilmesi tüm dünyada olduğu gibi, ülkemiz açısından da önemli bir durumdur. Sağlık kuruluşlarında oluşan tıbbi atıkların üretildiği yerden nihai süreç olan bertaraf edilmesine kadar sürecin döngüsel sistemlerle entegrasyonu oldukça kompleks bir süreç olup, tıbbi atık ve döngüsel ekonomi kavramlarının bilinmesi önem taşımaktadır.

Tıbbi atıklar, çevre ve toplum sağlığı açısından ölümlere varan tehlikeli durumlara neden olabilecek önemli hastalıkların sebeplerini oluşturabilmektedir. 2019 yılının son aylarında Çin'in Wuhan kentinden başlayarak tüm dünyaya yayılan COVID-19 pandemisinin etkileri hızlıca her alanda görülmeye başlamış olup halen etkileri devam etmektedir. Bu ani gelişen durum neticesinde Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) bu salgını "Uluslararası Öneme Sahip Halk Sağlığı Acil Durumu" olarak ilan etmiştir (Ahmed Al-Mandhari, Dalia Samhour, 2020; WHO, 2020a). Birçok kıtaya ve ülkeye yayılan salgın nedeniyle çok sayıda insan hayatını kaybetmiştir (Livingston & Bucher, 2020). 20 Ocak 2023 itibariyle, dünya genelinde 6.713.093 ölüm dahil 663.640.386 onaylanmış COVID-19 vakası bulunmaktadır (WHO, 2023).

Tüm dünyayı etkileyen olağanüstü durumların olumsuz etkileriyle tıbbi atık üretiminde kısa sürede önemli artışlar gerçekleşmektedir. COVID-19 döneminde yaşanan artışlar doğrultusunda tıbbi atıkların artış oranı dünyadaki tüm sağlık kuruluşlarında ortalama beş ile yedi kat olarak hesaplanmıştır (Maalouf & Maalouf, 2021; Singh vd., 2021; Thakur, 2021). Örneğin, salgının patlak vermesinden bu yana Wuhan'da tıbbi atık üretimi 1000 kişi başına 3,64'ten 27,32 kg/gün'e hızlı bir artış göstermiştir (Su vd., 2021).

Bu anlamda gerek insan ve halk sağlığı açısından risklerin minimum düzeye indirilmesi, gerekse sağlık kuruluşları açısından ekonomik kayıpların azaltılması için tıbbi atıkların dögüsel ekonomiyle birlikte değerlendirilmesi ve bu doğrultuda gerekli önlemlerin alınması, kaynağında ayrıştırılması ve uygun dögüsel ve sürdürülebilir yöntemlerle bertaraf edilmesi, böylelikle tıbbi atığın bertaraf yöntemleriyle çevreye daha az zararlı hale getirilmesi, tıbbi atıkların dizayn edilmesinden başlayan dögüsel çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Bu gereklilik kapsamında, hükümetler pandemi döneminde halk sağlığını korumak için vatandaşlarına sağlık hizmetleri sunmak ve acilen önlemler almak zorunda kalmış, tıbbi teknolojiler sayesinde imkanlarını en üst seviyede kullanma gayreti göstermiş, sarf malzemelerinin tedarikinin optimal yöntemle sağlanmasıyla salgının bulaş zincirini kırmaya çalışmışlardır. Üretim sektöründe yaşanan duraklama nedeniyle tıbbi tedarik zincirinde aksamalar yaşandığından, dögüsel bir anlayışla daha güvenli bir tıbbi tedarik zinciri sağlamak, sağlık hizmetlerinin maliyetlerini azaltmak ve erişilebilirliği artırmak için tıbbi atık yönetiminin yeniden ele alınması gerekmektedir.

Bu nedenle araştırma sorumuz “Tıbbi atık yönetimine dögüsel ekonomi perspektifi nasıl uygulanabilir?” olarak oluşturulmuştur. Bu soruyu yanıtlayarak, uygulanabilir bir yol haritası ile dögüsel tıbbi atık yönetimine geçiş yaparken ülkelerin bir politika çerçevesi elde etmeleri için kavramsal bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, tıbbi atık ve yönetimini, dögüsel ekonomi kavramlarını incelemek ve bu doğrultuda dögüsel ekonomi modeli çerçevesinde oluşturulacak tıbbi atık yönetiminin yol haritasını ortaya koymaktır. Yürürlükte olan tıbbi atık yönetimi ile ilgili birçok düzenleme bulunmakta ve bu çalışma ile politika ve



teknolojiler açısından yasal düzenlemelere döngüsel bir bakış açısı ekleyerek katkıda bulunulması öngörülmüştür. Ayrıca, yol haritası çerçevesinin politikacıların tıbbi atık yönetimi politikasına döngüsel düşünceyi kolayca yerleştirmelerine yardımcı olması beklenmektedir.

Araştırma, atık yönetiminde halk sağlığı için büyük riskler oluşturabilecek tıbbi atıkların yönetiminin günümüzde çoğunlukla uygulanan doğrusal ekonomiye karşı olumsuz çevresel etkileri azaltmaya çalışan döngüsel ekonomiye geçişin yol haritasının geliştirilmesi açısından önemli olarak değerlendirilmektedir.

Kalitatif analiz için tam metin üzerinden incelemeler yapılmış, veri kaynağı olarak ise Google Scholar, Science Direct, Scopus ve PubMed kullanılmıştır. Son olarak yürütülen bu çalışmayla sağlık alanında tıbbi atık ve döngüsel ekonomi uygulamalarının ne aşamada olduğu tespit edilmeye çalışılmış ve gelecekte hem sektörel gelişime hem de akademik araştırmalara ışık tutacağı düşünülmüştür. Ayrıca tezin tamamı salgının ortaya çıkmasıyla birlikte dünyayı etkisi altına alan COVID-19 pandemisinin, döngüsel ekonomi ile gelişen değişimler ve tıbbi atık süreciyle nasıl ilişkilendirilebileceği boyutuyla da ele alınmıştır.

Bu bağlamda tezin ilk bölümünde literatür taraması kapsamında tıbbi atık kavramı, tarihsel gelişimi, önemi, çeşitleri, tıbbi atık yönetimindeki mihenk taşları, tıbbi atık yönetimi ve eğitimi aktarılmıştır. Daha sonra tıbbi atık bertaraf yöntemleri ile bunların avantaj ve dezavantajlar açıklanmıştır.

İkinci bölümde, yine literatür taraması kapsamında döngüsel ekonomi kavramı, tarihsel gelişimi ve önemi aktarılmıştır. Daha sonra döngüselliğin R prensiplerinden literatürde sıklıkla kullanılan 10 R prensipleri açıklanmıştır. Son olarak ise döngüselliğin sağlık ilişkisi ve uygulamaları aktarılmıştır.

Üçüncü bölümde, çalışmada uygulanılacak yöntem için geliştirilen uygulama adımlarının işleyişi üzerinde durulmuş ve çalışmada hibrit bir bakış açısı oluşturmak için yol haritası ve senaryo planlama yönteminin uygulanmasına karar verilmiştir.

Dördüncü bölümde, yol haritası ve senaryo yöntemlerinin uygulanması maksadıyla global durum PESTEL analiziyle ortaya konmuş uzman görüşleri ışığında yerel durum analizi açıklanmış, yol haritası kanvası oluşturularak uzman görüşleri ve literatür sentezi ışığında yol haritası belirlenmiştir.

Beşinci bölümde bulgular kapsamında, politika odaklı senaryo, teknoloji odaklı senaryo ve yol haritasının etkisiyle oluşturulan en döngüsel tıbbi atık yönetim senaryosu olan karma senaryo adımları açıklanmış ve analiz edilmiştir.

Son olarak ise incelenen literatür ve uzmanlar ile yapılan görüşmeler ışığında elde edilen yol haritasının ve karma senaryo adımlarının daha anlaşılabilir olmasını sağlamak için döngüsel ekonomi bağlamında araştırmacılara önerilerde bulunularak tez sonuçlandırılmıştır.

## **BİRİNCİ BÖLÜM**

### **TIBBİ ATIK YÖNETİMİNE İLİŞKİN LİTERATÜR**

Günümüzde 7,3 milyar olan mevcut dünya nüfusunun önümüzdeki on yıllarda 9 milyara, 21'inci yüzyılın sonunda ise 11 milyara ulaşması beklenmektedir. Bu nüfus artışının beraberinde getireceği yaşlanma, hastalık, tedavi, salgın hastalıklar gibi sağlık sektörünü yakından ilgilendirecek önemli konular bulunmaktadır (United Nations Environment Programme, 2016). Bunlardan en önemli olanlarından birisi de atıklardır. Dünyada her yıl yaklaşık 1,47 milyar ton (436 kg/kişi/yıl) kentsel katı atık üretilmektedir (Zaman, 2016). Kentsel atıklara ilave olarak, tıbbi atık üretimi de her geçen gün artmaktadır.

Dünyadaki hızlı nüfus artışıyla birlikte sağlık hizmetlerine erişimin artması, hastalıkların çoğalması buna ilaveten günümüzde COVID-19'un etkisiyle sağlık hizmetlerine erişenlerin sayısının artması gibi sebeplerden dolayı tıbbi atık oranında da çok fazla artış olmuştur (Kargar vd., 2020; Zand & Heir, 2020). Özellikle tıbbi atık yönetim sistemlerinin aniden çökmesine neden olan pandemi döneminde enfekte personelin taranması ve tedavisi için kullanılan ekipmanlar (You vd., 2020), sürüntü çubuğu, şırınga, iğne, kesici alet, kan veya vücut sıvıları, dışkı, karışık atıklar, laboratuvar atıkları, virüs bulaşmış malzemeler, maskeler veya tek kullanımlık eldivenler gibi kişisel koruyucu ekipmanlardan (KKE) kaynaklı tıbbi atıkların miktarında önemli bir artış yaşanmış olmakla birlikte bu artış günümüzde halen devam etmektedir (Agamuthu & Barasarathi, 2020; Goswami vd., 2021; Teymourian vd., 2021).

DSÖ'nün öngörüsüne göre, küresel olarak ayda tahmini 89 milyon tıbbi maske, 76 milyon muayene eldiveni ve 1,6 milyon gözlüğe ihtiyaç olup küresel talebi karşılamak için KKE üretiminin % 40 artırılması gerekmektedir (WHO. Health Security and Environment Cluster, 2020). Pandemiyle hızla artan bu büyük miktardaki tıbbi atığın yanında ekstra olarak ambalaj plastik atıkları da yoğun bir şekilde artmıştır

(Klemeš vd., 2020; Raja vd., 2020). COVID-19'un yayılma hızı, yetersiz tıbbi atık yönetimi nedeniyle hızlı bir şekilde artmış (Mol & Caldas, 2020) ve tıbbi atıklar, her zamankinden daha bulaşıcı hale geldiğinden uygun şekilde bertaraf edilmediği takdirde ölümcül olma potansiyeline sahip olmuştur (Chauhan vd., 2021).

Dünyadaki birçok ülkenin sera gazı emisyonlarını azaltmak ve tıbbi atıkları bertaraf etmek için daha yeni, daha yeşil ve döngüsel bertaraf yöntemlerine ihtiyaç bulunmaktadır (Kenny & Priyadarshini, 2021). Tıbbi atık yönetim sistemindeki zorlukların üstesinden gelmek için dinamik ve duyarlı bir tıbbi atık yönetim sistemi gereklidir (Rahayu vd., 2021). Bu aşamada "Tıbbi Atık" kavramının doğru anlaşılması maksadıyla tanımı ve özelliklerinden bahsedilmesinde yarar bulunmaktadır.

### **1.1.Tıbbi Atık**

Sağlık hizmetlerinde atığı tanımlamak için kullanılan birçok kavram bulunmaktadır. Bunlar; sağlık hizmeti atığı (Chaerul vd., 2008; World Health Organization, 2017), sağlık atığı (T. Silva vd., 2020), hastane atığı (Manyele & Tanzania, 2004; Tsakona vd., 2007), biyomedikal atık (Datta vd., 2018), klinik atık (Blenkharn, 2006), tıbbi atık (Backman vd., 2020; Birpınar vd., 2009; C. E. Da Silva vd., 2005; Jang vd., 2006; Rutala, 1992; Sofik, 2020; Windfeld & Brooks, 2015; Xin, 2015; Xu vd., 2020). Bu terimler literatürde henüz ayırt edilemediğinden dolayı dünya çapında sıklıkla birbirinin yerine kullanıldığını ve bu terimleri tanımlamak için evrensel olarak kabul edilmiş bir terminoloji bulunmadığını belirtmek önem arz etmektedir (Ciplak & Barton, 2012; Insa vd., 2010). Bu durumdan dolayı, 'Tıbbi Atık' (TA) en sık kullanılan ve temsili anahtar kelime olduğundan (Sofik, 2020) araştırmamızda tıbbi atık kavramını kullanmayı tercih etmekteyiz. Tıbbi atık, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından şu şekilde tanımlanmaktadır:

*"İnsanların veya hayvanların tedavisi, teşhisi veya bağışıklanması sırasında üretilen atık"* (Windfeld & Brooks, 2015).

DSÖ'nün tanımından hareketle, tıbbi atıkların hasta teşhisi, tedavisi veya insanların aşılmasından kaynaklanan atık maddeler olduğunu ve bu atıkların başta hastaneler olmak üzere, birinci basamak sağlık tesisleri, laboratuvarlar, otopsi merkezleri, diş muayenehaneleri, kan bankaları, bakım evleri, klinikler, dispanserler,

ebelik, geçici karantina merkezleri, araştırma tesisleri gibi yerlerde üretildiği bilinmektedir (Chaerul vd., 2008; Hassan & Shareefdeen, 2021; Jaffrey, 2011; Jang vd., 2006; Maalouf & Maalouf, 2021; Pépin vd., 2014; Rutala, 1992). Tıbbi atık, evde yapılan herhangi bir sağlık faaliyeti sırasında üretilen atıkları da içerir ve içeriğin türleri ve özellikleri atığın ne kadar tehlikeli olduğunu belirlemektedir (Goswami et al., 2021).

Başka bir deyişle tıbbi atık, patojen mikroorganizmalar, kimyasallar, toksik ve radyoaktif maddeler, kan atıkları, vücut sıvıları, infüzyon şişeleri, antibiyotik kalıntıları, ilaç atıkları, kullanılmış iğneler, radyoaktif sıvılar içeren katı veya sıvı insan vücudu parçaları ve son kullanma tarihi geçmiş ilaçlar anlamına gelmektedir (Sofik, 2020).

İtalya'da yapılan çalışmada tıbbi atıkların %52'sinin rehabilitasyon hizmetlerinden, %23'ünün laboratuvarlardan, %14'ünün ameliyatlardan, %7'sinin diyalizden ve %4'ünün ilk yardımdan kaynaklandığı belirlenmiştir (Liberti vd., 1996). Tayvan'da yapılan benzer bir çalışmada tıbbi atıkların %23'ünün diyaliz ünitesinden, %17'sinin yoğun bakım ünitesinden, %12'sinin acil bakım ünitesinden ve %12'sinin poliklinikten kaynaklandığı tespit edilmiştir (Cheng vd., 2009). Ülkelerin gelişmişliğine ve sağlık sistemlerine bağlı olarak tıbbi atıkların üretimi hastane bölümlerine göre farklı oranlarda oluşabilmektedir. Ancak, atıkların üretildiği yerler açısından diğer tıbbi tesislerle karşılaştırıldığında, hastaneler açık ara en büyük tıbbi atık üreticisidir (Borowy, 2020).

Tıbbi Atık (TA) miktarları hakkında kesin rakamlar elde etmek zordur ancak bu miktarın dünya çapında yılda 100 milyon tona yaklaştığı tespit edilmiştir (Van Boerdonk vd., 2021). Yalnızca ABD'de yılda 5,9 milyon ton tıbbi atık üretildiği tahmin edilmektedir (Voudrias, 2018). Çevreye ve doğaya, genel ev atıklarından daha zararlı olan tıbbi atıklar (Wang vd., 2020), değişen derecelerde karmaşıklık ve zehirlilik oranları ile çok çeşitli formlarda bulunmaktadır (Kenny & Priyadarshini, 2021). Farklı araştırma çalışmalarının bulgularına göre tıbbi atıkların yaklaşık %15-20'si tehlikelidir ve geri kalan kısmı ise tehlikesiz yani evsel atık kapsamında değerlendirilmektedir (Adu vd., 2020; Birchard, 2002; Borowy, 2020; Chartier vd., 2014; Hasan & Rahman, 2018; North & Halden, 2013; Ozder vd., 2013; Royal College of Physicians, 2018; Van Boerdonk vd., 2021; Windfeld & Brooks, 2015; Yu Fei Xia,

2020). Tıbbi atıkların %80-85'ini oluşturan ambalaj, yemek atıkları, tek kullanımlık el kurutma havluları, evsel atıklar gibi tehlikesiz atıklar, idari hizmetlerde üretilen atıklar olarak da tanımlanmaktadır (Das vd., 2021; Oyekale & Oyekale, 2017; Xin, 2015). Kısaca sağlık tesislerinden çıkan atıklar, tehlikesiz genel atık ve tehlikeli atık olmak üzere iki ana gruptan oluşmaktadır (Odonkor & Mahami, 2020). Bu tehlikeli olmayan atıkların döngüsel uygulamalar noktasında daha uygun oldukları aşıkardır. Ancak tehlikeli atıklar da döngüsel ekonomi sisteminde özellikle halk sağlığı ve çevresel riskler açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle tehlikeli tıbbi atıkların detaylı olarak anlaşılması önemli olacaktır.

Dünya Sağlık Örgütü ve Küresel Çevre Stratejileri Enstitüsü (KÇSE), tehlikeli tıbbi atıkları ayrıntılı olarak yedi alt grupta sınıflandırmıştır (Borowy, 2020; Bucătaru vd., 2021; Çetinkaya vd., 2020; Letho vd., 2021; Thakur & Ramesh, 2015; Tsakona vd., 2007; Xin, 2015; Yasri & Wiwanitkit, 2020; Yves Chartier, Jorge Emmanuel vd., 2014). Bu yedi alt grup şunlardır; bulaşıcı atıklar, keskin atıklar, patolojik atıklar, farmasötik atıklar, genotoksik atıklar, kimyasal atıklar ve radyoaktif atıklar. Bahsedilen sınıflandırma detaylı olarak burada incelenmiştir.

Tıbbi atıkları sırasıyla tanımlarken ilk tehlikeli grup bulaşıcı atıklar olup bu atıklar, kan ve diğer vücut sıvıları ile kirlenmiş atık sular, oldukça bulaşıcı olan laboratuvar kültürleri ve mikrobiyolojik stoklar, izolasyon koşullarında yüksek derecede bulaşıcı hastalıklarda enfekte hastalarla temas halinde olan dışkı ve diğer malzemeleri içeren atıklardır. Bulaşıcı atıkların bakteri, virüs, parazit veya mantar içerdiği kabul edilmektedir. Laboratuvar çalışmalarından elde edilen enfeksiyon etkenlerinin kültürleri ve stokları, ameliyat ve otopilerden kan veya diğer vücut sıvılarıyla temas etmiş hastalardaki doku, malzeme, ekipman, enfekte hastaların dışkısı, enfekte veya cerrahi yaralardan pansumanlar, kan, vücut sıvıları, kontamine giysiler, diyalize giren tüpler ve filtreler, tek kullanımlık havlular, önlükler, eldivenler ve enfekte hastalardaki diyaliz ekipmanları bulaşıcı atıklardır (Chartier vd., 2014). Enfeksiyon içeren bulaşıcı atıkları 3-8 derecede 1 hafta depolanabilme imkanına sahip olsa da sıcak aylarda her gün, ılık aylarda en fazla 48 saat içinde atık toplama görevlileri tarafından toplanmalıdır.

İkinci tehlikeli grup ise keskin atıklar olup testere, kırık cam, iğne, deri altı iğnesi, neşter, diğer bıçaklar ve çivi gibi kesiklere veya delinme yaralarına neden

olabilecek atıklardır. Keskin atıklar kullanılmış veya kullanılmamış kesiciler olarak tanımlanabilir. Bu atıklara örnek olarak hipodermik, intravenöz veya diğer iğneler, otomatik devre dışı bırakılan şırıngalar, iğne takılı şırıngalar, infüzyon setleri, neşter, pipetler, bıçaklar, kırık camlar verilebilir. Keskin atıklar metal kutularda veya plastik kavanozlarda veya şişelerde biriktirilmelidir (Al-Khatib & Sato, 2009). Keskin ve bulaşıcı atıkların bertaraf edilmesi için buhar veya otoklavlama gibi diğer yanıcı olmayan teknolojiler kullanılmalıdır (Sekreteryal of Basel Convention, 2003).

Patolojik atık üçüncü tehlikeli atık çeşididir ve insan dokularını, organlarını, sıvılarını, vücut parçalarını, insan fetüslerini ve hayvan leşlerini, kan ve vücut sıvılarını içermektedir (Chartier vd., 2014; Pieper vd., 2017; Yves Chartier, Jorge Emmanuel vd., 2014). Biyolojik olarak aktif ve gaz oluşumları oluşabileceğinden patolojik atıklar soğuk muhafaza koşullarında saklanmalıdır. Ayrıca bu atıkların ailelere teslimi ve ulaştırılması söz konusu olduğunda mühürlü poşetler kullanılmalıdır.

Dördüncü grup, son kullanma tarihi geçmiş, kullanılmayan, dökülen ve kontamine farmasötik ürünler olup bu atıklar şunlardır; ilaçlar, aşular, kullanılmış yarım kalan şişe veya kutular, eldivenler, maskeler, bağlantı hortumları ve artık gerekli olmayan ve atılması gerekmeyen ilaç şişeleri ve serumları içeren farmasötik atıklar. İlaç atıkları sıvı ve katı halde olabileceğinden eczacılar tarafından farklı şekillerde ayrıştırılması gerekmektedir. Büyük miktarlarda farmasötik atık su yollarında, akarsularda ve yeraltı sularında bulunur ve iklimi etkilediği tespit edilmiştir (Alshemari vd., 2020; Chartier vd., 2014; Pieper vd., 2017)

Beşinci grup olan genotoksik atıklar, en tehlikeli atık türlerinden biridir, son derece tehlikelidir ve mutajenik, teratojenik veya kanserojen özelliklere sahip olabilir. Genotoksik atık, radyoaktif materyal, sitostatik ilaçlar, kimyasallar, kusmuk, idrar veya dışkı ile tedavi edilen hastalardan alınan belirli sitostatik ilaçları içerebilmektedir (Chartier vd., 2014; Pieper vd., 2017; Yves Chartier, Jorge Emmanuel vd., 2014). Genotoksik özelliklere sahip maddeler içeren sitotoksik atıklar, örneğin antikanser ilaçları sitarabin ve flouourasil gibi kanser tedavisinde sıklıkla kullanılan sitostatik ilaçları içeren atıklardır (Tsukamoto vd., 2016).

Altıncı tehlikeli grup: Teşhis ve deneysel çalışmalarla birlikte temizlik ve dezenfeksiyon işlemlerinden atılan katı, sıvı ve gaz halindeki kimyasallardan oluşan kimyasal atıklardır. Örneğin laboratuvar reaktifleri, film geliştiriciler, son kullanma

tarihi geçmiş veya artık gerekmeyen dezenfektanlar, solventler, ağır metal içeriği yüksek atıklar, piller, kırık termometreler ve kan basıncı göstergeleridir (Chartier vd., 2014; Pieper vd., 2017).

Yedinci ve son grup olarak, radyoaktif atık: Radyoaktif maddeler, örneğin radyoterapi veya laboratuvar araştırmalarından kullanılmamış sıvılar, kontamine cam eşyalar, paketler veya emici kağıtlar, mühürlenmemiş radyonüklidlerle tedavi edilen veya test edilen hastalardan alınan idrar ve dışkıyı içermektedir. Radyolojik atıkların imhası her ülkenin ulusal radyasyon ajansları tarafından belirlenen standartlara göre yapılmalıdır (Pieper vd., 2017; World Health Organization, 2007).

## **1.2. Tıbbi Atık Yönetimi**

Tıbbi atık yönetimini döngüsel perspektif açısından düşünürken tıbbi atıkları detaylı bir şekilde anlamının tıbbi atık ve döngüsel ekonomi entegrasyonuna fikir verebileceği düşünülmektedir. Özellikle bu tehlikeli atıkların yeni teknolojiler kullanılarak ortadan kaldırılması ve yeni malzemelere veya tehlikesiz hale dönüştürülmesinin çevre açısından daha önemli olacağı değerlendirilmektedir. Tıbbi atık tanımlarını verdikten sonra, döngüsellik ve tıbbi atık arasındaki ilişkiyi anlamak için tıbbi atık yönetimini açıklamak daha doğru olacaktır.

Tıbbi atık yönetimi çok karmaşık ve zorlu bir iştir (Backman vd., 2020). Tüm sağlık kurumlarının tıbbi atıklarının yönetimine atıfta bulunduğu birkaç dönüm noktası vardır. DSÖ ilk olarak 1983 yılında Norveç'in Bergen kentindeki bir çalıştayda hastanelerden kaynaklanan atıkların yönetimini ele almıştır (Borowy, 2020). Sağlıkta atık yönetiminin temel dayanağı ise 1989 yılında yapılan Basel Sözleşmesi ve 2004 yılında yapılan Stockholm Sözleşmesidir. Ayrıca, insan sağlığını ve çevreyi cıvanın olumsuz etkilerinden korumaya yönelik küresel bir anlaşma olan cıva hakkında Minamata Sözleşmesi de atık yönetiminde önemli bir yer tutmaktadır (Maalouf & Maalouf, 2021; "Minamata Convention on Mercury," 2017). Ancak, Basel, Minamata, Rotterdam ve Stockholm Sözleşmeleri gibi uluslararası anlaşmalar kapsamında yer alan tehlikeli ve cıvalı atıkların aksine, tıbbi atık yönetimini doğrudan kapsayan uluslararası, kapsamlı bir standart bulunmadığından çoğu ülkenin kendi uyguladıkları



yönergeleri vardır ve bunlar her ülkede önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Kühling, 2014).

1999 yılında DSÖ tarafından hazırlanan detaylı bir raporda, sağlık kuruluşlarının tıbbi atık sistemini sürdürmek ve gerekli kaynakları belirlemek için tıbbi atık yönetim planı yapması ve bu planın uygulanması gerektiği vurgulanmıştır (Prüss, Giroult & Rushbrook, 1999; Mostafa vd., 2009). Basel Sözleşmesi kapsamında, kimyasalların veya tehlikeli emisyonların üretimini ve salınımını en aza indiren tıbbi atık arıtma tekniklerine öncelik verilmesi tavsiye edilmektedir. Bu sözleşmelerden sonra; sağlık hizmetlerinde oluşan tıbbi atık yönetiminde değişiklik ve iyileştirmeler başlamıştır.

Küresel eylem planı, tüm sağlık tesislerinin 2030 yılına kadar temel su, sanitasyon ve hijyen hizmetlerini tamamlamasını amaçlamaktadır (WHO & UNICEF, 2015). Bu küresel hedeflere ulaşmak için sağlık kuruluşlarının atık yönetimi kapsamında; ayırma, toplama, taşıma, işleme ve atık bertarafı dahil güvenli tıbbi atık yönetimine önem vermesi gerekmektedir (Pieper vd., 2017). Dünya Sağlık Örgütü, politika yapıcılara, uygulayıcılara rehberlik etmek ve tesis yöneticilerinin tıbbi atık yönetimine bir rehber olarak sağlık tesislerinde bu tür hizmetleri iyileştirmeleri için güvenli tıbbi atık yönetiminin temel yönlerini vurgulayan kapsamlı ve ayrıntılı bir el kitabı (genellikle "Mavi Kitap" olarak bilinir ve orijinal adı "Sağlık faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların güvenli yönetimi"dir) hazırlamıştır (Borowy, 2020; Khan vd., 2019; Xin, 2015; Yves Chartier, Jorge Emmanuel vd., 2014). Ayrıca atık yönetimi uygulamalarının herhangi bir sağlık sisteminin mali ve teknik kapasitesi dahilinde yapılması gerektiği söylenmektedir (Bergesen vd., 2019; Material vd., 2016). Sonuç olarak, tıbbi atık yönetimine ilişkin uluslararası standartlar, prosedürler ve yerel düzenlemelerin (Blenkharn, 2006) olduğu ve bu düzenlemelerin tıbbi atıkların daha güvenli ve topluma daha az zararlı hale getirilmesi için uygulanması gerektiği bu düzenleyici çalışmalardan anlaşılmaktadır. Bu standart ve yönetmeliklerin varlığının ve tıbbi atık yönetimine bakış açısının sağlık hizmetlerinde döngüsellik araştırmalarını kolaylaştıracağına inanılmaktadır.

Nüfusun ve çevrenin sağlığını olumsuz etkilediği için tıbbi atıkların dikkatli bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir (Bucătaru vd., 2021). Tıbbi atık yönetim sisteminin

planlanmasında o ülkenin karar vericilerinin teknik, ekonomik, sosyal ve politik faktörleri içeren çeşitli parametreleri dikkate alması ve buna göre değerlendirme ve planlama yapmaları daha doğru olacaktır (Özkan, 2013). Genel olarak tıbbi atık yönetimi; ayırma, toplama, elleçleme, dahili ve harici depolama, taşıma, bertaraf tesisi ve arıtma teknolojisiyle birlikte enerji geri kazanımından oluşur (Birpınar vd., 2009; Ciplak & Barton, 2012; C. E. Da Silva et al., 2005; Datta vd., 2018; Goswami vd., 2021; Kargar vd., 2020; Shi vd., 2017; WHO (World Health Organization), 2002). Tıbbi atıklar uygun şekilde yönetilmez ve ele alınmaz ise doğal ortamda toprak, hava ve suda oluşabilecek kirliliğe neden olacağı gibi ekolojik çevreye de zarar vereceği için tıbbi atık yönetimi çok önemli bir süreçtir (Wang vd., 2020). 2013 yılında, sağlık atıklarının asit yağmuru, sera gazı emisyonları, duman oluşumu, hava kirleticileri, stratosferik ozon incelmeleri, kanserojen ve kanserojen olmayan hava toksik maddeleri gibi ulusal hava kirliliği emisyonlarının ve etkilerinin önemli bir kısmından sorumlu olduğu tespit edilmiştir (Eckelman & Sherman, 2016). Tıbbi atıklar tehlikeli olabileceğinden, toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesinden kaynaklanan riskler çok dikkatli bir şekilde ele alınmalıdır (Babae Tirkolae & Aydın, 2021). Atık üreticilerinin davranışı, atıkların ayrıştırılması, insan kaynaklarındaki personel ve yetkililerin kapasiteleri, arıtma ve bertaraf sistemleri, ulaşım ve izleme sistemi gibi önemli hususlar atık yönetimini etkileyen faktörlerdendir (Amitha & Manoj, 2020; Datta et al., 2018; Di Foggia & Beccarello, 2020)

Ayrıca, tıbbi atık yönetiminin sosyo-ekonomik ve çevresel etkilerini azaltmak için tüm sistem göz önünde bulundurulmalı (You vd., 2020) ve etkin tıbbi atık yönetimi için sağlık kurumları kendi atık üretim tahminlerini yapmalıdır (Chartier vd., 2014). Bu tahminlerin doğru bir şekilde yapılması için tıbbi atık sürecinde en başından itibaren detaylı bir planlama ve süreçte oluşan verilerin analiz edilmesi gereklidir. Bu nedenle sağlık kuruluşlarında genel olarak aşağıdaki adımları içeren Şekil 1'deki tıbbi atık yönetim sistemi uygulanmaktadır.



Şekil 1: Tıbbi Atık Yönetim Sistemi

### 1.2.1.Kaynağında Ayrıştırma

DSÖ, tıbbi atık yönetim sisteminin ilk adımı olarak, tıbbi atık yönetiminin kaynağında ayrıştırma ve atık azaltma aşamasını vurgulamaktadır (Adu vd., 2020; Blenkarn, 2006; Datta vd., 2018; Ferreira & Teixeira, 2010; Khan vd., 2019; Ndidi vd., 2009; Odonkor & Mahami, 2020; Windfeld & Brooks, 2015; Yazie vd., 2019). Tıbbi atık kurallarına göre tıbbi atıklar ayrı olarak toplanmalı ve hiçbir aşamada diğer atıklarla karıştırılmamalıdır (Teymourian vd., 2021). Geri dönüşüm merkezlerine gelen atıklar karışık tipte olduğundan elleçleme daha zorlu hale geleceğinden sınıflandırma konusundaki korkuları ve endişeleri artıracaktır ki bazı ülkelerde atık yönetim sistemine bağlı atık ayrımı konusunda kanun ve yönergeler olmasına rağmen uygulamalarda eksiklikler yaşanmaktadır (Kumar vd., 2021). Örneğin ortalama olarak tıbbi atıkların yaklaşık %33'ü kaynağında ayrıştırılmaktadır ancak bu rakam Çin'de yaklaşık %75 iken Uganda gibi az gelişmiş ülkelerde %7'ye kadar düşmektedir (Singh vd., 2021).

Atık azaltma vurgusu dögüsel ekonominin en önemli prensiplerinden birisidir. Bununla birlikte tıbbi atık yönetimi süreci için temel sorun uygun olmayan ayrıştırma sürecidir (Tsakona vd., 2007). Tıbbi atıkları, tehlikesiz atık olan belediye

atıklarından ayırmak için Şekil 1’de gösterilen adımlardan en önemlisi kaynağında tıbbi atıkları ayrıştırma gereklidir (Ciplak & Barton, 2012). Uygun bir atık yönetim sisteminde, tıbbi atıkları tehlikesiz atıkların akışından uzaklaştırmak için detaylı, planlı ve döngüsel olacak şekilde bir ayrıştırma planı gerekmektedir (Ciplak & Kaskun, 2015). Uygun ve verimli, doğru konumlandırılmış arıtma cihazı, sağlık profesyonellerinin atıkları ayırma ihtiyacını sınırlayacak ve bu nedenle insan hatasını azaltacaktır (Coronel vd., 2002). Ayrıştırılmış atıkların maliyet etkenlerine ilişkin sonuçlar incelendiğinde ayrıştırılmış atıkların arıtılması için atık tesislerin kullanılmasının maliyetleri azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıştırılmış atık malzemelerle ilgili olarak, daha yüksek bir cam yüzdesi maliyetlerinin artmasına neden olurken, daha yüksek kağıt payı maliyetlerini düşürmeye katkı sağlamaktadır (Di Foggia & Beccarello, 2020). Ayrıca yapay zekâ teknolojisi (AI), geri kazanılamayan malzemeleri geri kazanmayı mümkün kılarak atıkları ayırma şeklimizi değiştirebilecektir (Backman vd., 2020). Sağlık kurumlarının büyük çoğunluğunda tıbbi atıkların uygun şekilde ayrıştırılmadığı ve doğru bir şekilde taşınmadığı tespit edilmiştir (Letho vd., 2021).

Bu nedenle atıklar öncelikle kaynağında, belirlenmiş uygun koşullardaki atık haznelere ayrıştırılmalı ve sağlık personellerine atık ayrıştırmanın atık yönetim sisteminde birinci ve en önemli adım olduğu konusunda özen gösterip, önem verecekleri eğitim ve denetim sistemlerini sağlık yöneticilerince oluşturulmalıdır.

### **1.2.2. Atık Toplama**

Sağlık tesislerinde atık kaplarının renk kodlaması ve etiketlenmesi ile uygun olarak ayrılmış tıbbi atık (Adu vd., 2020; Letho vd., 2021; Windfeld & Brooks, 2015), maliyeti yaklaşık %15 gibi önemli ölçüde azaltabilecektir (Hassan & Shareefdeen, 2021). Doğrudan atık azaltma ve enerji tasarrufu yoluyla sağlık hizmetlerinin döngüsel ve çevresel performansını iyileştirmek için ortak çaba atık yönetiminde yer alan tüm bireyler tarafından gösterilmelidir (Eckelman & Sherman, 2016). Tıbbi atıkların sınıflandırılması, uygun şekilde toplanması ve özelliklerine göre etkin bertaraf yöntemlerinin kullanılması ile atık hacmini ve bertaraf için gereken toplam maliyeti büyük ölçüde azaltmak mümkün olacağından sağlık yöneticiler ve politikacılar bu konuya önem vermelidirler (Altın vd., 2003; Lee vd., 2004; Windfeld & Brooks,

2015). Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD), bulaşıcı atıklar için 0.79 \$/kg ile karşılaştırıldığında, genel atık bertaraf maliyeti 0.12 \$/kg, radyoaktif atık 2.87 \$/kg, kimyasal atık 3.44 \$/kg'dır (Lee vd., 2004; Yu Fei Xia, 2020). Amerika Birleşik Devletleri'nde ton başına ortalama tıbbi atık bertaraf maliyeti 790 \$'dır (Lee vd., 2004). Açıklanan rakamlardan anlaşılacağı üzere, büyük bir sağlık sistemi için maliyetleri önemli ölçüde etkileyecek durumlar oluşacaktır. Pandemiden önceki koşullara göre tehlikeli tıbbi atıklarının genel atıklara nazaran güvenli bir şekilde işlenmesi ve bertaraf edilmesi için gereken maliyetler on kat daha fazladır. Tıbbi atıkların toplanmasına yoğun bakım, diyaliz, ameliyathane gibi en hijyenik ortamlarda başlanmalıdır. Bu toplanma sürecine DSÖ öncelikle atıkların genel, bulaşıcı ve keskin atıklar olarak ayrılmasını önermektedir. Atıkların ayrıştırılması ülkeden ülkeye değişmekle birlikte, DSÖ atıkların toplanma zamanını ve hangi renklerde kaplarda toplanması gerektiğini belirlemiş ve sağlık sistemi yöneticilerine önermiştir.

### **1.2.3. Atık Depolama**

Tıbbi atıkların bertaraf edileceği tesislere gitmeden önce, tehlike ve riskten korunmak için saklama koşulları son derece önemlidir ve bu depolama sıcak olmayan koşullarda gerçekleştirilmelidir. Bertaraf edilmeden önce yapılacak depolama, bulaşıcı atıkların soğuk muhafaza dolaplarında 3-4 °C sıcaklıkta en fazla 3 gün tutulduğu özel bir alanda gerçekleştirilir ancak bu atıklar günlük olarak toplanmalıdır (Ferreira & Teixeira, 2010; Maalouf & Maalouf, 2021; Tsakona vd., 2007). Olağanüstü dönemlerde tıbbi atıkların geçici depolama süresinin 24 saati geçmemesi için önlemler alınmaktadır (Peng vd., 2020).

### **1.2.4. Atık Taşıma**

Atıkların ayrıştırılma işleminden sonra uygun bertaraf güzergahında taşınması önemlidir ve yoğun bir hastane veya sağlık kuruluşu da olsa asla ihmal edilmemelidir (Yu Fei Xia, 2020). Yukarıdaki işlemlerden sonra sağlık tesislerinden atık işleme tesislerine uygun koşullarda taşıma süreci gerçekleşmektedir. Sağlık kuruluşları içindeki atıkların, bir hastane bünyesinde veya hastane dışı bir merkezi tesiste bulunabilecek arıtma tesislerine taşınması ve işlenmesi anlamına gelmektedir

(Windfeld & Brooks, 2015; Xin, 2015). DSÖ, farklı kategorilerdeki tıbbi atıkların taşınması için atık taşımak için özel olarak donatılmış taşıyıcı araçların kullanılmasını şart koşmaktadır ancak atık kaynağında ayrılmadığında bu nihai hedef başarısız olacaktır (Abdullah & Al-Mukhtar, 2013). Sağlık kuruluşlarının çoğu merkezi bir atık yönetim sistemine ve tesisine bağlı olsa da atıkları taşırken yol kenarlarına ya da sağlık tesisi tarafından veya arıtma tesisi tarafından açık alanlara döküldüğü ülkeler hala yaygındır (Goswami vd., 2021). Taşıma sırasında çevreye yasadışı boşaltma, halk için sağlık riski oluşturması ve tıbbi atıkların temizleme maliyetlerinin son derece yüksek olması nedeniyle büyük bir sorun olarak kabul edilmektedir (Birchard, 2002). Atıkların işleme tesislerine taşınması için en uygun zaman gece ve sabahın erken saatleridir (Peng vd., 2020). Bu taşıma işlemleri sırasında tehlikeli ve tehlikesiz sağlık atıklarının her zaman ayrı taşınması gerekir. Ulaşım araçlarının günlük dezenfeksiyonu yapılmalı ve bu durum yazılı protokol haline getirilmelidir (Pieper vd., 2017). Sağlık kuruluşlarında ve tedavi merkezlerinde bulaşıcı atık taşıyan kamyonların bekleme sürelerini yönetmek için bekleme sıraları ve bekleme zamanını gösteren kuyruk teorisi kavramının uygulandığı araştırmalar mevcuttur (Govindan vd., 2022). Ayrıca, çevreyi sera gazı emisyonlarının neden olduğu kirlilikten korumak için daha iyi ulaşım planlaması şarttır (Babae Tirkolae & Aydın, 2021). Sağlık hizmeti atıklarının taşınmasından sorumlu personelin uygun şekilde donatılması ve eğitilmesi gerekir (Letho vd., 2021).

### **1.3.Tıbbi Atık Eğitimi**

Uygun sürdürülebilir tıbbi atık yönetimi stratejileri geliştirmek için tıbbi atık miktarını ve bileşimini ayırt etmek son derece önemlidir (Çetinkaya vd., 2020). Tıbbi atık yönetimi uygulamalarına yön verebilirken verilere ihtiyaç duyulması nedeniyle tüm süreçlerde tıbbi atık yönetimini doğru bir şekilde planlamalı, sağlık kurumları tıbbi atıkların kayıtlarını özenerek tutulmasını sağlamalıdır (Alshemari vd., 2020; Çetinkaya vd., 2020; Manyele & Lyasenga, 2010; Odonkor & Mahami, 2020)

En büyük endişelerden biri tıbbi atık kaynaklı tehlikeler hakkında çeşitli düzeylerde atığa maruz kalan veya atıkla uğraşan kişiler arasındaki farkındalık eksikliğidir. Tıbbi atığın toplanması ve bertarafı ile ilgili insan kaynaklarının

bilinçlendirilmesi ve eğitimi, güvenliğin sağlanması ve risklerin en aza indirilmesi için en önemli alanların başında gelmektedir (Goswami vd., 2021). Tıbbi atık yönetiminin sorumluluğu, başta sağlık yöneticileri olmak üzere nitelikli personelin sorumluluğundadır. Ne yazık ki yapılan bazı çalışmalarda, sağlık çalışanlarının tıbbi atık yönetimi konusunda bilinçli olmadıkları veya tam olarak ne yapacaklarını bilemedikleri görülmektedir (Alshemari vd., 2020; Odonkor & Mahami, 2020). Sağlık personelinin tıbbi atık mevzuatı konusunda eğitim düzeyinin ve farkındalığının düşük olması halk sağlığını tehlikeye atacaktır (Haylamicheal vd., 2011). Tıbbi atıkların toplanmasından işlenmesine kadar tüm süreç, yüksek standartta eğitim ve uygulama gerektiren tehlikeli bir faaliyettir (Letho vd., 2021; Mostafa vd., 2009; Windfeld & Brooks, 2015). Tıbbi atık yönetimi ile ilgili eğitimler standartlaştırılmamış olup bazı hastaneler ayda bir, bazıları ise yılda en az iki kez atık eğitimi kursu vermektedir, bu nedenle eğitimin kalitesi ve düzenliliği önem arz etmektedir (Birpınar vd., 2009). Sağlık çalışanları denilince ilk akla gelen doktor, hemşire ve temizlik görevlilerinin büyük bir çoğunluğu tıbbi atık yönetimi konusunda yetersiz bilgi ve uygulamalara sahip olduğu tespit edilmiştir (Mostafa vd., 2009; Oyekale & Oyekale, 2017; Zhang vd., 2013). Örneğin, Çin'de tıbbi atık sisteminde çalışanların ortalama %80'i tıbbi atık yönetimi konusunda hizmet içi eğitim görmüşken, Hindistan ve Mısır'da bu oran %20'lere kadar düşmektedir (Singh vd., 2022).

Araştırmalar, tıbbi atık eğitim programlarına doktorların en az dahil olduğunu ve bununla doğru orantılı olarak doktorların hemşirelere ve temizlikçilere göre daha az bilgiye sahip olduğunu göstermektedir (Ferreira & Teixeira, 2010). Tıbbi atık yönetimi eğitimi, atıkların zararlı etkilerini en aza indirmeyi ve çevreye faydalı alternatif uygulamaları amaçlamalıdır (Adu vd., 2020; Yu Fei Xia, 2020). Tıbbi atık yöneticileri, tıbbi atık yönetimi konusunda eğitim almış olmalı ve düzenli olarak kontrol edilmelidir (Ozder vd., 2013). Atık yönetimi alanında uygulamalı eğitim çok önemlidir ve sağlık personeli tarafından bu eğitimler esnasında birkaç kez tekrarlanmalıdır (Mostafa vd., 2009).

Sağlık profesyonellerinin, sistem ve personel için rutin çalışan eğitimi, sürekli olarak eğitim ve yönetim değerlendirme süreçlerine entegre edilmesi gerekmektedir (Da Silva vd., 2005; Fisman & Tuite, 2014; Hasan & Rahman, 2018; Yu Fei Xia, 2020). Tüm personel üyeleri arasında uygun bilgi, tutum ve güvenli uygulamayı

sağlamak için tıbbi atık yönetiminde uygun eğitim ve denetimin yanı sıra ilgili ve devam eden hizmet içi eğitime ihtiyaç vardır (Ndidi vd., 2009; Olaifa vd., 2018). Tıbbi atık yönetimi eğitimlerinin tüm sağlık çalışanlarına yönelik periyodik olarak tekrarlanması, tazeleme ve uyum eğitimleri ile çalışanlara oryantasyon sağlayacak ve bilgileri güncel tutarak tıbbi atık yönetimi sürecini olumlu etkileyecektir. Hastane personeline tıbbi atıkların ayrıştırılması, taşınması ve bertarafı konusunda eğitim verecek uygun tesisler bulunmalıdır (Oyekale & Oyekale, 2017). Sağlık kurumlarında yönetici, doktor, hemşire, hasta bakıcılar gibi eğitilmiş ve bilgili personel sayesinde tıbbi atık yönetiminde aktif rol üstlenilecektir. Tıbbi atıkların eğitilmiş sağlık profesyonelleri tarafından doğru şekilde bertaraf edilmesi süreci, döngüsel ekonomi çerçevesinde tıbbi atık sistemi uygulanarak daha ekonomik, çevresel ve sürdürülebilir şekilde geliştirilebilecektir.

#### **1.4.Tıbbi Atık Bertaraf Yöntemleri**

Dünyada hızla artan nüfus, bu nüfusa bağlı olarak artan yaşlanma oranları, kronik hastalıklara bağlı tıbbi tedavilerin artması ve bu tedavilerin daha karmaşık hale gelmesi ve daha fazla sağlık hizmeti talebi, sağlık sektörünün hızla büyüyen bir sektör olduğunu göstermektedir. Bu nedenle her zamankinden daha fazla atık üretilmekte, dolayısıyla bu atıkların daha çevreci ve döngüsel yöntemlerle işlenip bertaraf edilmesi ihtiyacı doğmaktadır (Kenny & Priyadarshini, 2021).

Tıbbi atıklar, belediye atıklarına kıyasla bertaraf edilmeden önce ayrıştırılmalı ve mümkünse arıtılmalıdır (Kargar vd., 2020). Çünkü tıbbi atıklar değişen derecelerde toksisiteye sahip olabilir ve bu nedenle oldukça uzmanlaşmış işlemler gerektirmektedir (Kenny ve Priyadarshini, 2021). Tıbbi atıkların arıtılması ve bertarafı yerel koşullara bağlı olmakla birlikte teknik uzmanlık, ulusal yönetmelikler, atık özellikleri, hacmine göre atık tesisi kurulumu, çalıştırma ve arıtma sisteminin bakımı için teknik gereksinimler, güvenlik ve çevresel faktörler, maliyet hususları dahil olmak üzere birçok farklı kaynağı içermektedir. Tıbbi atıkların güvenli bir şekilde imha edilmesi ve müteakip imha süreci, hastalık veya yaralanmayı azaltmada ve çevresel kirlilikleri önlemede önemli bir adımdır (Blenkharn, 2006). Tıbbi atıkların imha sürecinde termal, kimyasal, ışınlama ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır (Hassan & Shareefdeen, 2021; Kenny & Priyadarshini, 2021). Malzemeyi küçük parçalar



halinde ögüterek ve yüksek sıcaklıkta buhar, mikrodalga fırınlar veya kimyasal işleme işleyerek enfeksiyon atıklarının sterilize edebilen gelişmiş teknolojiler bulunmaktadır (Kane vd., 2018). Dolayısıyla tıbbi atık yönetiminde depolama ve kimyasal süreçler dahil olmak üzere birçok bertaraf yöntemi vardır ve bu tıbbi atık arıtma teknikleri düzenli depolama ve kapsülleme, yakma, ısıl işlem yöntemlerinden olan otoklavlar, entegre buhar sterilizasyonu, mikrodalga ve ultraviyole ısıtma sistemleri, kimyasal dezenfeksiyon, plazma pirolizi, katılaşma-stabilizasyon ve diğer yöntemler olmak üzere Tablo 1’de görüleceği üzere dokuz başlık altında tanımlamak mümkündür. Bu kısımda sırasıyla bu yöntemlerden bahsedilecektir.

| TIBBİ ATIK<br>ÇEŞİDİ | TIBBİ ATIK BERTARAF YÖNTEMLERİ |       |             |                         |            |                           |                |
|----------------------|--------------------------------|-------|-------------|-------------------------|------------|---------------------------|----------------|
|                      | Depolama                       | Yakma | Otoklavlama | Sterilizasyonu<br>Buhar | Mikrodalga | Dezenfeksiyon<br>Kimyasal | Plazma Piroliz |
| <b>Bulaşıcı</b>      | +                              | +     | +           | +                       | +          | +                         | +              |
| <b>Keskin</b>        | +                              | +     | +           | +                       | +          | +                         | +              |
| <b>Patolojik</b>     | -                              | +     | -           | -                       | -          | -                         | +              |
| <b>Farmatoksik</b>   | -                              | +     | -           | -                       | -          | +                         | +              |
| <b>Genotoksik</b>    | -                              | +     | -           | -                       | -          | -                         | -              |
| <b>Kimyasal</b>      | -                              | +     | -           | -                       | -          | -                         | +              |
| <b>Radyolojik</b>    | -                              | -     | -           | -                       | -          | -                         | -              |

**Tablo 1:** Tıbbi Atık Çeşitleri ve Bertaraf Yöntemleri İlişkisi

### 1.4.1. Depolama

Tıbbi Atık bertarafındaki teknolojik yeniliklere rağmen, küresel ve çevresel bir çözüm henüz bulunamamıştır (Alshemari vd., 2020; Borowy, 2020; Kargar vd., 2020; Kenny & Priyadarshini, 2021; Xu vd., 2020). Düşük maliyeti nedeniyle oldukça yaygın olan depolama, birincil bertaraf yöntemi olarak ve daha önce başka bir yöntemle arıtılan atıklar için kullanılabilir (Kenny & Priyadarshini, 2021). Dünya çapında tıbbi atık yönetimi için en yaygın yöntemler yakma ve düzenli depolamadır (Hong vd., 2018).

Düzenli depolama da yakma gibi basit ve olgunlaşmış bir yöntem olup ekonomik ve uygun bir bertaraf yöntemi olarak değerlendirilse de döngüsel ve sürdürülebilir olmadığından, virüs yayılma riskinin olmasından, büyük arazi işgalinin yanında zehirli gaz emisyonları ve toz oluşumuna sebep olmaktadır (Su et al., 2021). Düzenli depolama yönteminin prensibi, çöpü toprağa gömmek ve mikroorganizmanın uzun süreli ayrışması yoluyla zararsız maddelere dönüşmesini beklemektir. Düzenli depolama arıtma yöntemi, işlemin nispeten basit olması, yatırımın küçük olması ve büyük miktarda tıbbi atık işlenebilmesi nedeniyle tercih edilebilse de tıbbi atık depolama alanlarında sızıntı önleyici tedbirler yoksa çeşitli toksik maddeler, patojenler, radyoaktif maddelerin yağmur suyuyla birlikte toprağa sızacak ve zararlı maddeler içeren toprak, besin zinciri yoluyla insan vücuduna girecek ve insan sağlığını tehlikeye atacaktır, çevreye ve halk sağlığına büyük bir hasar verecektir. Bu nedenle, düzenli depolama alanı birçok kurumun ortak bilim kurullarınca seçilmeli ve sızıntı önleyici tabaka kil, yüksek yoğunluklu polietilen ve diğer malzemelerle döşenmelidir. Ayrıca çöp gazı toplama ve gaz çıkış boru hatlarının kurulması (Xu vd., 2020), toprak ve yeraltı suyunun uzun süreli izlenmesi gereklidir. Mevcut finansman sınırlamaları göz önünde bulundurularak düzenli depolama tercih edilecekse Tablo 1’de gösterilen tıbbi atıkların bertarafı için kullanılabilir (S. Lee vd., 2016). Ancak, yukarıda bahsedilen çevreye olabilecek zararları ve döngüsel olmaması göz önüne alındığında, güvenli bir tıbbi atık yöntemi olarak düzenli depolama tercih edilmemelidir (Ghasemi & Yusuff, 2016).

Farklı bir çeşit depolama olan kapsülleme yöntemi ise tehlikeli tıbbi atıklardan ve daha spesifik olarak hipodermik iğnelere gelen atıkların işlenmesi için

kullanılabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde kesici kaplar karton, plastik veya metalden yapılmış kaplara yerleştirilir ve atıkları sabitlemek için çimento, plastik köpükler, reçineler ve kil kullanılır. Hareketsizleştirmek için kullanılan sabitleyici malzeme kurduğunda veya sertleştiğinde, konteyner uygun şekilde belediyeye ait bir çöp sahasına atılmaktadır (Diaz vd., 2005).

#### **1.4.2. Yakma**

Yakma yöntemi genellikle en yaygın ve ucuz yöntem olarak tercih edilmektedir (WHO, 2002). Bu yöntem az gelişmiş ülkelerde tehlikeli atıkların arıtılması için en uygun seçenek olarak kullanılmaktadır (Hasan & Rahman, 2018). Geri dönüştürülemeyen atıklar için, en gelişmiş ve yaygın olanı bertaraf yöntemi olan yakma ile atıktan enerjiye dönüştürme işlemi gerçekleştirilmektedir (Cobo et al., 2018). Yakma geleneksel olarak ana yöntemdir ve en iyi yöntem olarak nitelendirilebilir ancak büyük oranda çevre kirliliğine de neden olmaktadır (Manupati vd., 2021; Yu Fei Xia, 2020). Atık miktarını büyük ölçüde azaltan yöntem olan yakma, basit ve uygulanmış bir tercih olup geniş uygulanabilir alana sahiptir. Ancak özellikle dioksinler, furanlar ve cıva gibi zehirli gaz salınımından dolayı toksik metallerle kül üretir (Su et al., 2021). Yakma, önemli ekonomik üstünlük ve geniş uygulanabilirlik ile tıbbi atık kütlelerini önemli ölçüde azaltabilen en yaygın kullanılan teknik olsa da işlem sırasında toksik metaller ve zehirli gazlar içeren küller oluştuğundan insan sağlığı ve çevre için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Makarichi et al., 2018). Yakma fırınlarından tehlikeli elementlerin emisyonunun potansiyel artışını akılda tutmak gerekmektedir (Goswami et al., 2021). Yakma fırınlarını kullanan çoğu ülkede tıbbi atıkların %90'ından fazlasının açık depolama sahalarına gittiği ve yakma sonrası dioksinler ve ağır metaller gibi kirleticileri yakalayan azaltma cihazları olmadan yakıldığı tespit edilmiştir (Liu vd., 2018). Yakma, organik ve yanıcı atıkları inorganik, yanmaz maddelere indirgeyen ve atık hacminde ve ağırlığında çok önemli bir azalmayla sonuçlanan, tüm virüs ve bakterileri öldüren yüksek sıcaklıkta (850°C ila 1200°C) bir kuru oksidasyon işlemidir (Datta et al., 2018; Pieper et al., 2017). Bu nedenle, yakma, bazı toksik maddelerin atmosfere salınması sonucunda bir tür hava kirliliği yaratmaktadır (Oyekale ve Oyekale, 2017). Tıbbi atıkların yakılmasıyla ilgili en büyük üç tehlike toksinler, dioksinler, furanlar ve cıvadır (Insa vd., 2010).

Yakma teknolojisi her türlü bulaşıcı tıbbi atık için uygundur, fırın sıcaklığı yüksek ve stabil olmalı, oksijen karıştırma koşulları iyi olmalı, yeterli gaz kalış süresi ve diğer koşullar mevcut olmalıdır. Yakma teknolojisinin avantajları, hacim ve ağırlığın önemli ölçüde azalmasıdır. Potansiyel ısı enerjisi geri dönüştürülebilir ve böylelikle döngüsellik sağlanmış olur. Teknoloji nispeten olgundur ancak dezavantajları esas olarak yüksek maliyet ve ciddi hava kirliliğidir. Tıbbi atık ile doğrudan temasla ilişkili sağlık risklerinin yanı sıra, yakma sırasında oluşan zehirli gazların emisyonlarına maruz kalma insan sağlığı üzerinde risk ile ilişkilendirilebilir (Goswami vd., 2021). Üretilen dioksinler, polisiklik aromatik bileşikler, poliklorlu bifeniller ve diğer yüksek derecede toksik maddeler ve hidrojen gibi zararlı gazlarda kendini göstermektedir (Xu vd, 2020). Bunlara ek olarak partikül madde, metaller, asit gazları, nitrojen oksitleri ve kükürt gibi zararlı maddeler ortaya çıkmakta ve ayrıca toksisitesi bilinmeyen çok sayıda maddenin salınımı gerçekleşmektedir (Sharma vd., 2013). Bu yöntem basınçlı gaz kapları, gümüş tuzları, reaktif kimyasallar, cıva veya ağır metal olan kadmiyum içeriği yüksek atıklar, halojenli plastikler veya sızdırmaz lambalar için kullanılmamalıdır (Organization, 2005). Fabrika filtrelerinin kullanımı, etkili bir dioksin kontrolü yöntemi olarak kabul edilmektedir (Kilgroe, 1996). Yakma fırınlarından kaynaklanan emisyonlar ve bu emisyonların mikroorganizmaları veya toksik maddeleri çevresel bir endişe kaynağıdır (Rutala, 1992). Yakma fırınlarının hatalı çalışması veya işletilmemesi, eksik atık imhası, uygun olmayan kül bertarafı ve dioksin emisyonu Stockholm Sözleşmesi'nde belirtilen emisyon limitlerinden 40.000 kat daha yüksek olabilir ve halk sağlığının yanı sıra çevre için de olumsuz sonuçlanabilir (Batterman, 2004). Yakma fırınları çalışır durumda olmalı, operasyonel problemler göstermemeli ve vasıflı işçiler çalıştırılmalıdır (Sawalem vd., 2009). Yetersiz yakma, dioksinler, furanlar ve toksik metaller dahil olmak üzere havaya, toprağa ve suya kirletici maddeler salarak çevre kirliliğine neden olmaktadır ve insan sağlığı için ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Yakma ve düzenli depolama gibi geleneksel bertaraf yöntemleri, zehirli gaz salınımı, geniş arazi işgali ve olumsuz çevresel etkenler gibi sorunlar nedeniyle çevresel yükü azaltamamaktadır (Su et al., 2021). Sonuç olarak yakma, yalnızca önleme, geri dönüşüm ve diğer tüm bertaraf biçimlerinin mümkün olmadığı durumlarda kullanılmalıdır (Borowy, 2020).

### 1.4.3. Otoklavlama

Verimli, güvenli ve ısı bazlı bir arıtma süreci olan otoklavlama, tıbbi atık arıtma için en popüler yöntemlerden biridir ancak ekonomik fizibilitesi ve arıtılmış atığın kalan miktarının görünümü nedeniyle kullanımı yaygınlaşmamıştır (Ferdowsi vd., 2013). Atık hacimleri azaldığı için yakma fırını ve otoklav en iyi teknoloji iken düzenli depolama alanları çevreye en çok zarar veren ve döngüsel olmayan yöntem olarak değerlendirilmektedir (Kargar vd., 2020). Bu yöntemde, yerleşik teknolojiyle iyi sterilizasyon sağlanırken toksik gazlar ve sıvılar üretilir ve tıbbi atık hacmini kısmi oranda azalmaktadır (Su et al., 2021). Otoklavlama yönteminin nispeten daha pahalı olması nedeniyle bazı ülkelerde çok az kullanıldığı tespit edilmiştir. Örneğin İran'da yapılan bir çalışmada tıbbi atıkların % 6,9'unun otoklav yöntemiyle bertaraf edildiği belirlenmiştir (Sartaj & Arabgol, 2015). Otoklavlama kâğıt, plastik ve laboratuvar atıkları gibi geri dönüştürülebilir malzemeler için yaygın olarak kullanılmasına rağmen genellikle patolojik, radyoaktif, laboratuvar ve kemoterapi atıkları için uygun bir yöntem değildir (B.K. Lee vd, 2004).

Otoklavlama; tıbbi atıklar için benimsenecek alternatif, çevreci ve daha ucuz bir arıtma sistemidir (Ciplak & Barton, 2012; Gürses, 2007; Windfeld & Brooks, 2015). Sterilizasyon için su buharının (100 °C'yi aşan sıcaklık) uygulandığı ısı bazlı bir yöntem olarak kabul edilir (Teymourian et al., 2021). Yani, otoklavlama yönteminde esas olarak atık maddeleri, içinden buharın verildiği ve kaptan çıkarıldığı bir boru ve kapak düzenine sahip metal bir kaptan, yüksek basınç ve sıcaklıklara dayanacak şekilde tasarlanmış sızdırmaz kapalı bir alanda buharlaştırır ve patojenleri yakma işleminden önce öldürür (Ghasemi & Yusuff, 2016). Ancak ilaç ve sitotoksin sağlık atıklarında otoklavlama her zaman bir çözüm değildir (Organization, 2005). Otoklavlanmış tıbbi atık, belediye katı atık depolama sahasına alınabilir ve bulaşıcı olmayan atıklarla aynı şekilde, genellikle yakma yöntemiyle bertaraf edilebilir (Klangsin & Harding, 1998). Ortaya çıkan kül yeterince işlenmemiş olabilir. Genellikle yakma fırını soğutulduktan sonra kül, torbalarda veya karton kutularda toplanır ve çöplüklere atılmaktadır (Tsakona vd, 2007). Ortaya çıkan külün çimento üretimi gibi başka bir ürünün hammaddesi olması ise döngüsel ekonomi için önemlidir.

#### **1.4.4. Buhar Sterilizasyonu**

Çok az ülke, depolama ve yakmadan daha gelişmiş olan tıbbi atıkların buharla sterilizasyonu ve kimyasal dezenfeksiyonunu uygulamaktadır (Singh vd., 2020). Buhar sterilizasyonu, atıkların işlenmesi için en iyi teknoloji olarak kabul edilir. Buhar sterilizasyonu ile arıtma yöntemi, ayrıştırılan ve ezilen tıbbi atıkların 100kPa ve 121°C sürecindeki koşullarında 20 dakikadan fazla çalıştırılmasıdır. Pandemi döneminde laboratuvarlardan alınan patojen içeren numunelerin veya muhafaza solüsyonlarının önce mühürlenip paketlenmesi, ardından tıbbi atık kovasına atılmadan önce 121°C'de 110 dakika yüksek basınçlı buhar sterilizasyonuna tabi tutulması gerektiği belirtilmiştir (Peng vd., 2020). Bu yöntem aynı zamanda iş elbiseleri, şırıngalar, pansumanlar, mikrobiyal kültür ortamlarının dezenfeksiyonu için de uygundur. Bu teknoloji, düşük yatırım, düşük işletme maliyeti, kolay tespit, düşük kalıntı riski, iyi dezenfeksiyon etkisi ve çok çeşitli uygun bertaraf yöntemleri gibi avantajlara sahiptir ancak dezavantaj olarak hacim ve görünümü temelde değiştirmektedir (Xu vd, 2020).

#### **1.4.5. Mikrodalga ve Ultraviyole Isıtma Sistemleri**

Mikrodalga veya ultraviyole ısıtma sistemleri, yakma ve depolamanın en az sürdürülebilir olduğu ikinci seçenektir (Xu vd., 2020). Mikrodalga yöntemi, daha yaygın olarak kullanılan otoklav teknolojilerine kıyasla enerji maliyetlerinden tasarruf sağlar ve daha çevre dostu bir çözüm olarak kabul edilerek döngüsellik için daha elverişli bir ortam sunmaktadır (Zimmermann, 2017).

Mikrodalga gibi çeşitli ışınlama yöntemleri, otoklavlama ve buhar işlemi gibi çeşitli ısıl işlem yöntemleri çok daha çevre dostu ve döngüselidir (Kenny ve Priyadarshini, 2021; Yu Fei Xia, 2020). Bu nedenle otoklavlama, mikrodalga gibi buhar bazlı arıtma teknolojileriyle birlikte kullanılmaktadır. Bu yöntemler, tıbbi atıkların plastiklerinde bulunan dioksinler ve furanlar gibi patojenleri öldürmek için tercih edilmektedir (Windfeld & Brooks, 2015).

Mikrodalga dezenfeksiyonu, boyları 1 ile 1000 mm ve 1000 ile 3000 MHz frekans arasında arasındaki geleneksel dalgalardan oluşmaktadır (J. Wang et al., 2020). Mikrodalga sterilizasyonu 2450MHz düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanırken, radyo dalgası sterilizasyonda mikrodalgalardan daha güçlü olan 10MHz

kullanılmaktadır. Bu işlem, tıbbi atıkların elektromanyetik dalgalarla ve buhar kullanılarak sterilize edildiği buhar bazlı bir işlemdir (Ghasemi & Yusuff, 2016). Buhar arıtma yöntemlerinde suyu ısıtmak için mikrodalga ışınlar kullanılmaktadır. Mikrodalga fırının verimli olarak kullanılabilmesi için atıkların nemli veya ıslak olması gerekmektedir (Kenny ve Priyadarshini, 2021). Bu yöntemin avantajları, hacimdeki önemli azalmaya yansır, sistem tamamen kapalıdır (Organization, 2005) ve çok az çevre kirliliğine sahiptir, tam otomatik olmakla birlikte kullanımı kolaydır. Yüksek verim, iyi sterilizasyon, düşük kirlilik bu yöntemde avantaj olarak görülürken büyük sermaye yatırımı, yüksek işletme maliyetiyle genellikle küçük hacimli tıbbi atıkları bertaraf edilmektedir (Su vd., 2021). Diğer dezavantajları ise yapım ve işletme maliyetinin düşük olmaması, kötü bir kokuya sahip olması (Ghasemi & Yusuff, 2016), kan ve tehlikeli kimyasalların bertarafı için uygun olmamasıdır. Bu yöntemin birim başına bertaraf maliyeti açısından en ucuzu ancak uygulanabilirliğinin sınırlı ve sterilizasyon kapasitesinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir (Lee vd., 2004).

Mikrodalga teknolojisinin tek başına kullanılması en pahalı arıtma ve bertaraf yöntemlerinden biri iken yakma ve mikrodalga teknolojilerinin kombinasyonu en uygun maliyetli yöntem olarak ortaya çıkmakta ve tercih edilmektedir (Lee vd., 2004). Mikrodalga veya ultraviyole ısıtma işleminden sonra tıbbi atıklar evsel atık olarak düzenli depolama sahasına aktarılabilir ve atık geri kazanımı için döngüsel ekonomiye katkıda bulunabilir (Xu vd., 2020). Böylece döngüsel ekonomi açısından sağlık kurumlarında yerinde arıtma yapılabilir ve ulaşım gibi önemli bir maliyet ortadan kaldırılabılır.

#### **1.4.6. Kimyasal Dezenfeksiyon**

Kimyasal dezenfeksiyonun kontamine atıkların boyut hacmi küçük olduğunda uygulanması beklenir ve genellikle tıbbi atıkların ön işleme tabi tutularak kullanılması için uygundur (Hong vd., 2018). Mekanik kırıcılar ile ezilen atıklardaki bulaşıcı mikroorganizmaları etkisiz hale getirmek için kimyasal dezenfektanlarla (kalsiyum hipoklorit, klor dioksit, sodyum hipoklorit, perasetik asit, glutaraldehit, ozon vb.) negatif basınç altında yeterli sürede karıştırılır ve yeterli temas alanı oluşturularak işlem sırasında ayrıştırılır. Kimyasal dezenfektanların, stabil performans, hızlı etki ve

geniş sterilizasyon spektrumu sayesinde virüsler, bakteriler, sporlar gibi mikroorganizmalar yok edilir (Voudrias, 2016)

Kimyasal dezenfeksiyonun avantajları basit ve kullanışlı olması, kötü koku giderme etkisinin yüksek olması, hızlı dezenfeksiyon sağlaması, kuru arıtma için yüksek atık hacmi azaltma oranına sahip olması, atık su ve atık gaz üretimi olmamasıdır. Bu yöntemde, çevre üzerinde küçük etki, geniş sterilizasyon spektrumu, yüksek verimlilik sağlarken yüksek maliyetler ve ekipman yatırımı gerektirir. Ayrıca toksik gazlar ve sıvılar ile kalıntı dezenfektanlar üretirken tıbbi atık hacmini azaltmamaktadır (Su et al., 2021). Diğer dezavantajları ise kuru atığın kırma sistemi ve operasyon sürecinin pH değeri izleme (otomasyon seviyesi) üzerinde daha yüksek gereksinimleri olması ve kemoterapi atıkları, radyoaktif atıklar, uçucu ve yarı uçucu organik bileşiklerin arıtılması için uygun olmamasıdır (Xu vd., 2020). Tıbbi atıkların sadece %5'inin bertaraf edildiği kimyasal dezenfeksiyon işleminde, iyi eğitilmiş personel ve yeterli koruyucu ekipman gerekmektedir (Al-Khatib & Sato, 2009).

#### **1.4.7. Plazma Piroliz Yöntemi**

Geleneksel arıtma teknolojilerinin aksine, temiz ve güvenli piroliz, esas olarak verimliliğin iyileştirilmesi, yüksek katma değerli ürünlerin üretilmesi ve çevre dostu olmasıyla bağlantılı olarak muazzam potansiyel avantajlara sahiptir (Chand Malav et al., 2020). Plazma piroliz yöntemi, plastikleri ve metalleri geri dönüştürebilen ve aynı toksik yan ürünleri oluşturmayan yeni teknolojilerden biridir (Nema & Ganeshprasad, 2002). Piroliz, potansiyel bir atık bertaraf teknolojisi olarak ele alınır ve havasız bir ortamda kimyasal bağları kırarak organik malzemenin termal bozulması olan en iyi enerji geri kazanım yöntemidir (Sharifzadeh et al., 2019).

Piroliz, katı karbonlu malzemeleri, 550–1000°C aralığında kimyasal bir reaksiyona sokarak, harici bir enerji kaynağı kullanarak oksijen yokluğunda yanıcı gaza dönüştürme işlemidir (Klinghoffer & Castaldi, 2013). Bu işlemde, gaz yoluyla boşaltılan bir elektrik akımı kullanılır ve 1700°C'ye kadar yüksek sıcaklıklar oluşturur (Cai & Du, 2021).

Plazma yöntemi hem organik hem de inorganik materyallere ve sitotoksik ilaçlara uygulanabilir (Kenny & Priyadarshini, 2021). Lazer bazlı piroliz, indüksiyon



bazlı piroliz ve piroliz oksidasyonu gibi çeşitleri bulunmaktadır. Piroliz oksidasyonunda, piroliz odası içindeki sıvı atık ve organik katılar ~594 °C'lik bir sıcaklıkta buharlaşır ve geride metal parçaları, cam ve kül bırakır. Daha sonra buhar yanması 982–1093 °C sıcaklıkta ayrı bir haznede gerçekleşir ve temiz olan çıkış buharı serbest bırakılır (Teymourian et al., 2021).

Yüksek sıcaklıkta gerçekleşen piroliz yakma yönteminde tıbbi atıkların organik bileşenlerini oksijensiz koşullar altında 600-900°C'ye ısıtılır ve bileşiklerin bağlarını kırmak için ısı kullanılmaktadır, böylece büyük moleküler ağırlıklı organikler yanıcı gazlara ve sıvı yakıtlara dönüştürülür. Piroliz ile üretilen gaz esas olarak hidrojen, metan, karbon monoksit, karbon dioksit ve diğer hidrokarbonları ve uçucu organik bileşikleri içermektedir. Tıbbi atıkların yüksek sıcaklıkta piroliz yakma yöntemi, kırık gaz ve kırık kok yakar.

Bu yöntemde, birçok pozitif ve negatif yüklü parçacık ve nötr parçacık içerir. Plazma sisteminde, inert gaz yapmak için bir elektrik akımı uygulanır ve gaz, 1/1000 saniyede 1200 ~ 3000 °C yüksek sıcaklığa ulaşabilen bir ışımaya deşarjı oluşturmak için enerji uygulanarak iyonize edilir, böylece organik atık hızla kurutulur ve ısıtılır. Ayrışma ve indirgeme, hidrojen, karbon monoksit gibi karışık yanıcı gazlar üretir ve bunlar daha sonra ikincil yanmadan sonra çöpte potansiyel olarak patojenik mikroorganizmaları yok edebilir. Bir başka deyişle, oksijensiz bir ortamda karbonlu malzemelerin bir tür termal ayrışmasıdır. Bu yöntemde iki hazne kurulur ancak birinci haznede 1100 derece yüksek sıcaklıkta piroliz, ardından ikinci haznede 950 ile 1000 derece arasında yanma gerçekleşir. Elektrik enerjisini ısı enerjisine çevirerek döngüsellik için kullanım alanı oluşturur (Tanksali, 2013).

Plazma teknolojisi, tıbbi atıkları camsı katılara veya cürufa dönüştürebilir ve ürünler bertaraf edilmek üzere doğrudan toprağa gömülebilir. Piroliz, biyokömür, biyo-yağ, biyogaz ve diğer kimyasallar dahil olmak üzere bir dizi yüksek değerli ürün üretebilir (Ong vd., 2020). Piroliz, yüksek dönüşüm verimliliği, katı olmayan koşullar ve çevre dostu üstünlükleri nedeniyle biyo-yağ ve yüksek katma değerli kimyasal ürünler üretmek için pratik ve ucuz bir yöntem olarak kabul edilmiştir (Lee vd., 2020). Ortaya çıkan bu gazların döngüsellik için mevcut enerji teknolojilerine kolaylıkla entegre edilebilecek yakıtlara dönüştürülmesi ve mevcut sistemlere entegre edilmesi gerekmektedir.

Parçalanmış gazdaki yanıcı gaz, piroliz yakma için yakıt olarak kullanılır ve işletme maliyeti, geleneksel yakmaya göre çok daha düşüktür. Daha az zararlı maddeler üretilir. Piroliz yöntemi, oksijen eksikliği ve dioksin oluşumunu azaltan klor gibi asit gazının uzaklaştırılması koşulları altında gerçekleştirilir, bu nedenle piroliz yakma yöntemi, geleneksel yakma yöntemiyle üretilen dioksin sayısını büyük ölçüde azaltmaktadır.

Plazma işleme teknolojisinin avantajları; yüksek hacim azaltma ve bertaraf verimliliği, geniş bir uygulama yelpazesıyla her türlü tıbbi atığı arıtabilme, yüksek bir piroliz geri kazanım oranı, ekonomik faydalar, daha az çevre kirliliği, zararlı maddeleri tahliye etme, potansiyel ısı enerjisini yüksek geri kazanım oranıyla geri dönüştürme olarak açıklanabilir. Yüksek sıcaklıkta pirolizde, tıbbi atığı ön arıtma ve sınıflandırma gerektirmedikinden işlem kolaylığı sağlamaktadır. Bu yöntemle atık hacmini büyük ölçüde azalır, iyi bir sterilizasyon ile yüksek verimlilik ve döngüsellik sağlanır, yüksek katma değerli ürünler elde edilebilir ve geniş uygulanabilirlik alanına sahiptir. Tıbbi atıkların piroliz arıtma teknolojisi, azaltılmış, zararsız ve geri dönüştürülmüş katı atık arıtması sayesinde döngüsel atık bertarafını çeşitlendirmek için yeni bir yol sağlamaktadır (Xu vd., 2020). Bu yöntemin dezavantajı ise büyük sermaye yatırımı ve işletme maliyetinin çok yüksek olması, yüksek ön arıtma maliyeti ve enerji tüketimine sebep olması, güvenilirliğinin doğrulanması ve iyileştirilmesi gerekliliği olsa da plazma işlemi, atıkları faydalı ürünlere dönüştüren çevre dostu bir teknoloji olarak kabul edilmektedir (Inaba & Iwao, 2000; Su vd., 2021).

Tıbbi atıkların bertarafının aciliyeti ve piroliz sürecinin güçlü yönleri göz önüne alındığında, piroliz, tıbbi atıklarla başa çıkmak ve çevreyi olumlu yönde etkilemek için en uygun yaklaşım olarak görülmektedir. Plastiklerin, lastiklerin ve belediye katı atıklarının piroliz ile bertarafı ilgili literatürde yayınlar mevcuttur ancak tıbbi atıkların pirolizi ile ilgili çok fazla inceleme rapor edilmemiştir (Su vd., 2021).

#### **1.4.8. Katılaştırma/Stabilizasyon**

Sağlık hizmetlerinden üretilen atık külüne çimento ilavesi, katılaştırma/stabilizasyon işlemleri ile karışımın stabilitesini artırmış ve bu karışım için yüksek ölçüde stabil ürünler elde edilmiştir (Sobiecka vd., 2014). Katılaştırma ve stabilizasyon farklı teknolojilerdir. Katılaştırma, kirlenici geçişini kısıtlamak için bir

atığı çevreleyen süreçleri ifade ederken atık ile bağlayıcı (katılaştırıcı) reaktifler arasındaki kimyasal reaksiyon veya mekanik işlemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Stabilizasyon ise bir atığın sızıntı yapmasını azaltan kimyasal reaksiyonları içeren süreçleri ifade etmektedir (Adaska ve diğerleri, 1991). Katılaştırma/stabilizasyon arıtma yöntemi, Avrupa Tehlikeli Atık Kataloğunda listelenen tehlikeli atıklar olarak özel bir kullanım gerektiren sağlık katı atık yakma fırını külü için kullanılabilir arıtma işlemlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (EC, 2000; Sobiecka vd., 2014).

#### **1.4.9. Diğer Yöntemler**

Yukarıda açıklanan yöntemlerden farklı olarak ayrıca kuru ısı işlem, plazma püskürtme tabancası, radyasyon tedavisi, elektrotermal deaktivasyon, sıvı alarım tedavisi ve cam macunla kütleme gibi yeni teknolojiler Çin'de nadiren kullanılsa da bu teknolojiler henüz olgunlaşmamış teknolojilerdir (Xu vd., 2020).

Sonuç olarak, günümüzde uygulanan tıbbi atık bertaraf yöntemleri inceleyerek Tablo 2'de en basit anlamda tanımları, avantaj ve dezavantajları aktarılmıştır

## TIBBİ ATIK BERTARAF YÖNTEMLERİ

| YÖNTEM   | TANIMI  | AVANTAJLARI   | DEZAVANTAJLARI  |
|--|---|---|---|
| <b>DEPOLAMA</b>                                  | Atığı toprağa gömmek ve mikroorganizmaların uzun süre ayrılarak zararsız maddelere dönüşmesi işlemidir.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Düşük maliyetli,</li> <li>*Yaygın,</li> <li>*Basit,</li> <li>*Olgunlaşmış,</li> <li>*Ekonomik,</li> <li>*Büyük miktarda tıbbi atık işlenebilme kapasitesi.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Döngüsel değil,</li> <li>*Virüs yayılma riski var,</li> <li>*Büyük arazi ihtiyacı,</li> <li>*Zararlı gaz ve toz oluşumu,</li> <li>*Toksik maddelerin yağmur suları ile toprağa sızması yoluyla insan sağlığını tehlikeye atması.</li> </ul>   |
| <b>YAKMA</b>                                     | Yakma, organik ve yanıcı atıkları inorganik, yanmaz maddeye indirgeyen yüksek sıcaklıktaki (850°C ila 1200°C) kuru oksidasyon işlemidir.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>*En geleneksel ve yaygın,</li> <li>*Ucuz,</li> <li>*Olgunlaşmış,</li> <li>*Geri dönüştürülemeyen atıklardan enerji kazanımı için en iyi tercih,</li> <li>*Atık hacminde azalma,</li> <li>*Tüm virüs ve bakterileri öldürür,</li> <li>*Her türlü bulaşıcı tıbbi atık için uygun,</li> <li>*Az gelişmiş ülkelerde tehlikeli atıkların arıtımı için en uygun seçenektir.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Toksik madde ve gaz oluşumu,</li> <li>*Çevre ve hava kirliliği.</li> </ul>  |
| <b>OTOKLAVLAMA</b>                               | Sterilizasyon için yüksek basınç ve sıcaklıklara dayanacak şekilde tasarlanmış sızdırmaz kapalı bir alanda, su buharının (100 °C'yi aşan sıcaklık) uygulandığı ısı bazlı bir yöntemdir. | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Verimli ve güvenli,</li> <li>*Popüler,</li> <li>*Kısmi çevreci ve ekonomik,</li> <li>*Otoklavma ve yakma sonrası ortaya çıkan kül çimento üretiminde kullanılarak <b>döngüsellik</b> sağlanabilir.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Nispeten pahalı</li> <li>*Kısmi oranda atık miktarının azalması</li> <li>*Toksik gaz ve sıvı üretimi</li> <li>*Her tıbbi atık için uygun değil</li> </ul>   |
| <b>BUHAR STERİLİZASYONU</b>                      | Ayıklanmış ve ezilmiş tıbbi atıkların 100kPa ve 121°C koşullarında 20 dakikadan fazla buhar verilmesi sürecidir.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>*En iyi teknolojilerden,</li> <li>*Çevre dostu,</li> <li>*Düşük yatırım,</li> <li>*Düşük işletme maliyeti,</li> <li>*Düşük kalıntı riski,</li> <li>*İyi dezenfeksiyon etkisi.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Tıbbi atıkların hacmi ve görünümü temelde değişmez.</li> </ul>  |
| <b>MIKRODALGAVE ULTRAVİOLE ISITMA SİSTEMLERİ</b> | Tıbbi atıkların, boyları 1 ila 1000 mm ve 1000 ila 3000 MHz frekans arasındaki elektromanyetik dalgalarla ve buhar kullanılarak sterilize edildiği buhar bazlı bir işlemdir.            | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Otoklava kıyasla enerji maliyeti az</li> <li>*Çevre dostu</li> <li>*Hacimde azalma</li> <li>*Kapalı ve otomatik sistem</li> <li>*Kullanımı kolay</li> <li>*Yüksek verim</li> <li>*İyi sterilizasyon</li> <li>*İşlem sonrası, evsel atık olarak <b>döngüsel</b> sisteme aktarılabilir.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Atıklar nemli veya ıslak olmalı</li> <li>*Büyük sermaye yatırımı</li> <li>*Yüksek işletme maliyeti</li> <li>*Kötü bir koku</li> <li>*Genellikle küçük hacimli tıbbi atıklara uygun</li> <li>*Sınırlı uygulanabilirlik</li> <li>*Sınırlı kapasite ve kan ve tehlikeli kimyasalların bertarafı için uygun değildir</li> </ul> |

| YÖNTEM                              | TANIMI   | AVANTAJLARI  | DEZAVANTAJLARI  |
|-------------------------------------|--|--|---|
| <b>KİMYASAL DEZENFEKSİYON</b>       | Mekanik kırıcılar ile ezilen tıbbi atıklar, belirli bir konsantrasyonda kimyasal dezenfektanlarla, yeterli temas alanı oluşturularak negatif basınç altında yeterli sürede karıştırılarak uygulanan işlemdir.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Basit ve kullanışlı,</li> <li>*Koku giderme etkisi,</li> <li>*Hızlı dezenfeksiyon</li> <li>*Kuru arıtma için yüksek atık hacmi azaltma oranı,</li> <li>*Atık su ve gaz üretimi yok.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Yüksek yatırım ve ekipman maliyeti,</li> <li>*Küçük hacimli atıklara uygun,</li> <li>*Kuru atık, kırma sistemi gerekliliği,</li> <li>*Operasyon sürecinin otomasyonu konusunda yüksek gereksinimlerin ihtiyacı,</li> <li>*Kemoterapi atığı, radyoaktif atık, uçucu ve yarı uçucu organik bileşiklerin arıtımı için uygun değildir.</li> </ul> |
| <b>PLAZMA PİROLİZİ</b>              | Elektrik akımı kullanılarak, atığa göre değişimle birlikte 550–1700°C aralığında kimyasal bir reaksiyona sokarak, oksijen yokluğunda yanıcı gaza dönüştürme işlemidir.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Temiz ve güvenli,</li> <li>*Çevre dostu,</li> <li>*Plastikleri ve metalleri geri dönüştürebilir seviyeye getirme,</li> <li>*Enerji geri kazanımı,</li> <li>*Organik ve inorganik materyallere, sitotoksik atıklara uygulanabilir,</li> <li>*Biyo kömür, biyo yağ, biyo gaz gibi yüksek katma değerli ve döngüsel ürün üretebilir,</li> <li>*Tıbbi atıkları camsı katılara veya cürüflara dönüştürerek döngüsellik sağlanabilir,</li> <li>*Yüksek hacim azaltma,</li> <li>*Bertaraf verimliliği,</li> <li>*Her türlü tıbbi atığı artabilme,</li> <li>*Potansiyel ısı enerjisini geri dönüştürerek döngüsellik sağlama,</li> <li>*İşletme maliyetinin yakmaya göre düşük olması,</li> <li>*Daha az zararlı madde üretimi.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Yüksek işletme ve ön arıtma maliyeti,</li> <li>*Büyük sermaye yatırımı,</li> <li>*Güvenilirliğinin doğrulanması ve iyileştirilmesi gerekliliği.</li> </ul>  |
| <b>KATILAŞTIRMA VE SIKILAŞTIRMA</b> | Sağlık hizmetlerinden üretilen atık külüne çimento ilave edilerek karışımın dayanıklılığı artırılır ve uygun depolama alanlarında bertaraf edilmesidir.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Basit</li> <li>*Kısmi maliyet</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Yaygın değil</li> <li>*Her çeşit tıbbi atık için uygun değil.</li> </ul>  |
| <b>DİĞER YÖNTEMLER</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Kuru ısı işlem,</li> <li>*Plazma püskürtme tabancası,</li> <li>*Radyasyon tedavisi,</li> <li>*Elektrotermal deaktivasyon,</li> <li>*Sıvı alaşım bertarafı,</li> <li>*Cam macunla kütleme,</li> <li>*Buharlaştırılmış hidrojen peroksit,</li> <li>*Ozon ve UV ışığı.</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Olgunlaşmamış</li> </ul>  |

**Tablo 2: Tıbbi Atık Bertaraf Yöntemleri**

Özetle, tıbbi atık yönetimi denilince akla her türlü atığın ayrılması, toplanması, taşınması, depolanması, geri dönüşümü, yeniden kullanımı ve nihai bertarafı gelmektedir (Malekahmadi vd., 2014; Tsakona vd., 2007). Gelecekte yenilenemeyen enerji kaynaklarıyla çalışan geleneksel yakma fırınlarının yerini, biyo yakıtlar gibi sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan modern yakma fırınlarının alması beklenmektedir (Hassan & Shareefdeen, 2021). Maliyet, erişim ve fizibilite gibi nedenlerle büyük ölçekte “daha yeşil” ve “daha döngüsel” sağlık hizmetleri atığı yöntemlerinin uygulanmasında önemli bir eksiklik vardır. Tablo 2’de gösterilen tıbbi atık bertaraf yöntemlerindeki tüm yeniliklere rağmen, şu anda ölçeklenebilir, küresel yeşil ve döngüsel bir çözüm bulunmamaktadır (Kenny & Priyadarshini, 2021). Tüm tıbbi atık türleri için bir bütün olarak döngüsel ekonomi yaklaşımının benimsenmesi şu anda henüz mümkün değildir ancak gelecekte aşırı miktarda enerji gerekliliğinden dolayı yeni döngüsel çözümler gerekeceği açıktır (Voudrias, 2018).

Tıbbi atıklar, zararlı çevresel etkileri bir yana hem sağlık hem de refah için olumsuz küresel sonuçları olan büyük bir sorun olmaya devam etmektedir. Mevcut bertaraf yöntemleri, küresel sağlık atığı sorununun yönetiminde tamamen çevre dostu ve döngüsel olmadıkları için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, bu konunun daha iyi anlaşılması ve döngüsel atık yöntemlerine entegrasyonun sağlanması için küresel değişimin gerçekleşmesi önemli bir konu haline gelmektedir.

Önceki paragraflarda açıklandığı gibi, tıbbi atık yönetimi, sağlığın yönetimi kadar önemli olarak değerlendirilmelidir. Çünkü tıbbi atıklar enfeksiyon riskleri ile sağlık süreçlerini, hastaların yaşamlarını, çevreyi, ekolojiyi ve ekonomiyi doğrudan etkilemektedir. Hastaneler, klinikler, huzurevleri, laboratuvarlar, veteriner klinikleri ve sağlık hizmeti üreten diğer birçok tesis, tıbbi bakım ve tedavi sürecinde oluşan tıbbi atıkları bertaraf etmek zorundadır (Abdulla vd., 2008) Tıbbi atık yönetimi süreci, tüm sağlık çalışanları için özel ilgi ve eğitim gerektirmektedir (Manyele & Lyasenga, 2010). Sağlık kurumları, uygun tıbbi atık yönetimi için uluslararası standartlara göre kendi ülkelerinin yasaları dahilinde plan ve politikalar geliştirilmelidir (Da Silva vd., 2005; Oyekale ve Oyekale, 2017). Tıbbi atıklar küçük miktarlarda üretilse bile enfeksiyon ve yaralanmalara neden olma potansiyeli çok yüksektir (Odonkor & Mahami, 2020). Uygun tıbbi atık yönetimi, bulaşıcı atığın üretildiği andan itibaren atığın işlenmesi ve nihai olarak bertaraf edilmesine kadar yerleşik ve kabul edilebilir

prosedürlerle ele alınmasını sağlamaktadır (Manyele & Tanzania, 2004). Tıbbi atıkların uygun şekilde bertaraf edilmemesi durumunda sağlık sistemi hastalık salgınlarına dönüşebilen bir çevre kirliliği kaynağı haline gelebilmektedir (Oyekale ve Oyekale, 2017).

Tıbbi atık yönetimi, Endüstri 4.0 ve Sağlık 4.0 gibi teknolojik gelişmelerle birlikte döngüsel ekonomiden yararlanılarak gerçekleştirilmelidir. Nesnelerin İnterneti (IoT), uydu teknolojisi, Yapay Zekâ (AI) ve Büyük Veri gibi akıllı teknolojilerin çeşitli platformlarının uygulanması, üretilen atığın izlenmesi ve atık yönetimine yön vermek için gereklidir (Chauhan vd., 2021; Fisman & Tuite, 2014; Koştı, 2020; Rahayu vd., 2021). Tıbbi atık arıtma tesisleri, otomatik süreçler, bulaşıcı atıklar için minimum çalışan kullanımı, tespit ekipmanı konum sistemi, tarama cihazları, video gözetimi ve cihazlarla internet erişimi dahil olmak üzere IoT teknolojisi ile daha otomatik hale getirilmeli ve minimum çalışan katılımı ile yürütülmelidir. Özellikle savaş gibi olağanüstü kriz durumlarında, tıbbi atık bertaraf tesislerinin sınırlı olduğu gelişmekte olan ülkeler için mobil tesisler oluşturulabilir ve bu durum gelecekte hükümetler için stratejik bir yedekleme kapasitesi olarak da kullanılabilir (Singh vd., 2020). Tıbbi atıkların küresel sağlığa yönelik risklerini azaltmak için mevcut mekanizmalara ve politikalara uygun maliyetli, iyi tasarlanmış alternatifler olarak gelişmiş, çevreci, döngüsel tekniklerin araştırılması ve uygulanması gerekmektedir (Kenny & Priyadarshini, 2021). Tehlikeli tıbbi atıkların yönetimi için en doğru adım, IoT ve gerçek zamanlı GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi), blok zinciri, bulut bilişim ve büyük veri analitiği, karar bilgi sistemi, destek sistemi, yapay zekâ, makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi bilgi teknolojilerini uygulayarak çevre dostu tıbbi atık arıtma teknolojilerini tercih etmek olacaktır. Tehlikeli tıbbi atıkları etkili bir şekilde bertaraf etmek için bazı ülkeler atık yönetimi, IoT ve AI gibi büyük veri ve bilgi teknolojilerini kullanarak atık yönetimine yardımcı olacak çeşitli alternatif teknolojiler üzerinde çalışmaktadır. Tıbbi atık yönetiminde büyük veri ve blok zinciri ile alakalı çok az sayıda makalede ele alınsa da IoT ve GIS teknolojilerinin daha çok tercih edildiği görülmektedir. Akıllı şehirlerin geliştirilmesinde, tehlikeli atık miktarını kontrol etmek, bulunduğu yerde sunabilmek ve salgın sırasında üretilen atık miktarını takip edebilmek için tercih edilen teknoloji olduğu için atık yönetimi günümüzde verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Diğer taraftan, tehlikeli tıbbi atık yönetiminde bilgi

teknolojilerinin (BT) benimsenmesi, gelişmekte olan ülkeler için esastır (Rahayu vd., 2021). IoT gibi gelişen teknolojilerin tıbbi atık sistemlerine entegrasyonu, toplanan atık miktarının tahmini için gerçek zamanlı verilerin kullanılmasına ve ulaşım rotasının optimizasyonuna önemli katkılar sağlayacaktır (Babae Tirkolae & Aydın, 2021). Çeşitli alışmalar, akıllı bir tıbbi atık yönetim sisteminin nakliye maliyetlerini %30'a kadar ve karbon emisyonlarını %60'a kadar azaltabileceğini göstermektedir (Rahayu vd., 2021). IoT teknolojisi, atığın nerede olduğunu gösterebilen, atıkları verimli bir şekilde yönetebilen ve tehlikeli atık miktarını kontrol edebilen akıllı şehirlerin geliştirilmesinde tercih edilen teknolojidir. Birçok lke veya sağlık kuruluşu, teknolojiye dayalı bulaşıcı tıbbi atık yönetimini gerçekleştirmek için uygun bilgi ve yeteneğe sahip değildir ve bu entegrasyonun yatırım maliyeti yüksektir. Tehlikeli tıbbi atıkların bertarafında kullanılacak teknolojileri desteklemek için yeterli finansmanın olmaması bir engel haline gelmektedir (Rahayu vd., 2021). Tıbbi atıklar kaynaklarından dijital olarak takip edilerek, büyük veri kullanılarak ve IoT'den faydalanılarak izlenmeli ve yönetilmelidir (Wang vd., 2020).

Küresel olarak, iklim değişikliğiyle mücadeleyle ilgili zorlukların yeterince azaltılması isteniyorsa, tıbbi atık yönetimine yönelik daha sürdürülebilir ve döngüsel bir yaklaşımın tercih edilmesi çok önemli olacaktır. Bu bağlamda, tıbbi atıklar için uygun atık arıtma teknolojilerine karar vermek için ayrıntılı araştırma ve güçlü kanıtlar bulmak temel bir gerekliliktir. Açıkçası, maliyetler satın alma kararlarında önemli bir itici faktör olsa da mevcut sonuçlar yöntem seçiminin en yüksek çevresel etkiye ve dngsellieğe sahip teknoloji seçimine yol açtığını gösterecektir. Bu nedenle, sağlık kuruluşlarının satın alma konusunda daha geniş bir yaklaşım benimsemesi ve karar verme sürecinde teknoloji ve veriye dayalı bir strateji kullanması önemli olacaktır. Sadece finansal değer sağlamakla kalmayıp kaynakları ve halk sağlığını da koruyan daha döngüsel ve uzun vadeli yaklaşımlar tercih edilmelidir.

Sonuç olarak, incelenen literatür çerçevesinde tıbbi atık yönetimi sağlığın korunmasını dolayısıyla ekonomiyi ve sosyal refahı etkileyecek önemli bir konudur. Sağlık yöneticileri, uluslararası standartlara dayalı tıbbi atık yönetim sistemleri inşa etmeli ve buna göre hareket etmelidir. Hükümetler, bulaşıcı ve bulaşıcı olmayan tıbbi atıkların standart tanımlarını sağlamalı ve yasadışı atık boşaltmayı önlemek için bulaşıcı atıkların imhasını sıkı bir şekilde düzenlemelidir (Windfeld & Brooks, 2015).



Atıklar, sağlık kurumlarında uygun olan koşullarda bilinçli ve eğitimi personel tarafından atık tesislerinde ayrıştırılmalı, etiketlenmeli, depolanmalı, taşınmalı ve işlenmelidir. Tüm tıbbi atıklar döngüsel ekonomi, yeniden üretim, yeniden tasarım, yeniden kullanım, başka bir ürünün hammaddesi olması açısından değerlendirilmelidir. Böylece sağlık, ekonomi ve çevre alanlarında olumlu gelişmeler yaşanabilir. Tüm sağlık kurumları tıbbi atık yönetimini döngüsel bir bakış açısıyla uygulamalıdır. Ayrıca her sağlık kurumu tıbbi atık yönetiminde ne kadar döngüsel olduğunun farkında olmalı ve döngüsel ekonomi kavramıyla uyumlu sistemlerle çalışmalıdır.

## İKİNCİ BÖLÜM

### DÖNGÜSEL EKONOMİ VE TIBBİ ATIK YÖNETİMİ

Döngüsel Ekonomi (DE) kavramı, ilk olarak 40 yıl önce Stahel ve Geneviève Reday-Mulvey tarafından Avrupa Komisyonu'na sunulan bir raporda açıklanan enerji yerine insan gücünü kullanma fikrinden doğmuştur (Stahel, 2016). 40 yılı aşkın bir süredir döngüsel ekonomi kavramı üzerinde çalışan Walter Stahel, endüstriyel ekonomiye odaklanarak döngüsel ekonomiyi tanıtmaktadır. Aslında döngüsel ekonomi, geleneksel ve doğrusal “al-yap-at” modelinden farklı olarak, çevrenin olumsuz etkilerini azaltan ve yeni iş fırsatları yaratan bir sistemdir (Korhonen vd., 2018). Döngüsel ekonomi, kaynak üreten, tüketen yani kaynakların daha verimli kullanıldığı ve ekonomide mümkün olduğunca uzun süre tutulduğu sürdürülebilir bir yaşam biçimini teşvik etmeyi amaçlayan küresel ivme kazanan bir kavramdır (Hahladakis vd., 2020). Hem bilimsel hem de gri literatürde döngüsel ekonomiyi tanımlayan birçok tanım olsa da döngüsel ekonomiyi malzemeleri, bileşenleri ve ürünleri optimize bir şekilde çevresel, teknik, sosyal ve ekonomik olarak mümkün olduğu sürece sisteme geri kazandırma, tutma ve yeniden dağıtma yeteneğine sahip bir sistem olarak tanımlıyoruz.

Tek yönlü doğrusal sistemin sonuçları, dünya ekosisteminin bozulmasına yol açtığından ve tüm sektörlerde entegrasyon gerektiğinden sağlık alanında da döngüsel ekonomiye geçişin gerçekleşmesi bir zorunluluk olarak gözükmektedir. Malzemelerin yeniden kullanılarak, yenilenerek veya onarılarak geri kazanılması ve ardından yeniden üretilmesi, geri dönüştürülmesi ve son seçenek olarak çöp sahasına atılması gerekmektedir (Backman vd., 2020). Katı atık, emisyon ve düzenli depolama gibi çevresel faktörlerin olumsuz etkisi döngüsel ekonomi prensiplerinden yeniden üretim, yeniden kullanım ve geri dönüşüm gibi yöntemlerle azaltılmaktadır (Lieder vd., 2017). Döngüsel ekonomi, malzemenin veya ürünün değerini sistemde tutmaya çalışmaktadır (Geissdoerfer vd., 2017). Bu çevreci sistemde, bozulmayan ürünün tamir edilmemesi, tamir edilebilecek bir şeyin yeniden üretilmemesi, tekrar üretilebilir bir ürünün geri

dönüştürülmemesi esastır (Stahel, 2019). Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Büyüme Amaçlarına (SBA) ulaşmak için döngüsel ekonomi hızla büyümekte ve gelişmektedir. Döngüsel ekonominin temel amacı, daha fazla sürdürülebilirliğe teşvik etmek ve süreci kolaylaştırmaktır (Alshemari vd., 2020). Döngüsel Ekonomi, sistemin her bölümünde sosyal, ekonomik ve çevresel değerlerin önemli olduğu “ürün ve malzemelerin yeniden kullanımını ve doğal kaynakların korunmasını çıkış noktası olarak kabul eden bir ekonomik sistem” olarak tanımlanmaktadır (Reike vd., 2018). Bu eski ancak günümüzde git gide popüler hale gelen kavram, sağlık hizmetleri atık yönetiminde de kullanılmaya başlanmış ve geliştirilmektedir.

Döngüsel ekonomi, atık azaltmayı teşvik etmeyi, ürün değerini en üst düzeye çıkarmayı ve döngüsel tedarik zincirinde sürdürülebilirliği sağlamayı amaçlamaktadır. Döngüsel ekonominin hedefi, yeniden kullanım ve geri dönüşüm gibi öğelerin temel değerini mümkün olduğunca uzun süre kapalı bir döngüde tutmaktır (Alshemari vd., 2020). Bu döngüde, kaynakların "geri kazanım ve yeniden kullanım yoluyla mümkün olduğunca uzun süre kullanıldığı" döngüsellüğün yönetimi ve korunması için bir sistem aracılığıyla aktarılan bütünsel bir felsefedir (Kane vd., 2018). Döngüsel ekonomi alanında akla ilk gelen bilim insanlarından olan Stahel, döngüsel ekonomiyi hizmet ömürlerinin sonunda malları başkaları için kaynağa dönüştüren, endüstriyel ekosistemlerdeki döngüleri kapatan ve israfı en aza indiren sistem olarak tarif etmektedir (Stahel, 2016). Aralık 2015'te Avrupa Komisyonu, daha fazla geri dönüşüm ve yeniden kullanım yoluyla ürün yaşam döngülerini kapatmayı ve kaynakların daha sürdürülebilir bir şekilde kullanıldığı daha güçlü ve daha döngüsel bir ekonomiye geçmelerine yardımcı olmayı amaçlayan bir eylem planı yayınlamıştır (Main vd., 1967). Bu kapsamda, tıbbi atıklar, azaltılması ve doğru bir şekilde yönetilmesi gereken en önemli atıklardan birisi olarak görülebilir. Döngüsel sistemler ile tıbbi atık akışları ortadan kaldırılabilir ve değiştirilebilir. Öncelikle tıbbi atıkların çöpe atılmasının engellenmesi en yüksek önceliğe sahipken, yeniden kullanım, geri dönüşüm, enerji ve malzeme geri kazanımı ve son çare olarak da düzenli depolama uygulamaları tercih edilmelidir (Voudrias, 2018). Örneğin, malzeme israfını azaltarak ulaşım ortadan kalkabilir ve çevresel etkisi önemli ölçüde azaltılabilir (Backman vd., 2020).

Sonuç olarak, tıbbi atıkların çevreye verecekleri olumsuz etkilerinin azaltılması, ekonomik açıdan daha az maliyetli tıbbi malzeme üretilmesi, hammadde tedarik sisteminin kolaylaştırılması ve ani oluşan olağanüstü durumlarda tedarik sistemlerinin hızlıca sağlık sistemine entegre edilebilmesi için tıbbi atıkların döngüsellik çerçevesinde ele alınması gerekmektedir. Bu aşamada öncelikle döngüsel ekonominin doğru anlaşılması için prensiplerini açıklamaktayız.

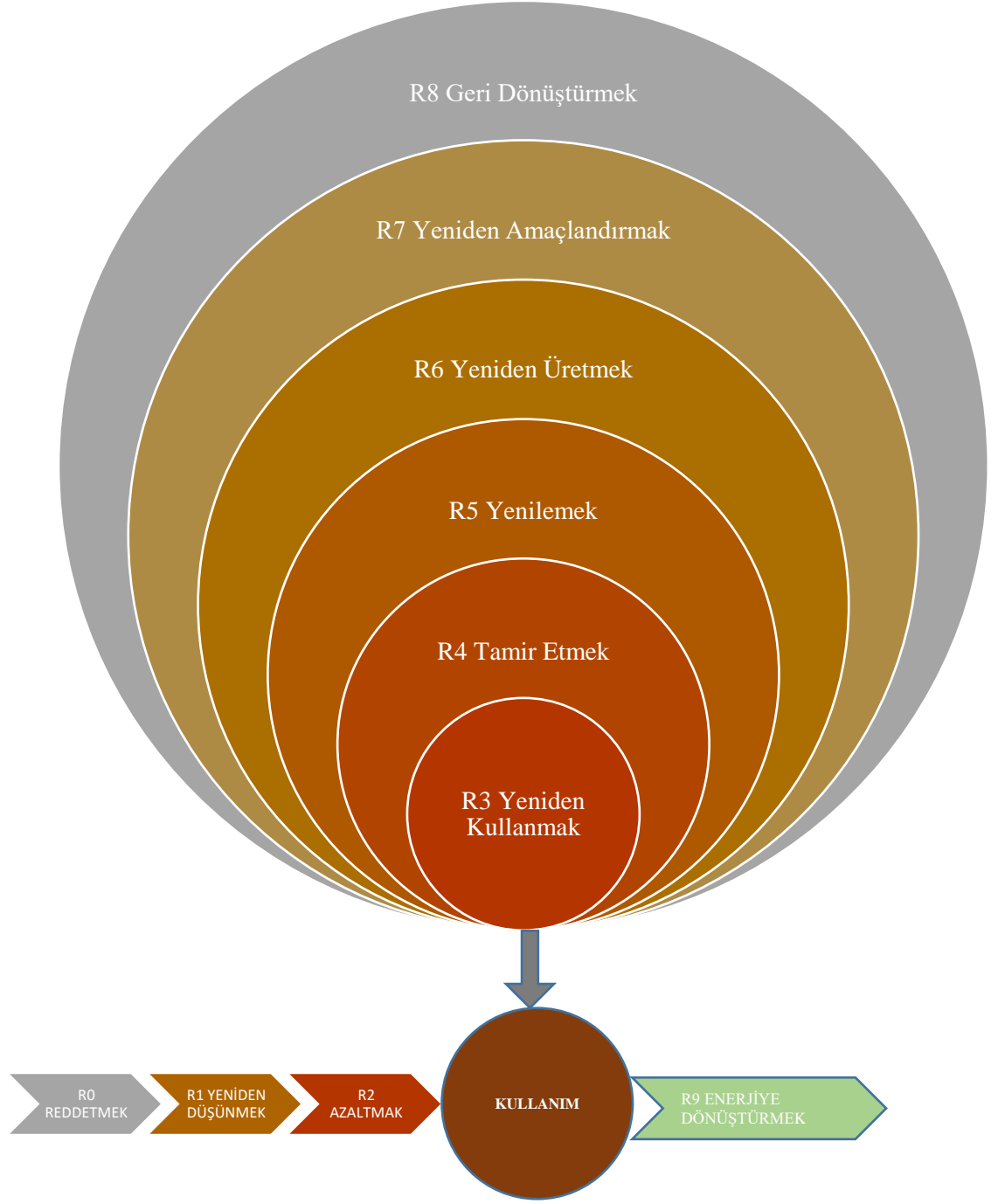
## **2.1. Döngüsel Ekonominin Temel Prensipleri**

Sağlık yönetiminde gelişen bir konu olan döngüsel ekonomi, tıbbi atık alanında da önemli bir yere sahiptir. Tıbbi atık bertaraf yöntemlerinin etkisini azaltmak için son zamanlarda döngüsel ekonomi modeli kavramı ön plana çıkmıştır (Chauhan vd., 2021). DSÖ, döngüsel ekonomiye geçişin doğrudan sağlık sistemlerine ve çevreye olumsuz etkilerini azaltarak sağlık alanına önemli katkılar sağlama noktasında büyük bir fırsat sunabileceğini ileri sürmektedir (World Health Organization Regional Office for Europe, 2018). Atık önleme, çevre dostu ürünler ve atık yönetimi için yeniden kullanım programları aracılığıyla döngüsel ekonomi, AB kurumlarının yaklaşık 600 milyar Euro tasarruf etmesine ve yıllık sera gazı emisyonlarını %4 oranıyla en aza indirmesine yardımcı olabilmektedir (Alshemari vd., 2020). Sağlık kuruluşları, tıbbi atıkları döngüsel ekonomi perspektifinden yönetmek için ayrıntılı bir geri dönüşüm ve yeniden kullanım programı uygulamalıdır. Çünkü plastik, cam, metal, pil, alçı gibi malzemeler geri dönüştürülebilir malzemelerdir ve bu tür dayanıklı cerrahi malzemeler sterilizasyon işlemleri ile tekrar kullanılabilir. Suudi Arabistan'da yapılan bir çalışmada tıbbi atık arıtma süreçlerinde maliyet analizi yapılmadığı tespit edilmiştir (Hagen vd., 2001). Bu nedenle, tıbbi atık sistemlerinde, daha fazla önlem alınmadan önce bir maliyet analizi yapılması gerekmektedir (Tsakona vd., 2007).

Yeniden kullanılmış, onarılmış, yenilenmiş veya geri dönüştürülmüş ürünler, emek ve enerji gibi katma değer sağlamaktadır. Yeniden kullanım ve yeniden üretim, hizmet olarak entegre edilebilmektedir. Sağlık hizmeti atıklarının önlenmesi, azaltılması, yeniden kullanımına yönelik iyi uygulamaların yaygınlaştırılması, halk sağlığı acil durumları sırasında ve sonrasında çok önemlidir (Fisman & Tuite, 2014). Stockholm toplantısında Birleşmiş Milletler, yeni atık bertaraf tesislerinin inşasında kaynak geri kazanımını, yeniden kullanımı, geri dönüşümü, atık ayrıştırmasını ve daha

az atık üreten ürünleri teşvik ederek tıbbi atık oluşumunu en aza indirecek faaliyetleri dikkate alması gerektiğini belirtmiştir (Material vd., 2016). Döngüsel ekonomiyi geliştirmek ve desteklemek için müşterilerin ve hizmet sağlayıcıların yeni ürünler satın almak yerine yeniden üretilmiş, yenilenmiş veya yeniden kullanılmış ürünleri satın almaya istekli olması gerekmektedir (Manavalan & Jayakrishna, 2019; Van Boerdonk vd., 2021).

Literatürde döngüsellığı sağlayan R faaliyetleri adı verilen döngüsel faaliyetler bulunmaktadır (Van Boerdonk vd., 2021). Döngüsel ekonominin 'R' çağı, yeniden kullanım, onarım, yeniden pazarlama, yeniden üretim, yeniden rafine etme, yeniden programlama, döngüsel ekonominin teknik ve ekonomik bilgilerini sınıflara, toplantı odalarına, akademiye, teknik eğitim kurumlarına ve yeni 'R' mesleklerine yayma olarak tanımlanmaktadır (Stahel, 2019). Araştırmacılar tarafından genellikle reddetmek (R0 Refuse), yeniden düşünmek ve yeniden tasarlamak (R1 Rethink&Redesign), azaltmak (R2 Reduce), yeniden kullanmak (R3 Reuse), bakımını yapmak ve tamir etmek (R4 Repair), yenilemek (R5 Refurbish), yeniden üretmek (R6 Remanufacture), yeniden farklı amaç için kullanmak (R7 Repurpose), geri dönüştürmek (R8 Recycle), enerji kazanımı sağlamak (R9 Recover) olarak 10 R çerçevesi en eksiksiz çerçeve olarak kabul edilmektedir (Alshemari vd., 2020; Bianchini vd., 2019; Potting vd., 2017; Reike vd., 2018). Döngüsellik prensipleri, kaynak kullanımını ve dolayısıyla kaynak çıkarma ve malzeme üretiminden kaynaklanan çevresel baskıyı azaltmaya yöneliktir. Bu prensipler hiyerarşik bir yapıya sahiptir ve genel olarak kaynak kullanımı ve çevresel baskı, daha yüksek döngüsellik prensipleriyle azalmakta olup Şekil 2’de gösterilmiştir.



**Şekil 2:** Döngüsel Ekonomi Prensipleri

Bizim çalışmamızda kapsamlı olması açısından Şekil 2'deki 10 R faktörleri kullanılacaktır. Bahsedilen 10 R faktörü tüm kurum, endüstri ve kuruluşlarda prensip olarak ele alınması gerektiğinden bunları doğru şekilde anlamak gereklidir. Sırasıyla R prensiplerini açıklamak çalışmanın anlaşılması açısından faydalı olacaktır.

### **2.1.1. Reddetmek**

Döngüsel ekonomi kapsamında tehlikeli tıbbi atıklar başta olmak üzere atık miktarını azaltmak için çok yönlü ürünler kullanmak, minimum ambalajlı ve çevre dostu malzemeli ürünler seçmek ve mümkün olduğunca az zararlı kimyasalları tercih etmek gerekmektedir (Borowy, 2020). Reddetmek hem tüketici hem de üretici bağlamında kullanılmaktadır. Tüketici durumunda, daha az satın alma ya da daha az kullanma seçimini vurgulamaktadır ki bu israf oluşumunu önlemeyi amaçlayan herhangi bir tüketim maddesi için geçerlidir (Allwood et al., 2011). Reddetme, ambalaj atıklarının ve alışveriş poşetlerinin reddedilmesi bağlamında da sıklıkla kullanılmaktadır (Kasidoni vd., 2015). Reddetme prensibi, üretime ve kullanıma uygulandığında, ürün tasarımcılarının belirli tehlikeli maddelerin kullanımını reddedebilecekleri, israfı önleyecek şekilde üretim süreçleri tasarlayabilecekleri anlamına gelecektir (Bilitewski, 2012).

Bir başka açıdan reddetmek, işlevlerini bırakarak veya aynı işlevi tamamen farklı bir ürünle sunarak ürünleri gereksiz kılmaktır. En basit örnekleri, CD'ler yerine spotify gibi uygulamaların kullanılması veya restoranların dışındaki ısıtıcılar yerine battaniyelerin kullanılmasıdır. Sağlık kuruluşlarında da benzer özelliklerde uygulamalar sağlık sektörü için geliştirilmelidir (PBL, 2018). Tıbbi atıkların çevre ve halk sağlığı üzerindeki etkisini azaltmak için Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen yönetim çözümü, döngüsel ekonomide önemli bir yere sahip olan atık üretimini mümkün olduğunca önlemek ve en aza indirmektir (Xin, 2015). Tıbbi atıkları kontrol etmenin en iyi yolu mümkün olduğunca tıbbi ürünlerin reddedilmesini sağlayarak daha az üretmektir. Sağlık kuruluşları tıbbi atıkları kaynağında azaltmanın yollarını bulacak yöntemler geliştirmelidir (Tudor vd., 2005). Tıbbi ürünleri reddetmek ve tıbbi atık üretimini azaltmak için hükümetler sağlık tesislerine finansal veya diğer teşvikler sağlamalı ve bu teşvikleri sürdürmelidir (Windfeld & Brooks, 2015).

### **2.1.2. Yeniden Düşünmek ve Yeniden Tasarlamak**

Yeniden tasarlamak kısaca, döngüsellik ilkeleri doğrultusunda ürünün yeniden şekillendirilmesidir (Cramer, 2022). Yeniden tasarlama, endüstriyel tasarım ve sanatçı topluluklarında oldukça popülerdir. Atılan malları veya başka bir işlev için uyarlanmış

bileşenleri yeniden kullanarak, malzeme belirgin bir yeni yaşam döngüsüne kazandırılır (Reike vd., 2018). Bir başka farklı bakış açısı ile apartmanlarda merkezi bir yerde çamaşır ve kurutma makinelerinin ortak kullanımı gibi bir paylaşım veya bakım, onarım ve yenilemeyi içeren ürünün kullanımını ve hizmetini arttıracak her türlü sözleşme ve buna benzer durumlar ise yeniden düşünmek prensibi içerisinde değerlendirilmektedir (Potting vd., 2017). Yani, yeniden düşünmeye, ürünleri paylaşarak veya çok işlevli ürünler yaparak ürün kullanımını daha yoğun hale getirilmesi de denebilmektedir. Örneğin, sağlık sektöründeki tek bir ürün daha geniş bir işlev hacmi sunarak bir çok test ve ölçümü yapabilmesiyle bu prensip nazarında katkı sağlanmış olacaktır (PBL, 2018).

Sistemin yeniden tasarlanması ve yeniden düşünülmesi nedeniyle her açıdan yenilik ve döngüsellik gerçekleşecektir. Yeniden tasarlanan ürünlerden oluşacak malzeme verimliliğindeki herhangi bir artışın, döngüsellüğün etkilerinin ötesinde ekonomik kalkınma üzerinde önemli bir olumlu etkisi olacaktır. Yeniden düşünme aracı olarak döngüsellüğün, yaratıcı çözümleri ateşleyebilen ve yenilik oranlarını artırabilen güçlü ve yeni bir tercih olduğu kanıtlanmıştır. Yani, daha iyi tasarımın malzeme faturasını ve imha masraflarını önemli ölçüde azaltabileceği açıktır (MacArthur, 2013).

Tıbbi atıkların çoğu şu anda yakılmakta veya diğer bertaraf yöntemleri ile yok edilmektedir. Döngüsel tıbbi ürünlere geçmek istiyorsak, tıbbi atıkları mümkün olduğu kadar uzun süre döngüde kalacak şekilde nasıl yeniden tasarlayabiliriz? sorusuyla tasarlama sürecine başlanması gerekmektedir.

### **2.1.3. Azaltmak**

Azaltmak, üretim birimi başına daha az malzeme kullanılmasının vurgulanması veya ürün tasarımında materyal kullanmayı azaltmak olarak da düşünülebilir (Reike vd., 2018). Azaltmak en basit anlamıyla, hammadde ve ürün kullanımının azaltılmasıdır. Mevcut ürünlerin gereklilikleri değerlendirilerek ürünlerin kullanımı yeniden düşünülmeli ve böylelikle ürünlerde azalma sağlanması tercih edilmelidir. Bir ürünün, döngüsel ekonomi prensipleriyle birlikte azaltılmış malzeme girdileri ve buna bağlı işçilik ve enerji maliyetlerinin yanı sıra tüm tedarik zinciri boyunca azaltılmış karbon emisyonları açısından getirebileceği faydaları bulunmaktadır (MacArthur, 2013).



Örneğin, daha az enerji, su veya deterjan kullanan çamaşır makineleri gibi ürünün işlevini etkilemeden ürün kullanımında veya daha az gövde malzemesi kullanılarak yapılacak şekilde tasarlanmış bir arabanın veya tıbbi cihazın imalatıyla verimlilik artacaktır. Benzer şekilde tıbbi ürünlerin ve medikal malzemelerin üretiminde de yapılacak Ar-Ge faaliyetleri ile azalma sağlanacaktır (PBL, 2018).

Döngüsel ekonominin genel amacı, kaynak israfını büyük ölçüde azaltırken, aynı zamanda zarar verici çevresel etkinin azaltılmasını ve genel sosyal refahın artmasını sağlamaktır. Bu anlamda; elektrik ihtiyacındaki nükleer enerji oranını, sera gazı emisyonlarını, enerji tüketimini ve enerji yoğunluğunu, fosil yakıtların oranını azaltmak öncelikler arasında olacaktır (Gallaud & Laperche, 2016). Döngüsel bir ekonominin tüm prensiplerinin uygulanmasıyla azalma sağlanmış olacaktır. Bu uygulamalar ürünün tüm yönlerini kapsamaktadır. Öncelik sırasına göre, hammadde kullanımını reddetmekten sonra azaltmak, böylece ürünlerin ve ürün kullanımının yeniden tasarlanmasına, yüksek değerli geri dönüşüme ve enerji geri kazanımı ile yakmaya odaklanan girişimlere dikkat çekilecektir (Cramer, 2022).

#### **2.1.4. Yeniden Kullanmak**

Yeniden kullanım kısaca bir ürünün orijinal haliyle veya çok az geliştirme veya değişiklikle aynı amaçla tekrar kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Uzun ömürlü veya yeniden kullanılabilir ürünlerde erken eskime azalır ve toplam maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilmektedir (MacArthur, 2013). Yeniden kullanım, atılmış ve hala çalışır durumda olan bir ürünü tekrar kullanmaktır. Bu durumda, ikinci el ürünler bazen satılmadan önce restore edilir yani onarım ve yenileme prensibi birbiriyle örtüşmektedir (PBL, 2018). Yeniden kullanımda, yenileme, yeniden çalışma ve tamir olmadan kullanım esastır. Ayrıca yeniden kullanım, ilk kullanımdan sonra ürünleri ekonomiye geri getirmek için gereken piyasa işleminin sunan tarafı ve alan tarafı temsil ederek, yeniden satış ile yakından bağlantılıdır (Reike et al., 2018).

Bu prensip, geri dönüşümden daha karlı ve ekolojik olup aynı zamanda malların ömrünü de uzatmaktadır. İlaçların uygun şekilde yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi, ilaçların uygunsuz veya yasa dışı imha edilmesinin çevresel etkisini ve karbon ayak izlerini azaltmaktadır. Yeniden kullanım ve geri dönüşüm, sağlık hizmeti atıklarının çevresel ve ekonomik olarak azaltılmasına yardımcı olurken

uygulamaların daha da iyileştirilmesi, hükümet yetkilileri ve tüm tedarik zinciri paydaşları tarafından onaylanmasını da gerektirmektedir (Alshemari vd., 2020).

Sağlık sektöründe, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), tedarik zincirini ve sağlık hizmetlerini değerlendirmek için yararlı bir araçtır. Birçok tıbbi ürünün YDD'si, yeniden kullanılabilir sağlık malzemelerinin (örneğin, laparoskopik aletler, vantuzlar, plastik anestezi tepsileri) tek kullanımlık muadillerine göre daha düşük çevresel ve finansal maliyetlere sahip olduğunu göstermektedir. Sağlık kuruluşlarında kullanılan tekrar kullanılabilir ürünler olan cerrahi önlükler, örtüler, masa örtüleri, neşterler ve kesici alet kapları, yeniden kullanım için tasarlanmış olmaları ve sterilize edilebilmeleri halinde tekrar kullanılabilirlerdir (Voudrias, 2018).

#### **2.1.5. Bakımını Yapmak ve Tamir Etmek**

Döngüsel ekonominin uygulanması, daha uzun süre kullanılabilirler için ürün bakımı ve tüketici mallarının onarımı yoluyla gerçekleştirilebilir (Gallaud & Laperche, 2016). Bakım ve tamir, arızalı ürünlerin orijinal işlevlerinde tekrar kullanılması için yapılan onarım işlemleridir (PBL, 2018).

Onarım, arızalı bir ürünü çalışır duruma getirmek, yeni gibi yapmak, küçük kusurlardan sonra orijinal işlevini yeniden yaratmak, kırık parçaların değiştirmektir (Reike et al., 2018). Ortak amaç ise ürünlerin ömrünü uzatmaktır (King et al., 2006). Onarım faaliyetleri, beşerî sermayenin ve üretilen sermayenin korunmasını sağlar. Sağlık uygulama alanları yüksek risk içerdiğinden, makinelerin işlevini kaybettikten sonra onarılması maliyetli ve tehlikeli olabilmektedir (Kane vd., 2018). Ancak profesyonel bakım ve tamir ekipleriyle birlikte, zamanında iş güvenliği çerçevesinde yapılacak bakımlar ve tamir işlemleriyle sağlık hizmeti veren kuruluşlarda da bu tehlike bertaraf edilebilir. Böylelikle, döngüsel ekonomideki tersine faaliyetlerden olan ürünlerin onarımıyla daha uzun sürelerden kullanımı gerçekleştirilecek ve teknik bileşenlerinin yeniden imalatı daha kolay hale gelecektir. Sonuç olarak, onarım yoluyla ürünlerin verimli kullanımı artacak ve genel kullanım ömürleri uzayacaktır (MacArthur, 2013).

### 2.1.6. Yenilemek

Yenilemek, işlevsel olan bir ürünü yenilemesi veya modernleşirmesi yoluyla güncel hale getirilip temel işlevselliği artırılmasıdır (PBL, 2018). Arızalı veya bozulmaya yakın ana bileşenleri değiştirerek veya onararak ve bir ürünün görünümünü güncellemek için temizleme, kumaşı değiştirme, boyama veya yeniden cilalama gibi görüntüde değişiklikler yaparak bir ürünü iyi çalışır duruma getirme süreci olarak tanımlanmaktadır (MacArthur, 2013). Yenileme, yeniden üretime göre daha üstün veya daha arzu edilen bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Reike vd., 2018).

Sağlık sektöründe de ürün yenilemeye olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Sağlık pazarının toplamda yaklaşık 30 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle yenilenmiş tıbbi cihazlar sağlık sektöründe diğer sektörlerle göre daha yüksek bir değere sahiptir. Sağlık sektöründe büyük miktarlarda kullanılan tek kullanımlık küçük tıbbi ürünler olduğu gibi çok sayıda karmaşık tıbbi cihazlar da vardır. Bu ürünler aynı zamanda sağlık sektörünü döngüsel ekonomi için karmaşık hale getiren hijyen veya kalite riskleri olan ürünlerdir. Tek kullanımlık ürünler enfeksiyon kontrolü ve bulaşma önlemleri için önemli ölçüde güvenilir olsa da çok fazla atık ve dolayısıyla maliyet üretmektedirler (Kenny & Priyadarshini, 2021). Yenilenmiş cihazlar, yeni ürün fiyatının %60-70'ine satılabilmektedir. Yenilenmiş ürünler satın almak, kalite algısı ve hijyen gereklilikleri gibi engellere sahip olabilmektedir. Ekonomik değerler genel olarak tüm sektörlerde olduğu gibi sağlık alanında da baskındır ancak bazen çevresel argümanlar devreye girer, yani yenilenmiş ancak enerji tüketimi nedeniyle çevre dostu ürün olmayabilir ve bu durum göz ardı edilmemelidir.

Hastaneler ayrıca yeniden kullanılabilir ekipman ve mal satabilmektedir (Van Boerdonk vd., 2021). Sağlık sektöründe önemli bir yere sahip olan üç büyük tıbbi cihaz üreticisi (Siemens, Philips ve General Electric), geri alma seçeneklerini uygulamaya ve ürünlerini yenilemeye başlamıştır (Alshemari vd., 2020; Kane vd., 2018). Philips Healthcare, yenilemede lider bir şirket olarak tanınmaktadır. Kullanılmış tıbbi cihazları satın alma ve yeniden satma fırsatları nedeniyle Avrupa hastaneleri için 2019'dan sonra yaklaşık 170 milyon € tasarruf edilmiştir. Sağlıkta maliyetleri azaltmak için daha düşük değerli ürünler satın almak veya yeni bir iş modeline dönüştürmek

gerekmektedir. Döngüsel ekonomide maliyetleri düşürmenin en önemli faktörü iş modelleri ve ikinci el yenilenmiş ürün satın almaktır (Van Boerdonk vd., 2021).

Tek kullanımlık koruyucu eldivenlerde kullanılan teknoloji ile hammadde çıkarma, üretim ve nakliye ihtiyacını ortadan kaldıran döngüsel bir sistem tasarlanmıştır. Tek kullanımlık eldivenleri yeniden üretmek ve sterilize etmek, doğrusal yaşam döngülerini döngüsel olanlarla değiştirme olasılığını kanıtlayan bir uygulamadır. Tek kullanımlık ürünler pratiklik ve hijyenik nedenlerle tüketilmekte ancak akıllı mühendislik ile döngüsel bir sistemle değiştirilebilmektedir (Backman vd., 2020).

### **2.1.7. Yeniden Üretmek**

Yeniden üretmek, çok bileşenli bir ürünün tüm yapısının endüstriyel bir süreçte demonte edilmesi, kontrol edilmesi, temizlenmesi ve gerektiğinde değiştirilmesi veya onarılması anlamına gelmektedir (Gehin vd., 2008; Lieder vd., 2017). Ayrıca yeniden üretim, atılan ürünlerden alınan ürün parçalarının benzer işleve sahip yeni ürünlerde kullanılmasıdır (PBL, 2018). Bir ürünün alt montaj veya bileşen düzeyinde bir sökme ve kurtarma işlemi olarak tanımlanmaktadır. İşlevsel, yeniden kullanılabilir parçalar atıl bir üründen çıkarılır ve yeni bir üründe yeniden kullanılmaktadır (MacArthur, 2013). Yeniden üretmek, üretime giren kaynakların çoğundan tasarruf etmek, ekonomik olarak yeni olan üründen çok daha üstün olmak anlamına gelmektedir. Sağlık sektöründe yenileme ve yeniden üretim uygulaması nispeten yaygındır. Tıbbi malzemelerin yenilenmesi ve yeniden üretilmesinin en önemli nedeni, son kullanıcı için maliyetlerin düşürülmesine yardımcı olmasıdır (Kane vd., 2018). Yeniden üretim ürünleri, şirketlerin müşterileriyle daha yakın bağlantı kurmasına, daha çevresel ve ekonomik olarak sürdürülebilir hale gelmesine ve döngüsel bir ekonomiye katkıda bulunmasına yardımcı olacaktır. Yeniden üretim, kullanılmış bir ürünün orijinal değerine veya daha iyisine yeniden yapılandırılması olarak tanımlanmaktadır. Yeniden imalat sürecinde, enerji tüketimi hesaplanabilir ve optimize edilebilir olmalıdır (Backman vd., 2020).

### **2.1.8. Yeniden Amaçlandırmak**

Yeniden amaçlandırmak prensibi genellikle daha az kullanılır hatta yeniden düşünmek prensibi gibi kullanılarak aynı şeyi kastediyor gibi görünmektedir (Reike et al., 2018). Bu prensip, atılan ürünlerin ürün parçalarının farklı işleve sahip yeni ürünlerde kullanılmasıdır (PBL, 2018). Amacı, stratejik kaynakları korumak ve israfı önlemektir (Stahel, 2019). Yüz maskeleri, eldivenler, tulumlar dahil olmak üzere biyolojik olarak parçalanabilen ve çevre dostu koruyucu giysiler geliştirilerek bu prensibe katkı sağlanabilecektir (Sarkodie & Owusu, 2021).

### **2.1.9. Geri Dönüştürmek**

Geri Dönüşüm, atılan ürünlerden veya ürün parçalarından malzemelerin geri kazanılması ve bunların yeni ürünlerde kullanılmasıdır (PBL, 2018). Döngüsel ekonomi terimleriyle, “hijyenik eskime”, bir ürünün artık geri kazanımı için gereken hijyen standartlarını karşılamadığı ve modasının geçtiği özel bir işlevsel eskime biçimi olarak değerlendirilmektedir (Kane vd., 2018). Bu şekilde hijyenik olarak eskimiş yani ömrünü tamamlamış ürünler için geri dönüşüm kullanılmaktadır. Bu yaygın kavram, tüm toplumlarda ve endüstrilerde çok önemli bir unsurdur. Yani, geri dönüşüm, topraktan hammadde çıkarma ihtiyacını azaltarak ve malzemeyi sistemde kullanarak, değerli malzemeleri toplayarak kapalı bir döngüde malzemenin korunmasına odaklanmaktadır (Backman vd, 2020). Geri dönüşüm ilkesi, bir ürünün ömründen sonra oluşan atıklardan yeniden kullanılabilir malzemenin çıkarılması için bir fırsat sağlamaktadır (Lopes de Sousa Jabbour vd., 2019). Döngüsel bir ekonomide küresel ısınma gibi çevresel etkilerin azaltılması, kaynak ve enerji verimliliğindeki iyileşmeden kaynaklanmaktadır. Örneğin, cevherinden üretilmek yerine geri dönüştürülen alüminyumun bir tonu başına atmosfere 19 tona kadar eşdeğer CO2 emisyonu önlenebilmektedir (Damgaard vd., 2009).

Malzeme geri dönüşümü üç aşama olarak düşünülmektedir. Bunlardan birincisi işlevsel geri dönüşüm olup enerji geri kazanımı hariç, orijinal amaç veya başka amaçlar için malzemeleri geri kazanma sürecidir. İkincisi malzemeleri daha düşük kaliteli ve azaltılmış işlevselliğe sahip yeni malzemelere geri dönüştürme sürecidir. Sonuncusu ise malzemeleri daha yüksek kaliteli ve artırılmış işlevselliğe sahip yeni

malzemelere dönüştürme süreci olan ileri dönüşümdür (MacArthur, 2013). Bununla birlikte, döngüsel ekonomi perspektifinden amaç, kullanılmayan malzemeyi orijinal malzemedan yeni veya daha değerli ve daha iyi çevresel değere sahip bir ürüne dönüştürmek olduğundan bu durum geri dönüşümden ziyade "ileri dönüşüm" olarak değerlendirilebilmektedir (Voudrias, 2018). Döngüsel ekonomi için ileri dönüşümün daha çok uygulanması tercih edilmektedir.

Tıbbi atıkların geri dönüştürülmesi sağlık hizmetlerinin yönetiminde yararlı bir bileşen olarak görülmektedir (Borowy, 2020). Tıbbi atıkların etkin yönetimi, atık azaltma ve geri dönüşüm bileşenlerini içermektedir (Rutala, 1992). DSÖ, döngüsel ekonominin hastaneler ve hastalar için maliyetleri azaltabileceği ve hastanelerin geri dönüşüm ve atık azaltmada lider hale gelebileceğini değerlendirmektedir (World Health Organization Regional Office for Europe, 2018).

#### **2.1.10. Enerjiye Dönüştürmek**

Enerjiye dönüştürme işlemi, enerji geri kazanımı ile yakma veya fermantasyon anlamına gelirken bu işlemde malzemeler sonsuza dek kaybolduğundan doğrusal ekonominin bir parçası olarak da düşünülebilir. Enerji geri kazanımı, atıkta bulunan enerjiyi yakalamak, onu enerji üretimi veya biokütle kullanımı ile birlikte yakma işlemine maruz bırakmak anlamına gelmektedir (Reike et al., 2018). Yani, enerji olarak geri kazanım, bir ürünün enerji geri kazanımı ile yakılması veya fermantasyonudur. Besinlerin kompostlama yoluyla geri alınması da bir geri kazanım şeklidir. Geri kazanım sürecinde, atılan bir ürün veya malzeme, yararlı bir şey yapmak için işlenir ancak ürün veya malzeme sonrasında yok olmaktadır (PBL, 2018). Geri dönüştürülemeyen atık malzemelerin, yanma, piroliz ve çöp gazı geri kazanımı dahil olmak üzere çeşitli süreçler yoluyla kullanılabilir enerjiye, ısıya, elektriğe veya yakıta dönüştürülmesidir (MacArthur, 2013). Bu anlamda tıbbi atıklar, yüksek hidrojen, karbon içeriği ve ısı değerine sahip enerjiye dönüştürmek için mükemmel ve ideal hammaddelerdir (Su vd., 2021).

Döngüsel ekonominin 10 R olarak adlandırılan prensiplerinin en kısa, anlaşılır tanımları Tablo 3'te öncelik sırasına göre sıralanmıştır. Tüm sektör ve hizmetlerde olduğu gibi tıbbi atık yönetimlerinde de bu önem sırasına göre süreç yönetilmelidir.

|                         |   |  |   |
|-------------------------|---|--|---|
| <b>DÖNGÜSEL EKONOMİ</b> |   | <b>R0</b><br><b>Reddetmek</b>              | Bir ürünü işlevini iptal ederek veya tamamen farklı bir ürünle değiştirerek gereksiz kılmak.                          |
| <b>Öncelik Sırası</b>   | Ürünlerin daha akıllıca oluşturulması ve kullanılması | <b>R1</b><br><b>Yeniden Düşünmek</b>       | Ürün paylaşımı veya çok işlevli ürünler aracılığıyla ürün kullanımının yoğunlaştırılması                              |
|                         |   | <b>R2</b><br><b>Azaltmak</b>               | Daha az doğal kaynak ve malzeme kullanılarak ürünlerin daha verimli kullanılması ve/veya üretilmesi.                  |
|                         |   | <b>R3</b><br><b>Yeniden Kullanmak</b>      | Atılan ancak yine de kullanılabilir olan ürünün farklı bir kullanıcı tarafından aynı amaç için yeniden kullanılması.  |
|                         | Ürünlerin ve parçaların ömrünün uzatılması            | <b>R4</b><br><b>Onarmak</b>                | Bozulan veya arızalanan ürünün orijinal işlevini devam ettirebilmesi için onarım ve bakımını yapmak.                  |
|                         |   | <b>R5</b><br><b>Yenilemek</b>              | İyileştirilmiş sürümün ürünün orijinal işlevinde kullanılabilmesi için eski bir ürünü yenilemek veya modernize etmek. |
|                         |   | <b>R6</b><br><b>Yeniden Üretmek</b>        | Atılan bir ürünün parçalarını aynı işleve sahip yeni bir üründe kullanmak.  |
|                         |   | <b>R7</b><br><b>Yeniden Amaçlandırmak</b>  | Atılan ürünlerin veya parçalarının farklı işleve sahip yeni ürünlerde kullanılması.                                   |
|                         | Malzemelerin faydalı uygulaması                       | <b>R8</b><br><b>Geri Dönüştürmek</b>       | Orijinal daha yüksek kaliteye ulaşmak veya düşük kaliteye indirmek için malzemelerin işlenmesi.                       |
| <b>DOĞRUSAL EKONOMİ</b> |   | <b>R9 Enerjiye Dönüştürmek (Kurtarmak)</b> | Malzemelerin yakılması, enerjilerinin geri kazanılması  |

**Tablo 3:** Döngüsel Ekonomi Prensipleri ve Öncelik Sırası (Alshemari et al., 2020; Potting et al., 2017; RLI, 2015)

Sonuç olarak, döngüsel ekonominin önemli R'leri olan tıbbi atık üretim kalıplarını tahmin etmek ve hangi sektör olursa olsun yön vermek için büyük veri analizinin kullanılması gerekmektedir. Yeniden kullanım, geri dönüşüm ve kaynak azaltımı yoluyla atık minimizasyonu araştırmacıların artan ilgisini çeken konular arasındadır (Thakur & Ramesh, 2015). Tüm atıklar gibi, tıbbi atıkların biyolojik olarak parçalanabilen kısmının arıtılması, parçalanamayan kısmının yeniden kullanılması ve geri kazanılması döngüsel bir ekonomiye yol açmaktadır (Velvizhi vd., 2020). Entegre tıbbi atık yönetiminin ilkeleri; önleme, azaltma, yeniden kullanma, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı, bertaraf etme ilkelerine dayanmaktadır ve bu ilkeler Tablo 3'de gösterilen döngüsel ekonomi prensipleri ile doğrudan ilgilidir (Gören & Özdemir, 2011). Tıbbi atıkların bertaraf uygulamaları arasında yer alan kaynak azaltma, yeniden işleme ve geri dönüşüm döngüsel ekonominin temel konuları arasındadır (Kenny & Priyadarshini, 2021). Tıbbi atıkların döngüsel ekonominin bu önemli konularıyla birlikte mevcut atık yönetim sistemi burada incelenmiştir.

## **2.2.Döngüsellüğün Sağlık İlişkisi ve Uygulamaları**

Dünyada karbonun azaltılmasına ilişkin küresel anlaşmalar ve ulusal mevzuat gereği sağlık sektörü de emisyonlarını azaltmak zorundadır (Mortimer, 2010). Hastanelerde atık ayrıştırma düzeyi iyileştirildiği sürece tıbbi atık miktarı azaltılabilir ve bu da tedavi maliyetlerinin düşmesine katkı sağlayabilir (Ciplak & Barton, 2012). Tıbbi atıkların üretim noktasında atık önleme ve azaltma potansiyelinin sınırlı olduğu düşünülmektedir (Jang et al., 2006). Örneğin sağlık kuruluşları cıva içeren ürünleri (örn. termometreler, tansiyon aletleri, amalgam, piller) azaltmalı ve bunları özel imha gerektirmeyen alternatifleriyle değiştirmeyi hedeflemelidir (Voudrias, 2018). Atık azaltma konusu; atıkların ayrılmasını, foto grafik kimyasallardan gümüşün geri kazanılmasını ve PVC içermeyen plastik ürünlerin ortadan kaldırılmasını, gereksiz enjeksiyonların azaltılmasını içermektedir (Batterman, 2004). Bademcik ameliyatlarında 40 adet tek kullanımlık kitten 12'sinin gereksiz olduğu belirlenmiştir (Penn vd., 2012). Bakterileri önlemek için sterilize edilen aletlerin çift plastik yerine tek plastik ile sarılmasının yeterli olduğu görülmüştür (Webster vd., 2005). Bu gibi durumlar, uzmanlarca sağlık hizmetlerinde fazla miktarda kullanılan birçok tıbbi malzemenin ve sağlık operasyonlarının yeniden gözden geçirilip değerlendirilmesinin



gerekliliği için önemli bir örnektir. Klinisyenlerin, plastik sağlık ürünlerini her ihtimale karşı kullanmak yerine ihtiyaçları kesinleştikten sonra açıp kullanmaları daha uygun olacaktır (Rizan vd., 2020). Polimerler ayrıca yenilikçi sağlık malzemelerinin geliştirilmesinde ve hastaları iyileştirme yollarında kullanılmıştır (North & Halden, 2013). Bununla birlikte, bir ABD hastanesi, tek kullanımlık plastik polipropilen sargıyı cerrahi aletler için yeniden işlenmiş sert metal kutularla değiştirerek yılda 51.000 ABD doları maliyet tasarrufu sağlamış olup döngüsel ekonomi için önemli bir örnek oluşturmuştur (R. J. Lee & Mears, 2012). Plastiği kağıt bazlı tehlikeli atıklarla değiştiren İngiltere'deki bir hastane, ulaşımı, emisyonları, atıkları ve finansal tasarrufları azaltmıştır (Royal College of Physicians, 2018). Ayrıca biyo-bozunur plastiklerin biyo-uyumlu hale getirilebileceği ve insan vücudunda kullanılabileceği değerlendirilmektedir (Kulsoom Bano, Reetika Pandey & Pradesh, 2018).

Yeniden kullanım ilkesi, çevreye zararlı gazlar ve partiküller yayan yeni bir ürünün saf malzeme ile üretilmesine kıyasla emek ve enerji gibi daha az kaynak gerektirdiğinden üreticiler, tüketiciler ve çevreciler için kârlı olarak değerlendirilmektedir (Castellani vd., 2015). Maliyeti ve israfı azaltmak için birçoğ sağlık hizmeti sağlayıcısı tek kullanımlık tıbbi cihazları yeniden işleme, yani onarım, temizleme ve sterilizasyondan sonra yeniden kullanabilmektedir (Voudrias, 2018). Örneğin, yeniden kullanılabilir plastik anestezi tepsileri, tek kullanımlık muadillerine kıyasla daha düşük su gereksinimlerine, karbon ayak izine ve maliyetlere sahip olarak kullanılmaktadır (McGain vd., 2010). Anestezik solunum devrelerinin kullanım süresi 24 saatten 7 güne çıkarıldığında bakteriyel kontaminasyonu etkilemediği böylelikle enerji, su ve maddi tasarruf sağlandığı sonucuna varılmaktadır (McGain vd., 2014). Tıbbi atıkların yeniden kullanımı, çevresel zararı azaltmak için genellikle daha iyi bir seçoenek olacaktır. Bununla birlikte, tekrar kullanılabilir tıbbi ürünler yerine tek kullanımlık ürünlere olan güvenin enfeksiyon riskinden kaynaklandığı bilinmektedir (Rizan vd., 2020). Ancak hastane satın alma uygulamalarında cerrahi örtü ve önlük gibi tekrar kullanılabilen ürünlerin yerini tek kullanımlık ürünlere bıraktığı görülmektedir (Kane vd., 2018). Bu nedenle, maliyeti ve atık üretimini azaltmak için sağlık kuruluşlarının tek kullanımlık ürünleri detaylı bir şekilde takip ederek azaltmaları gerekmektedir (Voudrias, 2018). Yeniden kullanılabilir kitlerin ve malzemelerin benimsenmesi, böylece daha genel atık üreten tek kullanımlık kitlerin

azaltılması, otoklavlama yoluyla sağlanabilecektir (Yu Fei Xia, 2020). Avustralya'da yapılan bir araştırma, yeniden kullanılabilir santral venöz kateter kitlerinin daha ucuz olduğunu, ancak çalışmanın yapıldığı hastane nedeniyle çevreye daha zararlı olduğunu bulmuş olup çevresel faktörler asla göz ardı edilmemelidir (Forbes McGain vd., 2012). ABD'de Gıda ve İlaç İdaresi, birçok tek kullanımlık cihazın yeniden işlenmesine izin vererek, yeniden kullanım için enfeksiyon riskinin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Gao, 2008). Bununla birlikte, tek kullanımlık ürünlerin yeniden işlenmesi ve yeniden kullanılması Çin'de yasal olarak yasaklanmıştır ancak Hindistan ve Brezilya gibi düşük ve orta gelirli ülkelerde hala yaygındır (Wang & Wu, 2019). Sağlık alanında kullanılan, ince kanallara, contalara ve birbirine bağlı eklemli yüzeylere sahip sağlık ürünlerinin yeniden işlenmesi ve yeniden kullanılması zordur (Rizan vd., 2020).

Örneğin, Temmuz 1996'da Quebec eyaleti (Kanada), perkütan transluminal koroner anjiyoplasti kateterlerinin yeniden kullanımını enfeksiyon riski nedeniyle yasaklanmıştır (Luijt vd., 2001). Ancak tek kullanımlık ürünlerden 4500-5000 dolara kadar mal olabilen kateter ekipmanlarının sterilize edilip tekrar kullanılması durumunda önemli bir maliyet tasarrufu sağlanabileceği de tespit edilmiştir (Kenny & Priyadarshini, 2021). Birçok kurum, maliyetleri azaltmak için kateterleri yeniden sterilize eder ve yeniden kullanır. Kardiyovasküler ve endovasküler kateterlerin yeniden kullanımı, bazı kateterlerde sıkı temizlik ve sterilizasyondan sonra bile virüs bulunduğu tehlikeli olarak kabul edilmektedir. Bu gibi nedenlerle, yeniden kullanım detaylı olarak tıbbi ürün ve operasyon bazında maliyet ve çevresel etkileri değerlendirilerek ele alınmalıdır.

Tek kullanımlık eldivenler sağlık sektöründe en çok kullanılan sarf malzemelerinden biri olmasına rağmen kontaminasyon endişeleri nedeniyle geri dönüştürülemezler. Tek kullanımlık tıbbi cihazların yeniden kullanımı, uygun mevzuat ve düzenlemelerle döngüsel bir ekonomi için mümkün olsa da, hastalar için risk oluşturabilir (Wang & Wu, 2019). İsveç hastaneleri tarafından toplanan verilere göre, en büyük çevresel tehditlerden birini yılda 813 milyon tek kullanımlık sağlık ürünü oluşturmaktadır (Backman vd., 2020). Tek kullanımlık plastik şırıngaların çiçek hastalığı ve çocuk felci gibi salgın hastalıklara karşı aşılarda faydalı olduğu kanıtlandığından dolayı kullanımları artmıştır. Ancak tek kullanımlık şırıngaların

yaygın kullanımı, tıbbi atık üretiminin hacmini arttırmaktadır (Gilden et al., 1992). Hindistan'da 2004 yılında yapılan bir araştırma, sağlık tesislerinin yaklaşık %10'unun kullanılmış şırıngalarını atık toplayıcılara sattığını ortaya koymaktadır (Solberg, 2009). Atık toplayıcıların kullanılmış tıbbi malzemeleri, özellikle de şırıngaları çöpten toplayarak düşük fiyata satmaları söz konusu olmaktadır (Hasan & Rahman, 2018). Özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde zararlı sağlık atıkları olan ve enfeksiyon riskini yayan kirli iğnelerin belediye atıklarıyla karıştırılması büyük bir risk oluşturmaktadır (Bano vd., 2018). Şırıngaların yeniden kullanılması milyonlarca insanda Hepatit B ve C gibi enfeksiyonlara neden olabileceği gibi her yıl binlerce kişiye HIV bulaşmaktadır (Adu vd., 2020; Hauri vd., 2004).

Bir cihazın kullanım ömrünün sonuna gelinip gelinmediği, sterilizasyon veya dezenfeksiyon işleminde ne kadar iyi performans gösterdiğine bağlıdır. Örneğin, plastik bir şırınganın yüksek basınçlı buhar uygulamasından sonra bütünlüğünü koruması olası olmasa da cerrahi bir neşter bu uygulamadan zarar görmeyecektir (Kane vd., 2018). Tıbbi atıklarla temastan kaynaklanan enfeksiyon riski ve diğer riskler göz ardı edilmemelidir (Blenkharn, 2006). Çocukların hastanelerin çöplüklerinden aldığı kullanılmış şırıngalarla oynarken enfeksiyon kapıldığı belirlenmiştir (Borowy, 2020). Dünyada yılda yaklaşık 16 milyar enjeksiyon yapıldığı tahmin edilmektedir (Oli vd., 2016). DSÖ, sterilizasyon yapılmadan şırınga ve iğnelerin yeniden kullanılmasından kaynaklanan güvenli olmayan enjeksiyon uygulamaları nedeniyle yılda 20 milyondan fazla hepatit B, C ve HIV enfeksiyonunun meydana geldiğini tahmin etmektedir. Dünya çapında otuz beş milyon sağlık çalışanının her yıl yaklaşık 3 milyonunun kan yoluyla bulaşan patojenlere bir şekilde maruz kaldığı ve birkaç milyon insanın HBV2'ye yakalanırken 0,9 milyonunun HCV ve 170,000'inin HIV'e maruz kaldığı belirtilmektedir (Bano vd.,2018). Bu nedenle, yeniden kullanımda döngüsel ekonomi ile entegrasyon için en önemli konu enfeksiyon riskinin kontrolüdür (Secretariat of the Basel Convention & WHO, 2004). DSÖ, geri dönüştürülebilir şırıngaların yeniden kullanım için dezenfekte edilmek yerine sterilize edilmesini tavsiye etmektedir (Borowy, 2020). Hastanenin sterilizasyon bölümlerinde metalik veya plastik bileşenlerden yapılmış tıbbi araç ve gereçler gibi yeniden kullanılabilir malzemeler sterilize edilerek kullanılabilir ve böylece sağlık kurumlarında döngüsel ekonomiye katkı gerçekleştirilebilecektir (Tsakona vd., 2007).

Araştırmacılar, tek kullanımlık ürünlerin en aza indirilmesi ve geri dönüştürülmesinin atık oluşumunu önemli ölçüde azaltabileceğini kaydetmiştir (Borowy, 2020). Genellikle tek kullanımlık bir malzeme sterilizasyondan sonra yeniden kullanılabilir, böylece daha az ürün satın alınacağından ve tıbbi atık azaltılacağından tasarruf sağlanacaktır (Van Boerdonk vd, 2021). Tıbbi profesyonellerin, sterilizasyon işlemi uygulanıp uygulanmadığına bakılmaksızın bulaşıcı tıbbi atıkların yeniden kullanılmasına veya geri dönüştürülmesine izin vermediği gözlemlenmiştir (Zhao vd., 2009). Sağlık atıklarının doğru yöntemlerle bertaraf edilmesiyle oluşan küller çimento üretiminde hammadde olarak kullanılabilir ve yine döngüsel ekonomiye katkı sağlamış olacaktır (Sobiecka vd., 2014). Ancak, tehlikeli tıbbi atıkların bertarafı ile ilgili endişeler ve düzenlemeler nedeniyle, bazı atık bileşenlerinin geri dönüşümü zor veya imkânsız görünebilir.

Tıbbi atıkların geri dönüşüm süreçlerinde akıllı cihazlara dayalı nesnelerin internetinin kullanılması (IoT) önemlidir (Wang vd., 2020). Geri dönüşüm, ürünü yeni oluşturan malzemelere ayırarak geri dönüştürmek ve faydalı bir şekilde yeniden kullanmaktır. Bir ürünün geri kazanıma uygunluğu, onu oluşturan malzemelere bağlıdır (Kane vd., 2018). Şırıngaların ve cam şişelerin ambalajları, ameliyathane başına yılda 950 kg'a kadar biriktiğinden potansiyel olarak geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Tek başına anestezi atıkları geri dönüştürmeye başlamak, klinik atıkların bertarafı için yıllık hastane bütçesinin %30'unu kurtaracaktır (Yu Fei Xia, 2020). ABD'de tıbbi atıkların yaklaşık %20'sini oluşturan mavi sargılar polipropilenden üretilmekte ve sterilize edilmiş malzemeleri sarmak için kullanılmakta ve yüksek geri dönüşüm potansiyeline sahip olarak değerlendirilmektedir (Voudrias, 2018). Biyo-türetilmiş polimerler ve hibrit paketlenmiş sağlık malzemeleri, daha az çabayla daha fazla verim elde edilmesini sağlayacak geri dönüşüm için tasarlanabilecektir (Klemeš vd., 2020). Tıbbi atıkların %20-25'inin geri dönüştürülebilir plastiklerden oluştuğu tahmin edilmektedir (B. K. Lee vd., 2002). Farklı yöntemlerle bertaraf edilen tıbbi atık plastiklerin oranı ülkeye, bölgeye, sağlık tesislerine, sağlık birimlerine, sağlık personelinin bilgi ve tutumlarına göre değişmektedir. İngiliz Plastik Vakfı ve Axion Danışmanlık, bahçecilik endüstrisi için ürünlere dönüştürülen oksijen maskeleri ve oksijen tüpleri gibi anestezi ve tıbbi PVC atıkları geri dönüştürerek döngüsel ekonomiye teşvik etmekte ve tıbbi atıkları

azaltmaktadır (Voudrias, 2018). İngiltere'de plastik tıbbi atıkların %5'inden daha azı geri dönüştürülmektedir (Rizan vd., 2020). Pandemi döneminde geri dönüşüm ve plastik atık politikalarının ertelendiği görülmektedir (Liang vd., 2021).

Hastaneler, fiyat farkı olmaması koşuluyla geri dönüştürülmüş malzemelerden yapılan ürünleri daha fazla tercih etmeye hazır olduklarını belirtmektedirler (Van Boerdonk vd, 2021). Tıbbi atıkların geri dönüşümü için yapılan ankette algılanan temel engellerin, yetersiz tesisler (%49), personel tutumları (%17) ve yetersiz bilgi (%16) olduğu tespit edilmiştir (Forbes McGain, White, vd., 2012). Hastanelerdeki ana plastikler polietilen (tuzlu solüsyonlar ve steril irrigasyon sıvıları için plastik şişeler gibi), polipropilen (cerrahi alet sargıları gibi), bunların kopolimerleri (şırıngalarda ve emicilerde bulunur) ve polivinil klorürdür (ör. damar içi sıvı torbaları ve oksijen tüpleri) (Forbes McGain vd., 2009) Yapılan bir çalışmada tıbbi atıkların potansiyel plastik geri dönüşüm miktarının %64 olduğu belirlenmiştir (Forbes McGain vd., 2015). Plastik içeriği yüksek şırıngalar yaklaşık %85'inin geri dönüştürülebilir tıbbi atık olduğu ve incelenen bir hastanede üretilen atıkların yaklaşık %21'ine tekabül ettiği belirlenmiştir. Enjektörlerin iğnelerden ayrılması etkin ve doğru bertaraf için önemlidir (Yu Fei Xia, 2020). Son kullanma tarihi geçmiş plastik şırıngalardan %20'ye kadar geri dönüştürülmüş agrega (beton katkı maddesi) kullanımının, akışkan betonun taze ve sertleşmiş özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğu ve bunun da çevresel kaygıları giderebileceği belirlenmiştir (Bucătaru vd., 2021).

Geri dönüşümün etkili bir şekilde uygulandığı otoklavlama, tıbbi katı atıkları etkin bir şekilde dezenfekte edebildiği için geri dönüşüm sürecinin verimliliğini artırabilir ve bu durum döngüsel ekonominin geri dönüşüm kısmı olarak değerlendirilmektedir. Tıbbi atıklarda kağıt, karton, plastik, cam, metal, mavi ambalaj, içecek kutuları, gazeteler, dergiler, piller ve elektrikli ve elektronik aletler vb. geri dönüştürülebilir malzemeler %83 oranında ayrı olarak toplanır ancak bu oran %100 olmalıdır (Birpınar vd., 2009; Van Boerdonk vd., 2021; Voudrias, 2018). Tıbbi atık içerisinde plastik atık oranı ise %36'dır (Singh vd., 2021). Bu geri dönüşüm yöntemi, sağlık hizmetleri için ihtiyaç duyulan sarf malzemelerinin maliyetini azaltabilmektedir (Das vd., 2021). Sanitasyon işleminden sonra tıbbi atıklar bertarafa veya geri dönüşüme gönderilmeli ve bu ürünler geri dönüşümden önce kullanılamaz hale getirilmelidir (Manupati vd., 2021). Hindistan, Pakistan ve Bangladeş'ten gelen tıbbi

atık plastiğin pipet ve oyuncaklara dönüştürüldüğüne dair kanıtlar bulunduğundan geri dönüşüm süreçlerinin kontrolü önemli bir konudur (Ali vd., 2016; Jaffer S., 2013). Gelişmekte olan ülkelerde, özellikle şırınga ve diğer kesici alet atıklarının geri dönüştürülmesi nedeniyle sıklıkla yaralanmalar meydana geldiğinden çeşitli hastalık riski artmaktadır (Jaffrey, 2011). Araştırmalar, şırıngaların plastik veya camdan yapılmış diğer tehlikeli tıbbi malzemeler gibi geri dönüşüm yoluyla diğer ürünlere yeniden entegre edilebileceğini göstermektedir (Bucătaru vd, 2021). Röntgen bölümünde üretilen tüm kağıtlar ve kalıntılar, yerel yetkililerle iş birliği içinde toplanıp geri dönüştürülebilmektedir (Tsakona vd, 2007). Gübrelenebilir yemek servisi gereçleri ve kompostlanabilir çocuk bezleri, sağlık sektöründe popülerlik kazanan yeni malzemelerdir.

Tıbbi atıklar kaynaklarında ayrıştırılarak yüksek kaliteli kompost haline getirilerek ticari kompostlama tesislerinde kompostlaştırılabilirler (Colón vd., 2013). Alternatif atık geri dönüşüm tesislerinin işletilmesi, kompostlaştırma, ısı geri kazanımı veya biyo-gazlaştırma gibi yaklaşımlar, sağlık atıklarının depolama gereksinimlerini önemli ölçüde azaltacaktır. Zararlı olmayan organik tıbbi atıklar için kompostlama, biyo yakıt olarak kullanım veya çürütme sistemleri için tercih edilebilmektedir (Abylkhani vd., 2021). Ancak, plastiğin geri dönüştürülmesinin önündeki en büyük engel bulaşıcı atığın varlığıdır.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### YÖNTEM

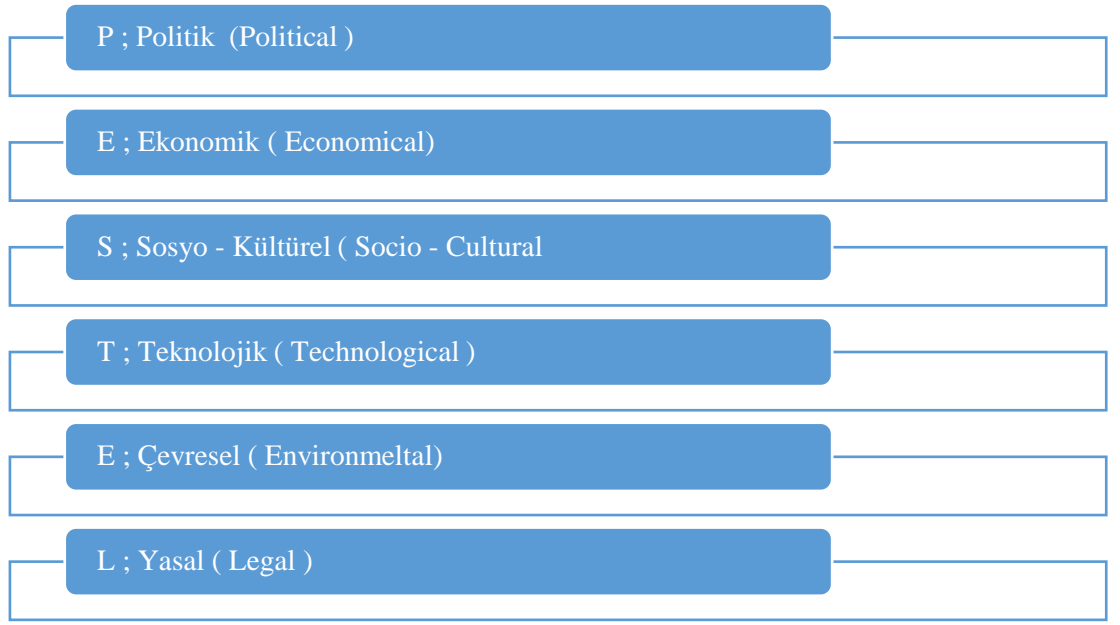
Bu çalışmanın amacı, tıbbi atık yönetiminin döngüsel ekonomiyle birlikte nasıl uygulanabileceğine ilişkin senaryo yöntemine dayalı yol haritasının oluşturulmasıdır. Önerilen araştırma adımları Şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3:** Araştırma Adımları

Şekil 3'te belirtilen araştırma adımları, tıbbi atık ve yönetimi ile döngüsel ekonomi kavramlarının literatür taraması, yol haritası ve sağlık sektörü ilişkisi, senaryo oluşturma metodolojisi, global durum analizi, senaryo planlaması, uzman görüşmeleri ve yol haritasının bir kombinasyonunu içermektedir.

Birinci adımda Şekil 3'te görülebileceği üzere global durum analizi için PESTEL (Song vd., 2017) kullanılmıştır. Şekil 4'te PESTEL analizinin uygulama adımları gösterilmiştir.



**Şekil 4:** PESTEL Uygulama Adımları

Şekil 4’te belirtilen adımlarla uygulamaya konulan PESTEL analizi genellikle bir eğilimin yönünün belirlenmesinde dış faktörlerin etkisini incelemeyi amaçlar ve belirli bir sektörü etkileyebilecek makro-çevresel faktörleri belirlemeye yönelik yapılandırılmış bir yaklaşımdır (Sandberg vd., 2016). PESTEL kısaltması İngilizce Political (Politik), Economical (Ekonomik), Socio-Cultural (Sosyo-Kültürel), Technological (Teknolojik), Environmental, (Çevresel), ve Legal (Yasal) ifadelerinin kısaltmasından oluşmaktadır. Çok yönlü bir yaklaşım olan PESTEL analizi, makro ortamda bulunan stratejik güçleri yakalamaya yardımcı olur ve organizasyonda karar vermeyi destekler (Pan vd., 2019; Song vd., 2017). Stratejik planlamada bir organizasyonun faaliyet gösterdiği makro-çevresel faktörleri analiz etmek büyük önem taşır ve irdelerken örneğin ekonomik koşulların siyasi koşullardan ayrı düşünmek imkansızdır. Bu nedenle PESTEL kullanan bir şirketin, kuruluşun makro-ortamını analiz ettiği çalışmasında, bütüncül bir bakış açısı elde etmek için PESTEL faktörleri arasındaki karşılıklı bağımlılıkları ve ilişkileri dikkate almak yön vermek açısından önemlidir (Yüksel, 2012). Bu analiz geleceği tahmin edemez ancak hangi dış etkileycilerin yol haritamızdaki öncelikler üzerinde etkisi olabileceğini belirleyebilir (Sızıgeti vd., 2011).

PESTEL analizinin mevcut biçimi, makro ortamın analizi için kavramsal açıdan önemli temel bilgiler sağlar ve bu yaklaşım genellikle niteliksel olarak



değerlendirilir. Bütüncül bir bakış açısıyla ele alınması gereken bir konu ise PESTEL faktörleri arasındaki ilişki ve etkileşimlerdir. Her makro çevresel PESTEL faktörünün bağımsız ölçümü ve değerlendirmesi gerçek durumu yansıtmayabilir. Örneğin, yasal düzenlemeleri veya ekonomik koşulları siyasi koşullardan ayrı düşünmek mümkün değildir. Siyasi bir durum ekonomik ve sosyo-kültürel sonuçlara yol açabilir (Eren, 2002). Sektörel bağlamda sıklıkla kullanılan PESTEL analizi öngörü alanında da kullanılmaktadır. PESTEL analizinin ana amacı belirli eğilimlerin geçmişi, bugünü ve geleceği hakkında bir fikir edinmektir. PESTEL analizi benzer şekilde geleceği etkileyebilecek eğilimlere yönelik yol haritalarının geliştirilmesi için kullanılabilir. Bu analiz, üretim için küresel eğilimlerin ilgili bölümlerine bakar ve küresel eğilimlerin bir alt kümesinden geliştirilen senaryo için teknoloji araştırma konularının önemini değerlendirmek üzere kanıtlanmış metodolojileri uygular. PESTEL analizi ayrıca, geleceğin değişimleri üzerinde doğrudan bir etkisi olmayan araştırma konularının dahil edilmesini gerekçelendirerek yol haritalarının gelişimini etkiler.

İkinci adım kullanılan entegre yöntem içerisinde senaryo oluşturmadır. Yol haritasını belirlemek için kullanılan tercihlerden biri olan senaryo yöntemi, Soğuk Savaş döneminde Herman Kahn'ın yaptığı çalışmasından başlayarak sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bir sistem teorisyeni ve askeri stratejist olan Kahn, senaryoları önce bir nükleer savaşın sonuçlarını düşünmek için askeri amaçlarla kullanmıştır (Kahn, 1965; Kahn & Wiener, 1967). Kahn'ın çalışmasının ardından, senaryo yöntemi teknolojidен ekonomiye, politikadan bilimsel çalışmalara kadar çok çeşitli alanlarda çok amaçlı olarak kullanılmıştır. Wack (1985) senaryoları *“Hızlandırılmış değişim, daha fazla karmaşıklık ve gerçek belirsizlik bağlamında yaratıcı öngörünün orijinal girişimci gücünü yeniden keşfetmek için bir disiplin”* olarak tanımlamaktadır. Senaryolar, geleceğin alternatif görüntülerini sağlamak amacıyla oluşturulurken kendi içinde tutarlı bir şekilde oluşturulmalıdır ancak eylem için politikaları ve stratejileri bilgilendirmeye yönelik gelecek görüntüleri sağlamanın ötesine geçmelidirler (Burmaoglu & Saritas, 2017). Senaryo oluşturmada amaç tıbbi atıkların döngüsel atık sistemiyle oluşturulacak yol haritasına yön vermektir. Bu maksatla yol haritası yöntemi ve sağlık sektöründeki uygulamalarından bahsedilmektedir.

Senaryo planlama en popüler öngörü yöntemlerinden biridir (Ramirez vd., 2015). Bir alandaki uzmanların içgörülerinin sistematik kullanımına izin veren ve çeşitli belirsizliklerin ortak etkisini keşfetmeye yardımcı olan geleceğe odaklı bir yöntemdir (Hussain vd., 2017). Senaryo planlama, geleceği tahmin etmekle ilgili değildir; bir organizasyonu bir dizi makul gelecek için hazırlamakla ilgilidir (Varum & Melo, 2010). Senaryo planlama, makul gelecek durumları tasavvur etme fırsatı sunar ve böylece riskleri azaltan stratejiler oluşturmaya, fırsatlardan yararlanmaya ve potansiyel tehditlerden kaçınmaya yardımcı olur (Ramírez & Selin, 2014). Senaryo planlama, farklı zaman ufuklarındaki planlama faaliyetlerine yardımcı olmak için uzun vadeli geleceğin bir görünümünü almakla ilgiliyken geleneksel planlama ise ya çok dar bir şekilde bugüne odaklanır ya da geleceğin 'tek nokta' tahminlerine dayanır (Burt vd., 2006). Senaryo planlamasının arkasındaki temel fikir, geleceğin birden çok makul görüntüde önceden tahmin edilmesidir.

Senaryo planlama sürecinde yol gösterici ilke, makul senaryolar geliştirmektir (Ramírez & Selin, 2014). Bu aşamanın nasıl gerçekleştirildiği konusunda çok fazla esneklik mevcuttur. İlk olarak, kaç senaryonun tanımlanması gerektiğine ilişkin farklı çalışmalar arasında önemli farklılıklar vardır. Geliştirilmesi önerilen senaryo sayısının 2 ile 8 arasında değiştiğini bulunmuştur (Amer vd., 2013). İkinci olarak, senaryoların temalarını belirlemek için tümevarım ve tümdengelim yöntemleri vardır. Tümevarım yaklaşımı, senaryoları belirsizlikler etrafında inşa etmeye dayanır (O'Brien, 2004). Tümdengelim yaklaşımı ise daha yaygın olarak kullanılmakla birlikte, bir önceki aşamada seçilenlerden iki belirsizliği dört alternatif senaryo oluşturmak için eşleştirmeye dayanmaktadır (Schwartz, 2012).

Yol haritası geliştirme ise tezin yönteminin üçüncü adımını oluşturmaktadır. Son otuz yılda, örgütler ve kurumlar için teknolojik tahmin, teknoloji stratejilerinin belirlenmesinde etkili bir araç olarak kabul görmekte ve uygun tekniklerin doğru seçilmesi ve uygulanmasıyla doğrudan bir ilişki içinde olmaktadır (Mishra vd., 2002). Şirketler ve kurumlar için teknoloji yönetimi, kuruluşlardaki potansiyel teknolojik kaynakların mevcut ve gelecekteki ihtiyaçlarla uyumlu olmasını sağlayarak etkin süreç ve sistemlerin uygulanmasını gerektirmektedir. Teknoloji zekâsı, tahmin, yol haritası, değerlendirme ve öngörü gibi teknoloji gelecek analizi (TGA) türleri, geleceğin teknolojisini ve sonuçlarını analiz etmek için kullanılır (Porter vd., 2004). Magruk'a

göre 117 teknoloji öngörü yöntemi vardır (Magruk, 2012). Bu yöntemlerden yol haritasının başarısı, teknoloji öngörüsü, teknoloji tahmini, veri taraması gibi yol haritasına benzer diğer tekniklerin oluşturulmasına ve benimsenmesine yol açmıştır (Groenveld, 1997). Bahsedilen tüm teknikler arasında yol haritası en popülerleri olarak öne çıkmakta ve geleceğin teknolojilerinin geliştirilmesini desteklemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Lee vd., 2013). Çağdaş yol haritası yaklaşımı ilk olarak 1980'lerde Motorola tarafından teknoloji ve yenilik arasındaki uyumu geliştirmek için kullanılmıştır (Willyard & McClees, 1987). Motorola yaklaşımı daha görünür hale geldikçe, kavramın tüketici elektroniği endüstrisinde kurumsal düzeyde özellikle İngiliz petrol şirketi BP (D. Barker, 1995) Philips (Groenveld, 1997) tarafından, sektörel düzeyde ise US Aluminium (Kenchington vd., 1997) şirketince benimsenmiştir (Saritas & Aylene, 2010). Yaklaşık yarım asırdır ulusal, sektörel ve şirket düzeyinde kullanılmaktadır.

Yol haritası, firmada teknoloji yönetimini ve planlamayı desteklemek için güçlü bir tekniğin temsili olarak tanımlanmaktadır (Phaal vd., 2001). Stratejik ve uzun vadeli planlamayı desteklemek, zaman içinde gelişmek, pazarlar, ürünler ve teknolojiler arasındaki ilişkileri keşfetmek ve iletmek için endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle grafiksel, esnek bir teknik olan yol haritası yaklaşımı, yenilik ve stratejiyi desteklemek için yönetim tekniklerini kullanarak uygulanmaktadır (Robert Phaal & Muller, 2009). Yol haritası, teknoloji stratejilerini iş stratejileriyle uyumlu hale getirmek için stratejik bir planlama aracı olarak uygulanır ve bu yöntem iş sürecinde, organizasyon yapısında ve iş kültüründe bazı değişikliklere yol açabilmektedir (Gerdri vd., 2010). Ayrıca, yol haritası, teknoloji yönetimini ve planlamasını desteklemek, teknolojik kaynakları, organizasyonların hedefleri ve değişen çevre arasındaki dinamik bağlantıları keşfetmek ve iletmek için güçlü bir tekniktir (Robert Phaal et al., 2004). Zaman içinde ürünler ve teknolojiler arasındaki etkileşimi tanımlayarak iş ve teknolojinin entegrasyonuna, ayrıca teknoloji stratejisinin tanımlanmasına katkıda bulunan sürekli devam eden bir süreçtir (Groenveld, 1997). Ayrıca, bilim ve teknoloji planlarının bir özetinin haritalar şeklinde temsili yol haritası olarak tanımlanmaktadır (Kostoff & Schaller, 2001).

Personelin katılımını ve öğrenmesini teşvik eden yol haritası, bilgi boşluklarını ve alınacak önlemleri belirlemektedir. Yol haritası, tipik olarak hem iş hem de

teknolojik süreçleri içeren çeşitli perspektifler arasındaki bağlantılarla birlikte keşfedilecek pazarların, ürünlerin ve teknolojilerin evrimini sağlayan zamana dayalı bir çizelgedir. Yol haritasının kendisi yapı ve konsept olarak basit olsa da bir strateji ve planlama sürecinin nihai çıktılarını temsil etmektedir. Ayrıca, yeni teknolojik yolların görselleştirilmesini zenginleştirdiği ve bir organizasyonda eylem odaklı bilgi yönetimini desteklemek için pratik bir araç olduğu için yol haritası önerilmektedir (Porter vd., 2004).

Daha iyi teknoloji yatırım kararlarının alınmasına yardımcı olacak bilgiyi sağlamak yol haritasının ana faydası olarak tanımlanmaktadır (Kostoff & Schaller, 2001). Benzer şekilde, yol haritaları hem neyin mümkün olduğuna dair projeksiyonlar hem de bir hareket tarzını ifade eden planlardır (Kappel, 2001). Yol haritaları, şirketlerin bilgi, süreç ve üretecek araçlara sahip olmasını sağlayarak entegre stratejik iş, ürün ve teknoloji planlarının geliştirilmesini ve uygulanmasını desteklemek için büyük bir potansiyele sahiptir. Ayrıca, yol haritaları iş ortamındaki potansiyel tehditleri, fırsatları belirleme ve değerlendirme ile planlama ufkunu genişletme açısından bir organizasyonun bakış açısını geliştirebilmektedir (Phaal, 2004).

Yol haritası, gelişmiş stratejik odak, daha yüksek geliştirme ve dağıtım hızı, daha tutarlı karar verme, daha iyi organizasyonlar arası entegrasyon, iletişim ve disiplin ile şirketlerin artan ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Karar alırken zaman ve kaynak israfını önleyerek belirsizlikle ilişkili risklerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Benzer şekilde, yol haritası şirketler içindeki ve şirketler arasındaki bileşenler hakkında bilgi sağlarken (Petrick & Echols, 2004), keşfedilecek pazarların, ürünlerin ve teknolojilerin gelişimini sağlamaktadır (Phaal vd., 2001). Her uygulamanın bir öğrenme deneyimi olduğu ve ele alınan belirli koşullara göre uyarlandığı esnek bir yaklaşım olan yol haritası, ürün ve teknoloji planlama köklerinin ötesinde iş stratejisini ve planlamayı desteklemek için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu yaklaşım esnek kabul edildiğinden bilgi boşluklarını ortadan kaldırmak ve örgütlerin yöneticileri tarafından alınan kararların kalitesini artırmak için tercih edilmektedir (Carvalho vd., 2013).

Strateji ve planlamanın geliştirilmesini ve iletişimini destekleyen geniş bir yaklaşım olan yol haritası, özel amaç ve durumlara uyacak şekilde oluşturulmalıdır. İş hedeflerine ek olarak, mevcut kaynaklar, zaman ve bilgi dahil olmak üzere yol

haritasının en iyi nasıl uygulanacağını etkileyen faktörler de olacaktır. Şirketler ve kurumlar için popüler bir tahmin yöntemi olan yol haritası sayesinde teknoloji tahmini gerçekleştirilebilmektedir (Hussain vd., 2017). Bu yaklaşım ihtiyaç ve fırsatların zaman içinde nasıl değiştiğine dikkat edilerek teknoloji, ürün ve pazar/uygulamanın entegrasyonu yoluyla gerçekleşmektedir. Bu yaklaşımda disiplinli bir ekip oluşturma ve işlevler arası iş birliği gibi süreç unsurları önemli olduğundan örgütsel öğrenme beklenmektedir. Yol haritası yaklaşımı genellikle teknoloji tabanlı şirketlerde bulunur ve teknolojiye yapılan yatırımların gelecekteki pazar fırsatlarından yararlanmak için gerekli yeni yeteneklerin geliştirilmesiyle uyumlu olmasını sağlamak için bir yöntem oluşturulmaktadır (Wells vd., 2004). Kısaca yol haritası kavramı, hem kısa hem de uzun vadeli ürün ve teknolojiyi dikkate alarak, ürünler ve teknolojiler arasındaki etkileşimi zaman içinde görüntüleyerek, iş ve teknolojinin entegrasyonuna ve teknoloji stratejisinin tanımlanmasına katkıda bulunan bir süreçtir (Groenveld, 1997). Ulaşılabilecek hedeflerin, engellerin, eksikliklerin giderilmesi için yapılması gerekenlerin belirlenmesi için bu yöntem tercih edilmektedir (Dabab vd., 2018).

Yol haritaları, geleceğe yönelik vizyonları çerçevesinde hükümetten ve iş dünyasından finansal kaynak çekerken yeni araştırmaları teşvik etmekte ve sınırları belirli bir alan için tüm olasılıkların değerlendirildiği bir envanter haline getirerek ilerlemeyi takip etmektedirler (Phaal, 2004). Yol haritası çalışmaları, senaryolarla birlikte geleceğin daha anlamlı hale gelmesini ve sistem düzeyinde ortak bir strateji oluşturmasını sağlamakta (Hussain vd., 2017), gelecekteki olası eğilimlerin tahmin edilerek ve firmanın mevcut teknoloji seviyeleri ile ulaşmak istediği ileri seviyeler arasındaki boşluklar belirlenerek, hangi teknolojilerin, ne zaman ve nasıl geliştirileceğine dair planlar belirlenebilmektedir (Geum vd., 2011). Walsh'a göre, günümüzde çoğu yol haritası yüksek teknoloji, dinamik sürdürülebilir teknolojilere odaklanmaktadır (Walsh, 2004).

Karar vermeye yardımcı olacak yol haritaları; bilim, teknoloji ve uygulamalar arasındaki yapısal ilişkileri tasvir etmek, karmaşık ve belirsiz ortamlarda faaliyetlerin ve kaynakların koordinasyonunu geliştirmek, stratejik alternatifleri belirlemek, değerlendirmek ve seçmek, istenen hedeflere ulaşmak, kaynakları çekmek, vizyonları iletme, araştırmayı teşvik etmek ve ilerlemeyi izlemek için kullanılmaktadır (Phaal, 2004).

Yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya olacak şekilde okunabilen, öngörü için geliştirilmiş çeşitli yol haritaları vardır (Barker & Smith, 1995). Bray ve Garcia, yol haritası türleri olarak ürün teknolojisi yol haritasını, gelişen teknoloji yol haritasını ve sorun odaklı yol haritasını karşılaştırmıştır (Bray & Garcia, 1997). Diğer araştırmacılar, Albright ve Schaller dört tür yol haritası türü belirlemiş olup bunlar; bilim ve teknoloji yol haritası, endüstriyel teknoloji yol haritası, kurumsal veya ürün teknolojisi yol haritası ve ürün/portföy yönetimi yol haritasıdır (Hussain vd., 2017). Saritaş ve Aylene, yol haritası türlerini bilim/araştırma yol haritaları, endüstriler arası yol haritaları, endüstri yol haritaları, teknoloji yol haritaları, ürün yol haritaları, ürün teknolojisi yol haritaları ve proje/konu yol haritaları olarak tanımlamaktadır (Saritaş & Aylene, 2010).

Karmaşık sistemlerin geliştirilmesi için haritalama yaparak öngörü sağlayan yaklaşım, teknoloji yol haritası yaklaşımıdır (Phaal vd., 2011). Uzun süredir yol haritalama alanında önde gelen araştırmacılardan biri olan Phaal ve arkadaşları, teknoloji yol haritasının sınıflandırılmasının planlama faaliyetinin amacına ve görsel biçimlerine bağlı olduğunu öne sürerek bu çeşitliliğin değişkenliğini savunmaktadır (Phaal vd., 2009). Teknoloji yol haritası oldukça katılımcı ve etkileşimli olmakla birlikte politika ve eylem odaklıdır (Saritaş ve Aylene, 2010). Tüm yol haritalama türleri arasında literatürde en çok kullanılan teknoloji yol haritası öne çıkmaktadır. Bu tür bir yol haritası, yoğun bir çevresel değişim ortamında şirket ve endüstri düzeyinde strateji, politika ve inovasyonun belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Burmaoglu vd., 2017). Ayrıca, bir dizi ürün ihtiyaçlarını karşılamak için teknoloji alternatiflerini belirlemeye, seçmeye, geliştirmeye ve uygun teknolojiyi uygulayarak bu yatırımlardan yararlanmak için kritik teknoloji planlama bilgilerini organize etmek ve yatırım kararlarını sunmak için bir çerçeve geliştirmeye yardımcı olan, ihtiyaç odaklı bir teknoloji planlama sürecidir. Uzman bir ekibi bir araya getiren bir sistemdir (Walsh, 2004). Ayrıca, destekleyici analizle birlikte teknoloji yol haritası, ihtiyaç duyulan temel teknolojileri belirlemenin güçlü bir yoludur (Probert vd., 2003).

Teknoloji yol haritası süreci, stratejik planlamayı desteklemek için son derece esnek ve güçlü bir tekniktir. Bu esneklik, birçok farklı bağlamda uygulanabilmesi bakımından hem güçlü hem de zayıf bir noktadır ancak çoğu zaman uygulamaya uyacak şekilde özelleştirilmesi gerekmektedir (Phaal vd., 2004). Yine de firma içindeki

iletişimi desteklemek ve iç sınırlar arasında ortak bir strateji ve planlama anlayışının geliştirilmesine izin vermek çok faydalı olacaktır (Phaal vd., 2003). Kuruluşlar ve şirketler, kâr elde etmek ve sürdürülebilirliği devam ettirmek için rekabet avantajı sağlayabilecek gelecekteki teknolojilerin ve ürünlerin araştırılmasını ve geliştirilmesini desteklemek için teknoloji yol haritalarını kullanmaktadır (Lee vd., 2013). Teknoloji yol haritası yaklaşımında, ürün planlamasının geleneksel uygulama alanının ötesinde, firmada strateji ve planlamayı desteklemek için büyük bir potansiyele sahiptir. Bir teknoloji yol haritasının, sürecini ve yapısını belirli şirket bağlamına ve amaçlanan hedefe uyacak şekilde özelleştirmesi gerekir. Her uygulama, sonuçları kesin olarak tahmin edilmesi zor olan bir öğrenme fırsatıdır (Phaal vd., 2003).

Teknoloji yol haritası sürecinde kullanılan yöntem ve teknikler farklılık gösterse de genel olarak bu teknikler kullanılmaktadır; bibliyometrik analiz (Saritas & Burmaoglu, 2015), beyin fırtınası (Holmes vd., 2004), anket (Kim vd., 2009), Delphi anketi (Robert vd., 2002), senaryolar (Saritas & Aylene, 2010), SWOT analizi (Sungjoo Lee vd., 2007), bibliyografik analiz (Rödel vd., 2009), patent analizi (Sungjoo Lee vd., 2009) ve analitik hiyerarşi süreci (Kim vd., 2009).

Yol haritası yaklaşımı iki bileşenden oluşmaktadır; bunlar uygulamanın kendisi yani yol haritası oluşturma süreci ve uygulamanın sonucudur yani yol haritası olarak bilinen bir haritadır (Carvalho vd., 2013). Yol haritası süreci, yol haritasının geliştirme sürecidir ve sürekli gelişmektedir (Kostoff & Schaller, 2001; Phaal vd., 2004). Bu nedenle yol haritasının tam değeri ancak firmanın veya kuruluşların zaman içinde karşı karşıya kaldığı değişen koşulları yansıtacak şekilde canlı tutulmasıyla gerçekleştirilebilir. Bu süreç yol haritasından daha önemlidir çünkü farklı alanlardaki uzmanların bilgi ve bakış açılarının paylaşılması, sorunların ve fırsatların değerlendirilmesi sayesinde yeni fikirler oluşur. Yol haritası sürecinde bilim adamları, halk sağlığı kuruluşları ve fon sağlayan kuruluşlar arasında yeterli iş birliği gerekmektedir (Kuehn, 2007).

Yol haritası süreci, birkaç ay boyunca katılımcılarla birden fazla toplantıda gerçekleşmektedir (Hussain vd., 2017). Yol haritası genellikle farklı uzmanlık ve ilgi alanlarını temsil eden insanları bir araya getirir ve katılımcıların aynı anda kendi disiplinlerinin mikro bir görünümünü ve ortak hedeflere ilişkin bir sistem görüşünü

benimsemelerine olanak tanıyan araçları kullanmaktadır (Coates vd., 2001). Bu nedenle, yol haritası sürecinin önemli bir faydası, pazar, ürün ve teknoloji gibi tüm seviyelerdeki bilgi boşluklarını belirlemek, bağlamsallaştırmak ve önceliklendirmek olacaktır (Phaal vd., 2003). Bu süreç, ortak bir gelecek vizyonu geliştirmek için uzmanları bir araya getirerek, engelleri ve çözümleri belirleyerek onlar için ortak hedefler oluşturarak, üzerinde anlaşmaya, rolleri ve eylemleri tanımlayarak ortak bir senaryo oluşturmak olarak kabul edilmektedir (McDowall & Eames, 2006). Yol haritası süreci, stratejik planlamayı desteklemek için son derece esnek ve güçlü bir teknik olduğundan, belirli bir uygulamaya uyacak şekilde özelleştirilmesi gerekmektedir (Carvalho vd., 2013).

Süreç için hedefler belirlemek, başarıyı değerlendirmenin bir yolu olarak önemlidir. Koordinasyon, sürecin sürekli olarak uyumlu hale getirilmesini sağlama ihtiyacı nedeniyle önemli bir unsurdur. Bu süreçte en önemli konulara iyi bir iletişimle odaklanılarak uzun vadeli planlar üretilmelidir (Albright & Kappel, 2003). Bu sürecin gelişiminde çok fazla enerji harcanmaktadır (Vojak & Chambers, 2004). Yol haritasının inovasyon veya kurumsal performans üzerinde önemli bir olumlu etkisi olduğundan, sürecin verimli yönetimi önemli bir husustur (Carvalho vd., 2013). Gelecekteki tahminler ve taleplerle ilgili belirsizlikleri ortadan kaldırmak ve bunları yol haritasının kendisinde iletmek için yol haritası süreçlerinin kullanılması faydalı görülmektedir (Phaal & Muller, 2009). Yol haritası sürecinde teknolojinin stratejik yönetimine katkıda bulunurken, araştırmaların yönü, ürün ve hizmetlerin birlikte evrimsel ve bütünleştirici planlamasına yönlendirilmelidir (Geum vd., 2011).

Yol haritası yapısı, süreç ve katılımın dikkate alınması da dahil olmak üzere dikkatli bir planlama ve tasarım gerektirmektedir (Phaal & Muller, 2009). İlk yol haritasının nasıl oluşturulduğuna ve nasıl sürdürülebileceğine, nasıl daha geniş bir alana genişletilebileceğine dikkat edilmelidir (Phaal, 2015). Yol haritasının teknoloji yönetimi, hem stratejik ve operasyonel karar verme ve eylem planlaması için faydalı bir araç hem de arzu edilen bir gelecekteki gelişme durumuna ulaşmak için girişimlerin yapıldığı normatif ve hedef odaklı bir yöntemdir. Yol haritasının uygulanabilir haritaları, kullanım amacına ve yol haritalarına bağlı olarak çeşitli formatlarda görüntülenebilmektedir. Tipik yol haritası formatı, katmanları, profilleri, ağ diyagramlarını, tabloları, grafikleri, piktogramları, tek katmanı ve metni içerebilir.



Tipik bir yol haritasının mimarisi genellikle yol haritasının amacına, içeriğine ve yönüne bağlı olarak farklı niteliklere sahip dört veya beş katman içermektedir (Saritas & Aylene, 2010). Yani, yol haritası süreci genellikle teknoloji ve ürünleri pazar fırsatlarıyla birleştiren bir planın çok katmanlı bir grafik temsilini içerir (Probert vd., 2003). Phaal vd. (2009) yol haritası sürecinde sekiz tür hedef olduğunu açıklamıştır. Bunlar; ürün, hizmet/yetenek, strateji, uzun süreli bilgi varlığı, program, süreç, planlama ve entegrasyondur. Ayrıca dört görsel format sınıflandırması vardır, bunlar; çoklu katmanlar (çubuklar ve tablolar), tek katmanlar (çubuklar, tablolar ve grafikler), resimsel (akış şemaları dahil) ve metin formatlarıdır (Phaal vd., 2009).

Yol haritası mimarisinin tasarımına paralel olarak, planlama aşamasında bilgi toplamaya, yapılandırmaya ve paylaşmaya, temel konuları belirlemeye, tartışmayı desteklemeye ve anlaşmaya varmaya özen gösterilmelidir. Örneğin, yol haritası modellerinden biri olan T-planı, bir organizasyonda "ilk kesim" yol haritası geliştirmek için bir yol haritası sürecinin mümkün olan en hızlı ve ekonomik şekilde nasıl başlatılacağına odaklanmaktadır. Yol haritası mimarisini tasarlarken, katmanlar birbirinden makul ölçüde bağımsız olmalı ve her katmanın tanımı genel olarak zaman içinde tutarlı olmalıdır, böylece tüm yol haritası boyunca gelişim ve evrim haritalanabilmektedir (Phaal vd., 2004).

Yol haritası süreçlerinde ürün planlama, hizmet planlama, stratejik planlama, uzun vadeli planlama, bilgi ve varlık planlama, program planlama, süreç planlama ve entegrasyon planlamasına yönelik uygulamaların gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir (Phaal, 2004). Yol haritası çalışmalarında önde gelen bir araştırmacı olan Phaal, pratik dört aşamalı bir yaklaşım önermektedir. Buna göre öncelikle ön incelemenin ardından gelecek pazarlar değerlendirilir, performans boyutları ile pazar ve iş faktörleri belirlenir ve gruplandırılır. Önceliklendirmenin ardından SWOT analizi (Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler) tartışılır ve ürün, teknoloji ve bilgi boşlukları belirlenir. İkinci aşama daha çok ürün odaklıdır ve bu aşamanın ana faaliyetleri ürün özelliği kavramlarının oluşturulması, gruplama, etki sıralaması ve boşlukların analizidir. Üçüncü aşamada, teknoloji çözümleri üretilir ve gruplandırılır, etki sıralaması yapılarak boşluklar belirlenir. Son aşama, temel hedefleri ve durumları, ürün ve teknoloji çizelgelerini, kaynak tanımlamayı, boşluk analizini ve son olarak gelecek planlarını belirlemeyi içermektedir (Phaal, 2005).

Bray ve Garcia süreci ön faaliyet, yol haritası geliştirme ve takip faaliyeti olarak üç aşamada belirlerken, Groenveld yedi aşamalı bir süreç geliştirmiştir (Bray & Garcia, 1997; Groenveld, 1997). Buna karşılık, Phaal tarafından geliştirilen T-Plan, yol haritasının üç aşamada hızlı bir şekilde planlama, yol haritası oluşturma ve kullanıma sunma olarak ifade edilmektedir (Geum vd., 2011).

Sarıtaş ve Aylene (2010), yol haritası sürecinde üç önemli soruyu tanımlıyor; “Bu yolda nereye gitmek istiyoruz?”, “Hedefimize ulaşmanın yolları nelerdir?”, “Bundan sonra ne yapmalıyız?”. Sistemik bir yol haritası sürecinde ön faaliyet, yol haritası geliştirme ve takip faaliyeti aşamalarının ne olduğunu belirtmektir. Ön faaliyette, uzmanların ve paydaşların katılımını sağlamak ve yol haritası sürecini kolaylaştırmak için kullanılan donanım ve yazılım gibi gerekli altyapının hazırlanması hazırlık çalışmalarını içerir, ardından yol haritasının kapsamı ve sınırları belirlenmektedir. Yol haritası oluşturulmadan önce senaryo planlama, vizyon oluşturma ve gelecekteki pazarların, ürünlerin ve teknolojilerin belirlenmesi gibi konular oluşturulmalıdır.

Bir sonraki adım yol haritasının geliştirilmesi sırasındaki tartışmalar ise belirlenen vizyonlar, ihtiyaçlar ve sorunlar etrafında düzenlenmektedir. Yol haritasının odağını belirlerken nelerin dahil edilip edilmemesi gerektiğine karar verilmektedir. Hedef seviyelere ulaşıp ulaşılmadığını değerlendirmek için ölçülebilir seviyelerin belirlenmesi gereklidir. Ardından pazar, ürün ve teknolojideki boşluklar belirlenir. Alternatif ürünler ve teknolojiler, zaman çizelgeleri ile tartışılır. Yol haritasının oluşturulmasının ardından, finansmanı güvence altına almak, insan kaynakları ve ekipmanı planlamak ve tedarik zincirlerini organize etmek için stratejik ve operasyonel düzeyde stratejilerin ve kaynak planlamasının geliştirilmesine yol açan bir yol haritası raporu üretilmektedir.

Yol haritası sürecinde, yol haritasını eleştirmek ve doğrulamak için birkaç takip adımı atılır. Bir yol haritası genellikle uygulama planı ile alınacak strateji ve eylemleri de içeren gerekçeyi açıklayan bir raporla sunulur ve ilgili taraflara dağıtılır. Bu eylemlerin gerçekleştirilmesinin ardından hem ilerlemeyi izlemek hem de yol haritasının güncellenmesi ve gelecekteki yol haritası faaliyetleri için dersler çıkarılması için gözden geçirme ve değerlendirme prosedürünün yürütülmesi faydalı olacaktır (Sarıtaş & Aylene, 2010).

Teknoloji yol haritası genellikle düz bir çizgi projeksiyonu veya tek bir senaryo varsaydığından, özellikle daha uzun süreler boyunca sistemik ve ani değişiklikler karşısında daha az kullanışlı hale gelebilmektedir (Strauss & Radnor, 2004). Yol haritası yaklaşımı, ele alınan iş sorunlarıyla eşlendiğinden işbirlikçi ve yinelemeli bir tasarım faaliyeti yoluyla elde edilmemiştir ancak bu durum karmaşık olabilir ve özel uzmanlık eksikliğinden dolayı benimsenmesinin önünde bir engel oluşturabilir (Phaal vd., 2004).

Bir yol haritasındaki temel zorluk onu canlı tutmaktır ve bu zorluğun üstesinden gelmek için yol haritasının operasyonel hale getirilmesi ve etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir (Vatananan & Gerdri, 2012). Yol haritaları keşfedici olmaktan ziyade normatif yani kurallara dayalıdır, daha fazla paydaş katılımı ile ele alınmasına rağmen yaratıcılık, iletişim ve iş birliği (Konnola vd., 2009; Loveridge & Saritas, 2009) ve yenilik potansiyeline çok az yer verdiğinden doğrusal ve izole düşünmeyi teşvik etmektedir (Kostoff vd., 2004). Yayılması zordur çünkü sadece uzmanlar çıktıyı anlayabilmektedir. Yol haritalarının bu eksikliklerinin bir kısmının yol haritası sürecinde senaryolar kullanılarak giderilebileceği öngörülmektedir. Yol haritası popüler olmasına ve yaygın olarak kullanılmasına rağmen tek bir geleceğe odaklanma eğiliminde olabilmektedir (Saritas & Aylene, 2010). Yol haritaları biçim olarak basit görünse de kapsam olarak genişlerse ve karmaşık bir kavramsal ve insan etkileşimleri yelpazesini kapsarsa geliştirilmeleri zor olabilmektedir (Phaal, 2004).

Yol haritasının grafik biçimi güçlü bir iletişim mekanizmasıdır ancak bilgiyi yüksek oranda sentezlenmiş ve yoğunlaştırılmış bir biçimde sunabilmektedir. Bu nedenle yol haritası uygun belgelerle desteklenmelidir (Phaal, 2004). Önemli finansman ve zaman gerektirse de yol haritası planı gelecekteki gelişmelere uyarlanamayabilir. Yol haritalama sürecinde çözümlere ulaşmak için gereken kilit platformlar, süreçler ve teknolojiler, diyagramlar, zaman çizelgeleri, kilometre taşları, yatırım gereksinimleri ve kaynak tahminleri, teknoloji, talep tahminleri ve risk analizleri çözülmesi gereken zorluklardır (Masum vd., 2010).

Yol haritası uygulaması son yıllarda şirketler, hükümetler ve diğer kurumlar tarafından benimsenerek popüler hale gelmiştir (Carvalho vd., 2013). Özellikle işbirlikçi teknoloji; tüm sektörlerde kurumsal planlama ve koordinasyon için yol haritaları sıklıkla kullanılmaktadır. Teknoloji seçimine rehberlik edecek ürün

ihtiyaçlarını belirler, bu ihtiyaçları karşılayabilecek teknoloji alternatiflerini belirler, uygun teknoloji alternatiflerinin seçilmesine yardımcı olur ve bu teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması için bir plan oluşturulmasını ve uygulanmasını sağlar (Bray & Garcia, 1997). Genellikle hükümetler, firmalar veya kuruluşlar, kaynaklarına, yeteneklerine ve ürünün sağlayacağı yatırımın beklenen getirisine dayalı olarak yeni bir ürün geliştirip geliştirmemeye karar verirler ve bu ürünler beklenenden daha uzun bir süre boyunca getiri ve sürdürülebilir yatırımlar sağlamaya çalışmaktadır (Petrick & Echols, 2004).

Sonuç olarak, yol haritası teknolojinin stratejik yönetimini desteklemek için en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Yol haritası oluşturma birçok kuruluş tarafından uzun süredir uygulanıyor olsa da aşırı esnekliği şirketleri ve kurumları bu yaklaşımı benimseme konusunda tereddütte düşürmekte, böylece yayılma süreci nispeten yavaşlamakta ve bu nedenle yol haritalarının özelleştirilmesi gerekmektedir (Sungjoo Lee & Park, 2005). Yol haritalarının özelleştirilmesi sağlık alanında olduğu gibi tüm sektörlerde de uygulanabilmektedir. Yol haritaları, sağlık sektörü önceliklerinin dikkate alınmasını sağlamak için firma düzeyinde strateji için faydalı bir bilgi kaynağı sağlamaktadır (Phaal, 2015). Yol haritalama teknikleri, endüstrilerde mevcut yapıların sistematik bir şekilde anlaşılmasını araştırmak ve geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sağlık sektöründe, nadiren de olsa hizmetleri incelemek için etkili bir yöntem sağlamaktadır (Hamilton vd., 2017).

Birçok firma yeni inovasyonlar için bir yol haritası sürecinden yararlanmaktadır (Tierney vd., 2013). Son yıllarda sağlık alanında yaşanan gelişmeler ve değişimlerle birlikte sağlık hizmetleri sektörü de yol haritalarından yaygın olarak yararlanmaktadır. Çoğu sağlık yöneticisi için sağlık sistemlerinde mevcut olan veri ve bilgiler, tahmin için önemli bir unsurdur (Lee vd., 2015). Yapılan bir akademik çalışmada, bir yol haritası kullanılarak çocuklarda kas koordinasyonu bozukluğu, iskelet ve kas sistemi dengesizliğini içeren pediatrik nöro rehabilitasyon alanında hizmet geliştirmeye yönelik bir öncelikler listesi geliştirilmiş ve sağlık alanında faydalı bilgiler sağladığı gösterilmiştir (Hamilton vd., 2017). Sağlık araştırmalarında, sağlık ekosistemlerinin yüksek potansiyellerine ulaşmaları için IoT ve yol haritaları ile çalışarak standardizasyon ve derinlemesine pazar araştırması sağlanabilir (Fernandez & Pallis, 2014). Basit prototipler, teknolojinin olgunlaşması gibi sağlık uygulamaları

için işlevsel yol haritaları oluşturan çalışmalar bulunmaktadır (Friedewald & Da Costa, 2003). Bir başka örnek de sağlık alanında yol haritası sürecinde bir yönetici tarafından ortaya konmuş, radyo frekansı tanımlama teknolojilerinin ev izleme cihazlarına entegre edilebileceği, böylece hastaları izlemek için ihtiyaç duyulan verilerin çoğunun toplanmasına gerek kalmayarak, hastane ortamında tasarruf, konfor ve maliyet sağlanabileceği ortaya koyulmaktadır (Hussain vd., 2017). Araştırmacılar tarafından 2003-2020 yıllarını kapsayan önleme, tedavi, bakım ve sağlık yönetimini içeren sağlık uygulamaları için işlevsel bir yol haritası geliştirilmiştir (Friedewald & Da Costa, 2003). Sağlık verilerini, engelliler ve yaşlılar için her yerde bulunan giyilebilir bir bilgisayar veya akıllı bileklikler ile ölçerek tıbbi bakımdan yeni bir paradigma sunan U-sağlık firması hizmeti için ürün, hizmet ve teknolojik bileşenleri içeren bir yol haritası geliştirilmiştir (Lee & Park, 2005). Benzer şekilde, sensör ağları tarafından engelliler ve yaşlılar için sağlanan tıbbi bakımı inceleyen ürün-hizmet entegre yol haritaları bulunmaktadır (Geum vd., 2011)

Avrupa'da, toplumun hem hastalık sırasında hem de yaşlılıkta daha kaliteli bir yaşam sürmeye yönelik meşru arzusuna bağlı olarak, tıbbi teknolojideki gelişmeler için finansal olarak sürdürülebilir ve yüksek kaliteli sağlık teknolojilerine adil erişim amacıyla yol haritası çalışmaları yürütülmektedir (Braun vd., 2003). Yol haritası metodolojisinin benimsenmesiyle, sağlık yönetimindeki gelişmelere bağlı olarak 2010-2020 dönemi için IoT teknolojilerini (örneğin, Radyo Frekansı Tanımlama, RFID ve Kablosuz Sensör ve Aktüatör Ağı, WSN) içeren bir yol haritası geliştirilmiştir (Cheng vd., 2014; Fernandez & Pallis, 2014). Ayrıca yol haritasının amacı mobil tabanlı bir U-sağlık hizmeti geliştirmek olduğundan, akıllı telefonların ürün alternatifi olarak yer alması gerektiği düşünülmektedir (Lee & Geum, 2017).

Sağlık hizmetlerinde makine öğreniminden etkin bir şekilde yararlanmak için, belirli adımlar izlenerek ve ilgili uzman paydaşları sürece erken dahil ederek pratikte makine öğrenimini benimsemeye odaklanan bir yol haritası geliştirilmiştir (Wiens vd., 2019). Ayrıca sağlık hizmetlerinde ırk ve etnik farklılıkları azaltmak için bir yol haritası uygulanmıştır (Chin vd., 2012). Dünya Sağlık Örgütü, özellikle düşük gelirli ülkelerde aşılama programlarının yükünü azaltmak amacıyla sıtma aşısının geliştirilmesi için bir yol haritasının geliştirilmesine katkıda bulunmuştur (Moorthy vd., 2013). Sıtma Aşısı Teknolojisi yol haritası örneğinde, 35 ülkeden 100'den fazla

kuruluşun uzmanlığı kullanılarak bir sıtma aşısı geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda standart bir immünolojik test kitinin geliştirilmesi, bilgi paylaşım araçlarının oluşturulması gibi 11 öncelikli alandan bahsedilirken, zaman çizelgeleri, gereksinimler ve aktivasyon teknolojileri tartışılmıştır (Kuehn, 2007).

Yukarıdaki örneklere ek olarak, sağlık alanında yapılan farklı yol haritası örnekleri de mevcuttur. Böbrek yetmezliği tedavisinin yeniliği için tahmini zaman çizelgeleri sağlayan bir yol haritası oluşturulmuştur (Bonventre vd., 2019). Bir çalışmada sağlık sektöründe büyük veri teknolojileri için bir teknoloji yol haritası geliştirilmesi amaçlanmıştır (Zillner vd., 2014). Asya kıtasında bulaşıcı hastalıklarla mücadele potansiyelini anlamak için yeni teknolojilerin ortaya çıkarıldığı bir yol haritası projesi yürütülmüştür (Van Doorn, 2017). En gelişmiş yol haritası çalışmalarından biri, sağlık ve çevre alanlarını içeren yarı iletkenler için uluslararası teknoloji yol haritasıdır (Devised vd., 2009).

Yukarıda verdiğimiz örnekleri göz önünde tuttuğumuzda tıbbi atığın döngüsel ekonomi prensiplere esasen oluşturacağımız yol haritasının belirlenmesi için kullanılan yöntem ve teknikler farklılık göstermektedir. Teknoloji yol haritasının birtakım sınırlılıkların etkilerini en aza indirmek için teknoloji yol haritasının diğer öngörü yöntemleriyle birleştirilmeye çalışıldığı gözlemlenmiştir. Yürütülen tez çalışmasında Saritas & Aylene (2010)'in öncüsü olduğu senaryo tabanlı yol haritası yöntemi uygulanmıştır.

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### UYGULAMA

Uygulama aşamasında belirlenen yöntem uygun olarak bulgular bu bölümde aktarılmıştır. Şekil 4'te gösterilen uygulama adımlarını takip ederek öncelikle mevcut global durum PESTEL analiziyle aktarılmış ve bu analize dayalı senaryolar oluşturulmuş, akabinde uzman görüşmeleri ışığında yerel durum analizi anlatılmış, yol haritası yöntemine göre yol haritası kanvası oluşturulmuş ve son olarak uzman görüşmeleri ve literatür sentezi ışığında tıbbi atık yönetiminin döngüsel ekonomi açısından yol haritası belirlenmiştir.

#### 4.1. PESTEL Analizi ile Global Durum Değişimleri

Her ülke için acil tıbbi hizmetleri sağlamak ve ani gelişen pandemi, yangın, deprem, tsunami, sel ve diğer afetler gibi olağanüstü durumlarda sağlık tesisi kurmak ve bu tesislerin sağlık çalışanı ve tıbbi ürün lojistiğini sağlamak günümüzde en önemli ihtiyaçlardandır. Olağanüstü dönemlerde sağlık hizmeti ihtiyacı olan enfekte hastaları iyileştirmek ve enfeksiyonun tüm toplumda yayılmasını engellemek, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve tüm hükümetler için önemli zorluklar olarak ortaya çıkmaktadır. Enfeksiyonun yayılmasını kontrol etmedeki kritik adımlardan biri, sağlık hizmeti merkezlerinden gelen sağlık hizmeti atıklarının daha dikkatli bir şekilde ele alınması olmuştur. Bu nedenle, sağlık çalışanlarının bilgisi ve buna bağlı olan tıbbi atık yönetimi, tüm olağanüstü durumlarda hastalıkların yayılmasını kontrol etmede çok önemli hale gelmiştir.

PESTEL analizi sayesinde makro perspektiften mevcut tıbbi atık yönetim sistemi üzerinde oluşan ekstra yük de dahil olmak üzere tüm durumun anlaşılmasına yardımcı olunabilecektir (Mkude vd., 2015). Bu çalışma bağlamında ise COVID-19 dönemi ve etkileri bir sınırlılık olarak ele alınmıştır. Bu sınırlılık kapsamında, tıbbi atık ve döngüsel uygulamalar ile Şekil 4'te gösterilen PESTEL analizinin aşamaları

olan Politik, Ekonomik, Sosyo-Kültürel, Teknolojik, Çevresel ve Yasal temalar ilgili literatür bulguları sentezlenerek sırasıyla incelenmiştir.

PESTEL analizinin ilkinde politik açıdan tıbbi atıklar için ticaret politikaları, finansman, hibeler ve girişimler, geliştirilmesi gereken konular, kurumlar ve süreçlerin incelenmesi beklenmektedir. Bunlarla birlikte hükümetlerin öncü çevre ve sağlık politikaları, yeşil mutabakatlar, Avrupa Birliği ile ilişkiler, Dünya Sağlık Örgütü ile koordinasyon, bölgesel ilişkiler, demokratikleşme süreçleri, siyasi istikrar ve tıbbi atık yönetimindeki gelişmeler gibi konular güncel durumları değerlendirilecektir. Politik boyut ele alındığında, hükümetlerin özellikle üretilen yan ürünlerin işlenmesiyle ilgili talebi ve desteği konusunda döngüsel ve sürdürülebilir uygulamalar önem arz etmektedir (Thakur & Mangla, 2019; Townend vd., 2009). Düzenleyici kurumlar aracılığıyla, salgını sırasında tıbbi atık yönetiminin ele alınmasına yönelik yasal çerçevenin oluşturulması ve izlenmesi için siyasi müdahaleler gerekli hale gelmektedir (Song vd., 2017). Ayrıca hükümetler, döngüsel sağlık sektörü alanında araştırma ve geliştirme faaliyetlerini teşvik etmektedir. Atık bertarafını yapan şirketlere işleyicilere vergi avantajları ve fiyat sübvansiyonu, gelişmekte olan özel ekonomik bölgelere mali sübvansiyonlar sağlanması gerekmektedir (Mkude vd., 2015; Rothan & Byrareddy, 2020). Dünya çapında tüm hükümetler, daha iyi sağlık altyapısı ve döngüsel tıbbi atık yönetimi geliştirmek ve hükümet üzerindeki mali yükü hafifletmek için kamu-özel ortaklığı modelini benimseyerek sağlık sektöründeki özel yatırımcıları davet ederek ve yatırımları destekleyebilmektedir (Song vd., 2017). İstikrarlı hükümetler verimli bir sağlık sistemi geliştirmek için döngüsel ve sürdürülebilir siyasi politikalar sağlama gayretine girmektedirler (Zorpas, 2020). Devletlerin sağlık tesislerinde, tıbbi atık yönetimi uygulamalarında oldukça eksiklik mevcuttur (Aung vd., 2019). Bu sebeple, dünya çapındaki hükümetlerin virüslü hastalarından gelen tıbbi atıkların cinslerine göre ayrıştırılmasına ilişkin politikalar geliştirmesi ve normal atıklardan ayrı olarak tıbbi atık merkezlerine yönlendirilmesinin sağlanması gerekmektedir.

İkinci olarak ise ekonomik boyut açısından genel olarak yurt içi ve yurt dışı ekonomik verileri, trendler, vergi değişiklikleri, yatırım teşvikleri, para politikası, maliye politikası, yabancı yatırımlar, enerji maliyeti gibi konular incelenmektedir. Tıbbi atığı ilgilendiren ekonomik boyut kapsamında, sıkı ekonomi politikaları kullanarak uygulanabilecek döngüsellik ve dolayısıyla sürdürülebilirlik tıbbi atık



yönetim sisteminin nirengi noktalarındandır (Thakur & Ramesh, 2015). Literatürde, artan yatırımlar ve maliyetlere rağmen sağlık çalışanları için güvenli bir ortam ve ekonomik refahın döngüsellik uygulamalarıyla gerçekleştiği, tıbbi atık yönetim sisteminin etkinliğinin arttığına dair bilgiler mevcuttur (Bennett, 2013; Podein & Hernke, 2010). Dünyada sağlık sistemindeki ekonomik sürdürülebilirliği hedeflerken, sağlık hizmetleri de bu duruma dahil olmak için tıbbi atık yönetim hizmetlerini döngüsellemeye odaklanmaktadır (Caniato vd., 2015). Hükümetlerin döngüsel atık yönetim sisteminin geliştirilmesine yönelik yatırım politikalarına müdahale etmesi, kamu-özel ortaklığı modeli, yap-işlet-devret projeleri, işletme ve bakım projeleri, özel ekonomik bölgeleri teşviki gibi konular ön plana çıkmaktadır (Song vd., 2017).

Birleşmiş Milletler İnsan Hakları Konseyi'nin özel raporunda, tıbbi atıkların sağlıksız ve uygun olmayan yönetiminin ve bertarafının yaşam hakları üzerindeki olumsuz etkilerine odaklanmakta, tıbbi atıkların bertarafı için ilgili sorumlu tüm paydaşların güvenli ve çevreye duyarlı iyileştirmeler yapmak için dikkate alabilecekleri ekonomik önlemler dahil ek önlemler tavsiye etmektedir (Human Rights Council, 2011). Sağlık hizmetleri atık yönetimi maliyetlerinin küresel büyüme oranının 2018'de 11.77 milyar dolardan 2026'da 17.89 milyara yükseleceği ve yıllık %5.3'lük bir bileşik büyüme oranı olacağı tahmin edilmektedir (Singh vd., 2021a). Dünya Sağlık Örgütü bir raporunda, 24 düşük gelirli ülkede bertaraf tesislerinin yalnızca %58'inin sağlık hizmeti atıklarını güvenli bir şekilde imha ettiği sonucuna varmış, tıbbi atık yönetimi ve gelişmişlik düzeyinin doğru oranda artacağı belirlemiştir (WHO & UNICEF, 2015).

Sağlık hizmetlerine ve tıbbi atık yönetimine yapılacak yatırımlar, gelecekteki salgın ve afetler gibi ani gelişen durumlarla mücadelelerde yardımcı olacaktır. Bu nedenle, döngüsel ekonomi kapsamında devlet yatırım politikalarının gözden geçirilebileceği, vergi yapısının düzenlenerek döngüsel sistemler için vergilerin düşürülebileceği, tıbbi atık imha ve bertaraf maliyetlerini azaltmak için döngüsel sistemlere geçilerek ekonomi politikalarına yön verilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Üçüncü olarak, sosyo-kültürel açıdan tıbbi atıkların tüketici tutumlarındaki etkisi, satın alma kalıplarındaki değişimler, atık ve tıbbi atık eğitim seviyesi, aşırı nüfusun tıbbi atığa etkisi, tıbbi atık çalışanlarının istihdamı, yaşlanan nüfusun sağlık

ve tıbbi atık sistemine etkisi, toplum için halk sağlığının sŸrdŸrŸlmesi için tıbbi atık eğitimleri, atıklar için vatandaşlık bilinci oluşturma ve kurallara uyma gibi hususlar incelenmektedir. Son dönemde yaşanan gelişmelerle birlikte tıbbi atık kavramı ve tanımı da değişmektedir. Daha önce bulaşıcı tıbbi atık olarak kabul edilmeyen ancak hastalarla temas ettikten kısa bir sŸre sonra oluşan gıda atıkları ve diğer kırtasiye malzemeleri gibi bazı atıkların bulaşıcı atıklar gibi ele alınması gerekmektedir. Evlerinde iyileşen insanların veya semptomlara sahip hastaların çöplerini ortak çöp kutularına atmasıyla enfeksiyonun tŸm topluma yayılabileceği, yani tıbbi atıklarının sadece hastanelerle sınırlı olmadığı belirtilmektedir (WHO, 2020b).

Ani gelişen salgın ve afetlerin etkisiyle oluşan tıbbi atıkları, toplum ve çevreden, sağlık çalışanlarından korumak için tersine tedarik zincirinin rolŸ çok önemli hale gelmiştir (Yu vd., 2020). Araştırmacılar, operasyon maliyetlerini en aza indirmek için tersine tedarik zincirlerini optimize etmeye odaklanmaktadırlar (Budak & Ustundag, 2017). Pandemi ise tedavi merkezlerindeki sağlık çalışanları ve hastaların neden olduğu enfeksiyonların yayılmasını kontrol etmeye daha fazla odaklanmayı gerektirmiştir.

nemli miktarda tıbbi atığın, geçici olarak inşa edilen COVID-19 sağlık tesislerinden çıkması nedeniyle benzeri grŸlmemiř bir oranda artış yaşanmıştır (WHO, 2020c). Artan hasta sayısı da gŸnlŸk olarak daha yŸksek miktarda bulaşıcı atığın oluşmasına neden olurken tıbbi atık arıtma tesislerinin bertaraf kapasiteleri sınırlı oluşu bazı toplumları salgına karşı mŸcadelede zorlamıştır (Calma, 2020; Song vd., 2017). Hindistan'da KKE kitleri, maskeler, eldivenler, yŸz siperlikleri gibi tıbbi atıkların açık alanlara bertaraf edildiği grŸlmŸřtŸr (Sun vd., 2020). DŸnya Sağlık rgŸtŸ (2020c), **pandemi** sırasında kullanılacak tek kullanımlık ŸrŸnler konusundaki farkındalığın dŸřŸk olmasının toplum için önemli bir tehdit oluşturduğuna da dikkat çekmektedir. Bu nedenle ilgili hŸkŸmetler, sağlık çalışanlarını enfekte olmuş hastalardan gelen bulaşıcı atıkların işlenmesi konusunda eğitmeye odaklanmaktadır.

Ayrıca, **pandemiyle** tŸketicilerde davranışlarında meydana gelen değişikliklerle birlikte, panikle satın alma tepkileri grŸlmŸřtŸr. İnternet Ÿzerindeki alışveriş siteleri ve marketlerden alışverişlerinin kolaylığından dolayı gıda ve ambalaj atıkları artmıştır. Personel koruyucu ekipmanları, tıbbi ambalaj atıkları ve tek kullanımlık plastik poşetlerin aşırı kullanımından kaynaklı olarak Ÿretilen atıklarda artış gerekleşiğinden

global çapta atık yönetiminde büyük bir zorluk yaşanmıştır (Raja vd., 2020). Tüm dünyayı her açıdan etkileyen bu pandemi döneminde çoğu insanda gerçekleşen davranış modelleriyle birlikte sosyal aktivitelerde, üretim ve tüketimde, hijyen davranışlarında, seyahat modellerinde de değişiklik gerçekleştiğinden kirlilik oranı ve çevre kalitesi üzerinde önemli bir etki yaratmıştır (Klemeš vd., 2020; Tripathi vd., 2020). Değişen tüketici davranışları ve alınan önlemlerin sağlık güvenliği ve sistemlerinin sağlamlığını artırmasının beklendiği, kaynak ve ürün tedariki için mevcut sistemlerin ve sağlık ürünlerinin tasarım ve çalışma felsefesinin değiştirilmesi, yeniden dizayn edilmesi gibi hususlara ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir (Sabev vd., 2020). Doğal kaynakların sürekli tükenmesi sürdürülemez olduğundan, bu zorluğun üstesinden gelmek için yalnızca belediye katı atıklarının arıtılmasına odaklanan klasik doğrusal atık yönetim sistemlerinden atık ve malzeme yönetimini birleştiren, kaynakların sürdürülebilirliğini teşvik eden döngüsel atık yönetimine geçiş ve buna yönelik atık önleme politikaları uygulanması ön plana çıkmaktadır (Cobo vd., 2018).

Dördüncü olarak ise teknoloji açısından internet, ulaşım veya biyo teknoloji ve yeni tıbbi atık bertaraf sistemleri gibi teknolojik yeniliklerin olgunluğu, öğrenmenin, iş birliği yapmanın ve sosyalleşmenin yeni yolları incelenmektedir. Ayrıca, stratejik hammadde kıtlığından kaynaklı tıbbi ürünlerin üretmenin zorluğu ve buna bağlı enerji arz güvenliği, devletlerin teknolojik yatırım politikaları, yeni patentler, devletlerin araştırma ve geliştirme faaliyetlerini desteklemesi, yeni teknolojilere uyum ve teknolojideki değişim hızı incelenmektedir.

Salgın ve afetlerin sonrasında artan sağlık hizmetleri ihtiyacıyla ani şekilde ortaya çıkan tıbbi atıkların yönetimi için belirlenecek özel atık yönetim planlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu planlar, bertaraf tesisi kapasitelerini dikkate alarak teknik bilgiye sahip tıbbi atık çalışanlarının ve tıbbi atık uzmanlarının görüşlerine bağlı olarak en son teknolojiler değerlendirilerek geliştirilmektedir (Caniato vd., 2015). Atık izleme sistemleri, üretim, toplama, nakliye ve nihai imhaya kadar hastalarının tedavisinden çıkan her bir tıbbi atığı takip edecek şekilde tasarlanmaktadır (Caniato vd., 2015; J. Wang vd., 2020). Ayrıca, sağlık hizmeti tesisleri başta olmak üzere tüm atık depolama yerlerinin sık sık ve düzenli olarak dezenfekte edilmesi, dronlar, temassız temizleme makineleri vb. gibi yenilikçi temassız teknikler kullanılması gerekmektedir.

Tıbbi atıklar ve tek kullanımlık plastikler özellikle sağlık hizmetlerinde enfeksiyona karşı hayatımızı korusa da fazla sayıda tüketilmektedir. Bu atık plastikleri, dögüsel ekonomi perspektifi ile plastik geri dönüşüm süreçlerine ve biyo-bazlı bozulabilir plastikler gibi çevre dostu alternatiflere doğru dönüştürmek çok önemli hale gelmiştir. Yüksek/düşük ısı teknolojileri ve kimyasal dezenfeksiyon tıbbi atıklar için en etkili dezenfeksiyon teknolojilerindedir. Kuru ısı, buharlaştırılmış hidrojen peroksit, ozon ve UV ışığı ile KKE'lerin yeniden kullanımının mümkün olduğu görülmüştür (Rowan & Laffey, 2021). Tıbbi atıkların bulaşıcı ve tehlike potansiyeli nedeniyle dikkatli bir şekilde bertaraf edilmesine kademeli olarak odaklanmaya başlanılmış ve çeşitli teknolojiler üzerinde çalışılarak geliştirilmektedir (Moreira & Günther, 2013). Bu teknolojilerden biri olan piroliz ile yüksek kaliteli biyo-ürünlerin üretilmesidir. Tıbbi atıkların arıtılmasında temiz ve güvenli olan piroliz teknolojisinin uygulanması dögüsel bir potansiyeline sahiptir. Bu yöntem tıbbi atıklarla başa çıkabilir, biyo-yağ ve biyo-kömür gibi değerli ürünler üretilebilir (Su vd., 2021). Dögüsel tıbbi atık yönetimi için, tıbbi atıkların tedarikinden itibaren ayrıştırma, depolama, toplama ve taşıma süreçlerinde takip edilmesi, en dögüsel bertaraf teknolojilerinin tercihi, tıbbi atıkların temas noktalarının düzenli olarak sterilize edilmesi konuları teknoloji boyutlarını ilgilendirmektedir.

Beşinci olarak ise çevresel açıdan, ekolojik ve çevresel konular, çevreye yönelik kurumsal kültür, yönetim tarzı, personel tutumu ve katılımı, çevreye yönelik pazar ve değerler incelenmektedir. Ayrıca, iklim değışikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, artan atık hacimleri, tıbbi atıkların topraklara etkisi, halk sağlığı, yeşil sorunlar gibi konular incelenmektedir.

Uluslararası Zararsız Sağlık Örgütü (HCWH) verilerine göre sağlık sektörü, dünya genelinde %4,4'lük bir oranla en büyük beşinci sera gazı yayan sektör olarak kabul edilmektedir (Boyd vd., 2019). Dünyadaki birçok ülke sera gazı emisyonlarını azaltmak ve tıbbi atıkları bertaraf etmek için daha yeni ve dögüsel bertaraf yöntemlerini aramaya yönelmiştir (Kenny & Priyadarshini, 2021). Dögüsel ekonomi perspektifiyle tıbbi atık sistemi oluşturmak için hastalarının tedavisinden çıkan bulaşıcı tek kullanımlık ekipmanların kullanımı nedeniyle çevre üzerindeki oluşacak olumsuz etki dikkate alınmaktadır. Yakın geçmişte, ortaya çıkan çevre kirliliği

sorunları tüm dünya çapında birincil endişe kaynağı olmuştur (Ferronato & Torretta, 2019).

Salgın döneminde doktorlar, hemşireler ve temizlik çalışanları gibi sağlık çalışanları için kişisel koruyucu ekipman talebi katlanarak artmıştır. O süreçte, birçok ülkenin uyguladığı düzenlemelerden kaynaklı olarak yüksek oranda tıbbi atık miktarının arttığı görülmüştür (Singh vd., 2021a). KKE'ye yönelik temin konusunda zorluklar ortaya çıksa da küresel talep tıbbi atıkta ciddi bir artışa yol açmıştır. Sağlık çalışanları, enfekte hastalar, temizlik personeli, tıbbi atık çalışanları; maskeler, eldivenler, kişisel koruyucu ekipmanlar, test kitleri, beyaz önlük, plastik kaplar ve şırıngalar gibi tek kullanımlık tıbbi atıklara maruz kalmışlardır. Pandemi döneminde her ay dünya çapında 129 milyar maske ve 65 milyar eldiven kullanıldığı tahmin edilmektedir (Prata vd., 2020). Tıbbi atık miktarı, düşük ve orta gelirli ülkelerde, gelişmiş ve yüksek gelirli ülkelere göre daha düşük olsa da ortalama tıbbi atık üretimi 0.3-8.4 kg/yatak/gün arasında değişmektedir (Singh vd., 2022). Örneğin, pandeminin ortaya çıkışıyla Wuhan'da tıbbi atık üretimi 1000 kişi başına 3,64'ten 27,32 kg/gün'e yükselmiştir (Su vd., 2021). Tıbbi atıklarda meydana gelen artışların yanı sıra bugüne kadar yaklaşık 13 milyon aşı uygulanmıştır. (WHO, 2023).

Tıbbi atık yeni bir enfeksiyon kaynağı haline geldiğinden çevre ve halk sağlığı için önemli bir tehdit oluşmuştur (Prata vd., 2020). Sağlık hizmeti merkezlerinde hasta tedavi ve bakım faaliyetlerinden kaynaklanan tıbbi atıklar, dünya çapında çevresel ve sosyal kuruluşlar için büyük bir endişe konusu olmuştur (Chauhan vd., 2021). Aynı zamanda hastaneler üzerinde virüs bulaşmış kişilerin tedavisinden kaynaklanan bulaşıcı atıklarını yönetmeleri için ekstra baskı oluşmuştur. Salgınla mücadele çabaları arasında, tıbbi atık üretimi miktarı giderek artarak çevresel faktörleri etkilemiştir (Goswami vd., 2021). Bu nedenlerle, sadece enfekte sağlık çalışanlarının bulaşıcı olması değil, aynı zamanda atık üretim oranlarındaki ani artışın etkisi de sağlık ve çevre yöneticileri için önemli bir zorluk haline gelmiştir.

COVID-19 sürecinde, tıbbi atık başta olmak üzere tüm atık çeşitlerinde sınırlı sayıda ve oranda geri dönüşüm gerçekleştiğinden dolayı belediye atık hizmetlerindeki yönetim zorlukları dünya çapında olumsuz çevre ve halk sağlığı sonuçlarına neden olmuştur (Kumar vd., 2020). Küresel pandeminin zirvesinin başlangıcında tehlikeli tıbbi atıkların toplanmasının yaklaşık %80 oranında azaldığı, üretilen ekstra tıbbi

atıkların oluştuğu, doğru yönetim sistemi, altyapı ve eğitimli personel olmadan geri dönüştürülemediği ve güvenli bir şekilde bertaraf edilemediği ortaya çıkmıştır (Comission, 2020; İkiz vd., 2021). Böylelikle, olağanüstü durumlarda tehlikeli tıbbi atıkların işlenmesi ve kontrolünde büyük zorluklar olduğu tespit edilmiştir (Tirkolae vd., 2020).

Sağlık hizmetlerinde oluşan büyük miktardaki tıbbi atığın yanında ekstra olarak geri dönüşümde önemli bir yeri olan ambalaj ve plastik atıkları da yoğun bir şekilde artmıştır (Klemeš vd., 2020; Raja vd., 2020). Plastik atıklardaki ani artış nedeniyle bu atıklardan kaynaklanan enfeksiyon ve çevre kirliliğinin yarattığı zorluk, küresel endişeyi hızla artırmıştır (Patients vd., 2020). Tıbbi atıkların yaklaşık %35'i plastiklerden oluştuğundan döngüsellik açısından kaynak geri kazanımı ve geri dönüşümü için fırsat yaratmaktadır (Singh vd., 2021a). Sağlık hizmetlerinde tıbbi üretilen atıkların çoğu, özellikle gelişmemiş ülkelerde geleneksel atık türleri ile karışmaktadır. Tehlikeli tıbbi atıklardan bulaşıcı atıklar ile diğer atıkların karışması en önemli sorunların başında gelmektedir. Atıkların ani şekilde artması ayırma ve sınıflandırma konusundaki korkuları ve endişeleri artıran en önemli sebep haline gelmiştir (Kumar vd., 2021).

Tıbbi atıkların plastik atıklarla çöpe atılmasının geri dönüşümden ziyade yakılmasının orta ve uzun vadede toksik ve zararlı gazların yayılmasına neden olmaktadır (Silvaa vd., 2020). Tıbbi atıkların açıkta yakılması da çevreye zararlı gazların emisyonuna yol açmaktadır (Aung vd., 2019). Hindistan, Vietnam, Kamboçya ve Filipinler'de yürütülen bir çalışma, tıbbi atıklardan kaynaklı dioksin ve furanlar gibi kirlenici maddelerin küllerinin diğer atık boşaltma alanlarının yakınındaki açık arazide tespit edildiğini açıklamıştır (Minh vd., 2003). Yapılan bir başka çalışmada, katı atıkların açıkta boşaltılarak bertarafı, kurşun ve kadmiyumun topraktaki olması gereken standart limitlerin 5-11 katı üstünde olduğunu göstermiştir (Kanmani & Gandhimathi, 2013). Ayrıca ağır metallerin sızıntı suyu nedeniyle yeraltı sularındaki yüksek konsantrasyonu, yakın çevreyi ve toplumu olumsuz etkilediği tespit edilmiştir (Ferronato & Torretta, 2019). Başka bir araştırmada ise tıbbi atıkların %38.9'u uygun tıbbi atık yönetim sürecinde uygun bir şekilde ayrılmış ve çalışanların yalnızca %41'i tıbbi atıkların bertarafı için eğitim almıştır (Singh vd., 2021a).

Çevresel boyutların sonucunda, sağlıkla ilgili acil durumlar insan hayatındaki rutin faaliyetlerde, başta sağlık ve çevre olmak üzere tüm sektörlerde büyük bir çevresel yük oluşturmuştur (Rothan & Byrareddy, 2020). Bu nedenle, tıbbi atık yönetimi için döngüsel prensipler dahil edilerek, olağanüstü durumlara karşı mücadele için çevre politikası döngüsellik uygulamalarıyla değiştirilerek, bertaraf ve arıtma tesislerinde atık su ve emisyon kontrolleri hassasiyetle yapılması önem arz etmektedir.

PESTEL analizinde son olarak ise yasal açıdan, genellikle yasa düzenleyici kurumlar ve süreçler, yasal çevre düzenlemeleri, iş hukuku, tüketici hakları, kanunların uygulanması, uluslararası anlaşmalar incelenmektedir. Güncel mevzuatlar, tıbbi atıkların ayrıştırılarak toplanmasından bertarafına kadar yapılacak adımları içerse de ani bir şekilde ortaya çıkan salgın, enfekte kişilerden çıkan ekstra bulaşıcı atıklar açısından halk sağlığı için birçok tehdit oluşturmuştur. Mevcut yasal çerçevede, olağanüstü durumlarda üretilen tek kullanımlık tıbbi malzemelerin ve diğer genel atıkların nasıl bertaraf edileceğine dair özel bir yasal çerçeve bulunmamaktadır. Daha önce genel atık olarak kabul edilen ancak koronavirüs ile kontamine olan atıkların bulaşıcı atık olarak ele alınması gereklidir (WHO, 2020c). Bulaşıcı atıkların daha detaylı bir şekilde ele alınması ve bertarafı için ayrı yasal politikaların tanımlanması gereklidir (Wang vd., 2020; Yu, vd., 2020). Bu nedenle, salgın gibi olağanüstü durumlarda döngüsel tıbbi atık sistemini sağlamak için yasal boyutların yeniden ele alınması, hastaneler için ayrı çevre politikası geliştirilmesi, çevre yasalarına uyumu göz önünde tutulmalıdır.

Sonuç olarak, sağlık hizmetlerine olan ihtiyacın giderek artmasıyla birlikte dünya çapında tıbbi atıklarda çarpıcı bir artışın olabileceği, hızla yayılan virüslerin önemli bir bulaşma ortamına neden olduğu, bu sebeple kentsel tıbbi atık yönetimi için yeni ve ciddi zorlukların ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Chen vd., 2021). Böylesine büyük miktardaki tıbbi atığın güvenli bir şekilde imha edilmesi konusu ise giderek büyük bir zorluk haline gelerek önem kazanmaya başlamıştır (Goswami vd., 2021). Yukarıdaki nedenler başta olmak üzere, katı atıklar ve özellikle tıbbi atık yönetimi araştırmacıların ilgisini çekmiş olup tıbbi atık yönetimi karmaşık ve diğer atıklara göre bertarafı daha zor olduğundan dolayı iyi yönetilmesi ve döngüsel olması gereken bir mücadele haline gelmiş bulunmaktadır.

Hastalık ve salgınların yayılma hızı, yetersiz tıbbi atık yönetimi nedeniyle hızlı bir şekilde artabileceğinden dolayı doğru bir şekilde tasarlanmış döngüsel tıbbi atık yönetimi giderek önem kazanmaktadır (Mol & Caldas, 2020). Döngüsel ve çevresel bir şekilde yönetilemezse tüm sektörleri ve sosyal hayatı olumsuz etkileyebilecek olan tıbbi atık yönetim sisteminin dinamik ve duyarlı bir şekilde oluşturulması gerekmektedir (Rahayu vd., 2021). Bu aşamada Döngüsel Tıbbi Atık Yönetimi için senaryo çalışmaları aktarılmıştır.

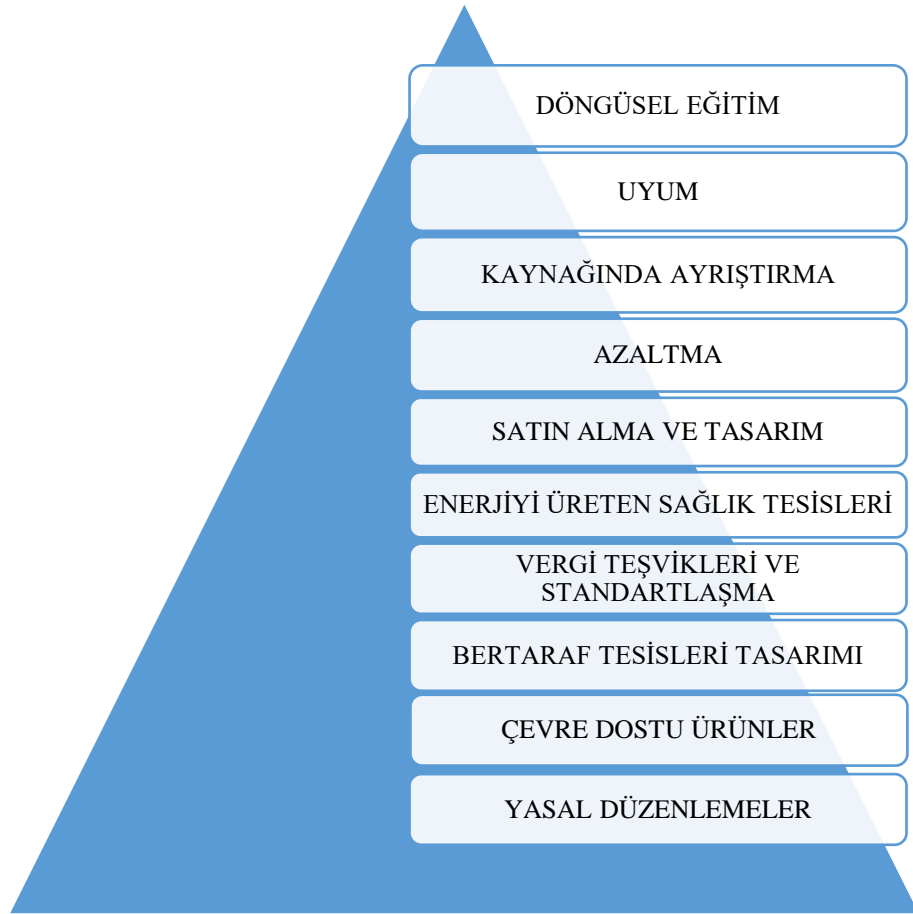
#### **4.2. Senaryo Planlaması**

PESTEL analiziyle global durum değerlendirmesi sonucunda; tıbbi ürünlerin üretiminde döngüsel uygulamaların tercihi, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin teşviki, bertaraf şirketlerine vergi avantajı, fiyat sübvansiyonu, gelişmekte olan özel ekonomik bölgelere mali sübvansiyon sağlanması, kamu-özel ortaklıklara geçiş modelinin benimsenmesi, yap-işlet-devret projeleri ile işletme ve bakım projelerinin teşviki, tüketici tutumları ve satın alma değişimleri, sağlık çalışanları ve tıbbi atık çalışanlarının eğitimlerinin yeterliliği, tek kullanımlık ürünlerin kullanımının farkındalığı, hijyen davranışları ve sosyal değişimler, lojistik zincirlerinin krizlerdeki yoğunluğu ve sosyo-kültürel etkileri, nihai noktaya kadar atığın takibi, plastiklerin geri dönüşümü, biyo bazlı bozulabilir plastiklere geçiş, piroliz ile biyo yağ ve biyo kömür elde edilmesi, ani gelişen olağanüstü durumlarda sağlık hizmetlerindeki tıbbi ürün ihtiyacının ve tıbbi atık miktarının artışının kontrolü, KKE'lere olan talep artışı, sınırlı oranda geri dönüşüm, tıbbi atıklardan kaynaklı maddelerin toprak ve su ile buluşması, yasal çerçevelerin önceden hazır hale getirilmesi, yasal düzenlemelerin gerekliliği konular ve buna bağlı olarak tıbbi atık yönetiminin döngüsel anlamda düzenleme ihtiyaçları ön plana çıkmıştır.

Bu sonuçlar dikkate alındığında birçok faktörün özellikle COVID-19 ile tıbbi atıkların küresel bir sorun haline geldiği, tedarik zincirindeki duraksamalar ve salgının doğasından kaynaklanan nedenlerle sağlık hizmetlerinde problemler yaşandığı bilinmektedir. Tıbbi atık yönetiminin süregelen çalışan eğitimi ve hastane yönetimi gibi sorunlarının beraberinde farklı senaryo koşullarının oluşabileceğini göstermektedir. Teknoloji, ekonomi, döngüsellik ve politikaların, Avrupa başta olmak üzere tüm bölgelerde sağlık, çevre ve tıbbi ürün üretim endüstrilerinin yalnızca üretim



maliyetlerini düşürmekle kalmayıp aynı zamanda modernizasyon çabalarını hızlandırarak daha dögüsel, çevreci ve rekabetçi hale getirilmesiyle bağlantılıdır. Bu analiz sonuçları dikkate alınarak dögüsel tıbbi atık yönetimine ilişkin iki senaryo üretilebileceği düşünülerek Şekil 5'te gösterildiği gibi politika odaklı ve Şekil 6'da gösterildiği gibi teknoloji odaklı senaryoların en genel haliyle ortaya çıkabileceği değerlendirilmiştir.



**Şekil 5:** Politika Odaklı Senaryo



**Şekil 6:** Teknoloji Odaklı Senaryo

Şekil 5 ve 6’da belirtilen senaryolara göre ilk senaryo, tıbbi atık kavramında tıbbi atık üretim sürecini ve bertarafını güvenli ve risksiz bir bakış açısıyla iyileştirmek için tıbbi atık yönetiminin geleceğini “Politika Odaklı Bir Yaklaşım” üzerinden ele almıştır. İkinci senaryo ise döngüsellığı ve teknolojiyi değişimin ana itici gücü olarak ele almış ve döngüsel teknolojik tıbbi atık kavramları üzerindeki etkileri “Teknoloji Odaklı Bir Yaklaşım” tartışılmıştır. Bu çerçevede “Politika Odaklı Bir Yaklaşım” mevcut atık sistemindeki değişim sürecinin önemli bir yanı olarak değerlendirilebilir. Dünyada yaşanan sosyo-ekonomik ve çevresel dönüşümler, tıbbi atık yönetiminin değişen şekli, boyutu ve aktörleri doğrultusunda toplumun yeni ihtiyaç ve beklentilerine cevap verecek yeni kavramların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. “Teknoloji Odaklı Bir Yaklaşım” araştırma yaparak dijitalleşme ve teknolojik adımların tartışmaya arz yönlü bir bakış açısı getirmesi sağlanacaktır. Yukarıda belirlenen senaryo alanı kapsamında senaryolarımızı aşağıda oluşturmaktayız.

#### 4.2.1. Politika Odaklı Senaryo

Sağlık hizmeti konusunda fiziksel sınırların azaldığı, hastalık ve salgın gibi önemli olayların hızlıca artıp yayıldığı, giderek sanallaşan küreselleşmiş bir dünyada, gelecekteki tıbbi atık kavramları ve yönetiminin, kişisel ve çevresel güvenlik tedbir stratejilerinden giderek daha fazla etkilenmesi beklenmektedir. Bu, kısmi kontrollü tıbbi atık bertaraf yöntemi stratejisinden daha çevreci olan döngüsel atık yönetim stratejisine geçişe neden olabilecektir.

Karmaşık ve zorlu hale gelen tıbbi atık yönetimi döngüsel yönetilmesi gereken bir mücadele haline gelmiştir. Bu konuda olup sağlık çalışanlarının tıbbi atık yönetim sorumluluğuna karşı direnmesi, tıbbi ürünlerin kullanımında azaltmaya gönülsüz olması, tıbbi atık ve çevre eğitilmiş personelin gerekliliği, kaynağında ayrıştırmanın önemi, çevre dostu malzemelerin tercihi, veri girişlerinin anlık dijital ağlarla aktarımının gerekliliği, akıllı izleme sistemlerinin kurulması, kurumlar arası koordinasyon eksikliği, aileden itibaren atık yönetim bilincinin öğretilmesi, tıbbi atık yönetimi için bütçe ayrılması, mobil bertaraf sistemlerinin hazır olması, vergi teşvikleri gibi konular ön plana çıkmaktadır. Sonuç olarak, mevcut tıbbi atık yönetimlerinin yerine bilgiye erişimin kolay olacağı, tıbbi atık eğitimlerinin geliştirilmesine yönelik adımların atılacağı, döngüsel ekonomi prensiplerinin tıbbi atık konusuna entegrasyonu ile birlikte çevreyi korumaya yönelik yaklaşımların ele alınacağı somut politikalar belirlenmelidir.

Bu kapsamda ilk senaryomuz olan politika odaklı döngüsel tıbbi atık yönetimi oluşturulurken döngüsel politikalar önem arz eder ve politikacılar bu yönde şu faaliyetleri gerçekleştirirler;

- Tıbbi atık, özellikle sağlık ve tıbbi atık eğitimi ile aileden itibaren atık eğitiminin döngüsel perspektif çerçevesinde başlatılacağı eğitim sistemlerinin kurulması,
- Sağlık ve tıbbi atık personelinin döngüsellğe uyumunun sağlanması,
- Sağlık tesislerinde tıbbi ürünlerin kaynağında ayrıştırılmasının sağlanması,
- Tıbbi ürünlerin kullanımının azaltılması,

- Tıbbi ürünlerin tasarım aşamasından itibaren dögüsel olacak şekilde üretilmesi,
- Sağlık tesislerinin enerji geri kazanım yoluyla dögüselliğinin kendi bünyelerinde oluşturularak kendi kendine yetebilecek şekilde planlanması,
- Dögüsel tıbbi ürün üretimini yapan firma ve bu ürünlerin tercih edilmesi durumunda sağlık hizmeti sağlayıcılarına vergi ve diğer teşvikler ile ülke ve global çapta standartlaşmanın sağlanması,
- Tıbbi atık bertaraf tesislerinin dögüsel çerçevede yeniden tasarımı yapılarak bertaraf kapasitelerinin artırılması,
- Akıllı ve entegre tıbbi atık yönetim ile dögüsel ve çevreci teknolojilerin kullanılması,
- Sağlık ürünlerinin etkin olarak kullanıldığı hastanelerin satın alma sorumluları tarafından dögüsel ve çevre dostu ürünlerin tercihi, özellikle doğada kendiliğinden bozulabilen ürünlerin tercih edilmesi,
- Tıbbi atık üretimi, dögüsel tıbbi ürünlerin tercihi ve bertaraf süreçleri konusunda yasal düzenlemelerin yapılması.

Sonuç olarak, politika odaklı senaryomuzda politikacı, bürokrat ve yöneticiler, sağlık, çevre ve teknoloji politikalarında yukarıda bahsedilen 10 adımı içeren politikaların uygulanmasını sağlarsa dögüsel tıbbi atık yönetim sistemine geçiş hızlanacak ve daha çevreci, dögüsel ve sürdürülebilir tıbbi atık sistemi sağlanmış olacaktır. Böylelikle, tıbbi atık felaketinden korunmak ve tıbbi atıkları dögüsel sistemler sayesinde yönetebilmek mümkün olabilecektir.

#### **4.2.2. Teknoloji Odaklı Senaryo**

Tıbbi atık yönetiminin en başından beri görüleceği üzere hem sistemlerin sürekliliği hem de tıbbi atıkların yönetimi aslında maliyetli bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu anlamda hem oluşan maliyetleri azaltmak hem de dögüsel bir perspektifi ortaya koyabilme açısından teknolojik gelişmelerden ve dijitalleşmeden tıbbi atık yönetiminin her aşamasında yararlanılmalıdır.

Bu kapsamda ikinci senaryomuz olan teknoloji odaklı döngüsel tıbbi atık yönetimi oluşturulurken döngüsel tıbbi atık yönetimi için dijitalleşme ve teknolojik gelişmeler önem arz eder ve bu yönde politikacılar tarafından şu faaliyetlerin gerçekleştirilmesi beklenmektedir:

- Dijitalleşme gereksinimlerine geçişin tıbbi atık için gerekliliğinin sağlık, çevre ve teknoloji yöneticilerince benimsenmesi ve bu alanlardaki teknoloji entegrasyonunun gerçekleştirilmesi,
- Otonom sistemlerin kullanımı,
- Akıllı sistemler ve entegre yazılımların kullanımıyla tıbbi atık izleme ve takip sistemlerinin kurulması ve tıbbi atık için uygun rotaların oluşturulması,
- Bilgi teknolojilerinin ve veri biliminin (IoT, Big Data, Yapay Zekâ, GIS, Makine Öğrenimi) kullanımının yaygınlaştırılması,
- Çevre dostu teknolojilerin tercih edilmesi,
- Teknoparklarda döngüsel atık ve tıbbi atık yönetimi üzerine unicorn şirketlerin teşvik edilmesi.

Sonuç olarak, döngüsel tıbbi atık yönetimi için politika ve teknoloji açısından iki ayrı senaryo oluşturulmuş ve bu senaryoların analizi ve bu analizin çıktısı bulgular kısmında aktarılmıştır.

#### **4.3. Uzman Görüşmeleri Işığında Yerel Durum Analizi**

Oluşturulacak yol haritası için tıbbi atık konusunun uzmanları olarak; sağlık kuruluşları yöneticiliğinde uzman Prof.Dr. Levent B. KIDAK, tıbbi atık sürecini yöneten İzmir Büyükşehir Belediyesi İklim Değişikliği ve Sıfır Atık Daire Başkanı Kemal KILIÇ, Sıfır Atık Planlama ve Denetimi Şube Müdürü Çevre Mühendisi Sinem SAVTEKİN ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Bu görüşmeler çerçevesinde Seyrek tesisine bizzat gidilerek yerinde tıbbi atığın imha süreci hakkında İzmir Büyükşehir Belediyesi kontrolörleri çevre mühendisi Özgür AYGÜN ve Fulya EVİRGEN ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiş, tıbbi atıkların imha süreci yerinde görülmüştür.

İzmir Büyükşehir Belediye tıbbi atık uzmanlarından alınan bilgiye göre; İzmir il sınırı içindeki tıbbi atıkların bertarafı Miroğlu Çevre A.Ş. aracılığı ile sağlık tesislerinden toplandığı, 2017 yılı itibariyle 2230 sağlık kuruluşundan tıbbi atık teslim alındığı, 2018 yılında 7200 ton tıbbi atığın 12 adet lisanslı tıbbi atık toplama aracılığıyla toplandığı anlatılmıştır. Ayrıca atık tesislerinin günlük kapasitesinin 110 ton olduğu, ortalama günlük 27-30 ton tıbbi atık işlendiği, bu rakamın COVID-19 döneminde yoğun olduğu dönemde 35 tona çıktığı ve tesisin yap-işlet-devret sistemiyle 10 yıl boyunca Miroğlu Çevre A.Ş. tarafından işletileceği öğrenilmiştir.

Sağlık kuruluşlarından toplanan kimyasallarla işlem görmüş patolojik atıklar diğer tıbbi atıklardan ayrı olarak toplanmakta, yakma yöntemiyle bertaraf edilmektedir. Katılaştırma/Stablizasyon yönteminin uygulanmadığı, bu yöntemin Japonya'da uygulandığı bilgisi tarafımıza bildirilmiştir. Farmasötik (İlaç) atıklarının toplanmadığı, hastanelerin kontrolünde imha edildiği öğrenilmiştir. Sitotoksik ilaçların hastane yönetimlerince görüşülmesi gerektiği tarafımıza bildirilmiştir.

İzmir 2022-2027 yılı Tıbbi Atık Planı incelendiğinde, İzmir Büyükşehir Belediyesi ile Miroğlu A.Ş. arasındaki sözleşmeden tıbbi atıkları taşıyan araçların plakası ve sürücülerinin ad-soyadlarının belirtildiği, güzergahların oluşturulduğu ancak literatürde tavsiye edilen gece saatlerinde tıbbi atıkların taşınması hususuna tam olarak önem verilmediği, tıbbi atıkların türlerine göre hangi tesiste bertaraf edileceği ve tesis sorumlularının iletişim bilgileri yer almaktadır. Tıbbi atıkların oluşturulan rotalarla en geç 48 saat içinde toplandığı, ayrıca tıbbi atığın üretildiği sağlık kuruluşundan itibaren kovalı sistemlerle toplandığı ve böylelikle çalışanların yaralanma ve enfekte olma risklerinin minimum indirildiği tespit edilmiştir. Ancak kovalı sistemi her hastanenin uygulamadığı öğrenilmiştir.

Tıbbi atık sterilizasyon tesisinde Vertisa firması tarafından kurulan kırıcılı otoklav sistemi kullanılmaktadır. Menemen/Seyrek'te bulunan mülkiyeti İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne ait 6 dönümlük alana 21 ton/gün kapasiteli Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi 16.03.2020 tarihinde faaliyete başlayarak mevzuata uygun bir şekilde bertaraf edilmektedir. Mahalli Çevre Kurulu Kararı gereğince 2022 yılında tüm sağlık kuruluşları için uygulanan tıbbi atık toplama, taşıma, sterilizasyon ve bertaraf ücreti tıbbi atıkların geneli için 6.15 TL/kg, patolojik atıkları için ise 19,2 TL /kg+KDV olarak belirlenmiştir. Menemen/Seyrek'te bulunan tesiste, Ortalama 1 saat

süren otoklav bertaraf yöntemiyle bulaşıcı ve keskin atıkların hacminin %70 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Otoklavlama yöntemiyle sterilize edilen atıklar, müteakiben bertaraf edileceği depolama sahası olan Harmandalı Düzenli Atık Depolama ve Elektrik Enerjisi Üretimi Tesisi'ne gönderilmekte ve burada enerjiye dönüşerek döngüsellik kısmi olarak sağlanmaktadır. Sağlık kuruluşlarından toplanan kimyasalla işlem görmüş patolojik tıbbi atıklar Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisinde geçici depolanarak İZAYDAŞ (İzmit Atık ve Artıkları Arıtma Yakma ve Değerlendirme A.Ş.)'ye gönderilmekte ve orada bertaraf edilmektedir.

Tıbbi Atıkların toplama ve bertaraf sorumluluğu olan Miroğlu A.Ş. çalışanlarına, Manisa Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü tarafından tıbbi atık eğitiminin 2018 yılında gerçekleştirildiği ve 44 personele Tıbbi Atık Eğitimi Başarı Belgesi verildiği, 2021 yılına ait eğitim kayıtlarının mevcut olduğu ve eğitim periyodunun ve sağlık kontrollerinin 6 ay da bir kez olarak planladığı ve uygulandığı görülmektedir. Çalışma sırasında kullanılacak özel koruyucu giysi ve ekipmanların özelliklerinin, nerede, ne şekilde kullanılacağına detaylı olarak sözleşmede yer almaktadır. Çalışanların bağışıklama ve sağlık kontrollerinin 6 ayda bir yapıldığı, iş yeri hekimi tarafından değerlendirilerek gerekli plan oluşturulmaktadır. Tıbbi atık taşıma araçları ile tesiste kullanılan diğer ekipmanların temizliği ve dezenfeksiyonu amacı ile yapılacak işlemler ile tıbbi atıkların toplanması ve taşınmasıyla sterilizasyonu/bertarafı sırasında oluşabilecek yaralanmalarda alınacak önlemler ve yapılacak işlemler sözleşmede detaylı olarak açıklanmıştır.

2021 yılından diyaliz hastalarından toplanan tıbbi atık miktarı 58.190 kg/yıl olup, 2021 yılı sağlık kurumlarından alınan toplam tıbbi atık miktarı ise 8.260.198 kg/yıl'dır. Ayrıca 2021 yılı patolojik atık miktarı 19410 kg/yıl'dır. Ayrıca İzmir ilindeki tıbbi atık üreten tüm sağlık kuruluşlarının isimleri, adres ve telefon bilgileri, tıbbi atık depolama yöntemleri ve ürettikleri tıbbi atık miktarları sözleşmede detaylı olarak yer almaktadır.

Yapılan görüşmeler değerlendirildiğinde, en yoğun dönemde bile kapasite bakımından tesisin 1/3'ünün kullanıldığı düşünüldüğünde İzmir ili açısından bertaraf tesisinin yeterli olduğu, komşu illerle yapılacak protokollerle olağanüstü durumlarda tesisin kapasitesinin tam olarak kullanılabilmesi anlaşılmaktadır.

Atık tesisi sorumlusu çevre mühendislerinin görüşlerine göre; düzenli ve önem verilen ciddi eğitimlerin gerekliliği, tıbbi atık bertaraf sisteminin ulusal düzeyde, uluslararası standartlarda uygulamaların gerekliliği önem arz etmektedir. Atıkların cinsine göre, detaylı olarak hangi atık çeşidine girdiği konusunda detaylı çalışmaların yapılması, sağlık ve atık çalışanlarına aktarılmalıdır. Standart eğitimlerdeki en önemli konunun kaynağında ayırım olduğu vurgulanmalıdır. Eğitimler videolar ve yerinde uygulamalar ile pekiştirilmelidir. Atık eğitimi önce evde sonra okullarda ilk sınıflardan itibaren yaygınlaştırılmadır. Tıbbi atığın ayrı bir işlem yerine direk ayrılıp enerjiye dönüştürülmesinin daha uygun olacağı tavsiye edilmiş, Sağlık Bakanlığı ve Çevre Bakanlığının ortak çalışmalar yapması gerektiği anlaşılmaktadır.

#### **4.4. Yol Haritası Kanvas'ının Oluşturulması**

Tıbbi atıkların döngüsellik çerçevesinde oluşturulacak bir yol haritası için Tablo 4'te görülen kanvas ortaya çıkarılmış olup, bu kanvas üzerine yol haritası sürecinde atılacak adımlar ve değişiklikler işlenecektir.



| <b>DÖNGÜSEL TIBBİ ATIK YÖNETİMİ YOL HARİTASI KANVASI</b> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| YILLAR   | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
|  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SÜREÇLER   | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
|  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| <b>Sağlık ve Çevre Bakanlığı</b>                         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| <b>Dahili İş Stratejileri</b>                            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| <b>Ürün/Hizmet</b>                                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| <b>Teknoloji Yönetimi</b>                                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| <b>Düzenleme ve Politikalar</b>                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| <b>Sosyal Değişim</b>                                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

**Tablo 4:** Döngüsel Tıbbi Atık Yönetimi Kanvası

#### **4.5. Uzman Görüşleri ve Literatür Sentezi Işığında Yol Haritasının Oluşturulması ve Tartışılması**

Tıbbi atıklar için döngüsellik çerçevesinde oluşturulacak bir yol haritası; sağlık, çevre, teknoloji, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik konuları başta olmak üzere birçok alana ışık tutacaktır. Yol haritamız, senaryolar ve PESTEL analizinin etkisiyle geleceğin daha döngüsel hale gelmesini ve sistem düzeyinde ortak bir strateji oluşturmamızı sağlayacaktır. Böylelikle teknoloji ve politika öngörüsünü gerçekleştirmek ve gelecekteki tıbbi atık yönetimine döngüsel açıdan esnek bir yaklaşım sağlanmış olacaktır.

Politika ve teknoloji adımlarının bütünleşik ve koordineli olarak hibrit bir şekilde uygulanmasıyla tıbbi atık yönetim stratejisi ve planlamanın geliştirilmesi gerçekleşebilecek, böylelikle kurumlar arası iletişimin de desteklenmesiyle döngüsellik hızlanabilecektir. Döngüsel tıbbi atık yönetimi için politik, teknolojik ihtiyaç ve fırsatların zamanla nasıl değişebileceğine yol haritasında dikkat çekilmiştir. Oluşturulacak değişim yeni teknolojilerle tıbbi ürün, pazar ve uygulamaların entegrasyonu ile gerçekleşebilecektir.

Bu kapsamda uzmanlardan oluşan disiplinli bir ekiple, iş birliği ve örgütsel öğrenmenin faydaları yol haritasına yansımıştır. Hangi politik ve teknolojik adımların ne zaman ve nerden başlayacağı, nasıl geliştirileceği ve ne yapılacağına yönelik çalışılmıştır. Yol haritası teknoloji yol haritası olmasının yanı sıra sorun odaklı olup bilim ve araştırmaya dayandırılarak bütünleştirilmiştir. Bu şekilde karmaşık sistemlerin geliştirilmesi için öngörü sağlanacaktır. Teknoloji yol haritası sürecinde kullanılan tekniklerden senaryolar seçilmiştir.

Yol haritası iki bileşenden oluşmakta olup ilki olan uygulama yani oluşturma süreci yukarıda detaylı olarak anlatılmıştır. Bu süreçte ortak bir döngüsel tıbbi atık yönetimi vizyonu ile konunun uzmanları ile geliştirme süreci işletilerek, değişen koşullarla canlı tutularak uygulama sürekli geliştirilmiştir. Çözümler belirlenerek, roller ve eylemler tanımlanarak ortak senaryolar geliştirilmiştir. Bu süreç içerisinde birkaç ay boyunca konunun uzmanları ile toplantılar gerçekleştirilmiştir. Farklı alanlardaki uzmanların bilgi ve bakış açılarının paylaşılması, sorunların ve fırsatların değerlendirilmesi sayesinde yeni fikirler ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, yol haritası

sürecinin yol haritasından daha önemli olduğu anlaşılmıştır. Bu süreçte bilim adamları, halk ve çevre sağlık kuruluşları ile fon sağlayıcı kuruluşların daha fazla iş birliği yapmaları gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Sürecin önemli bir faydası olarak tıbbi atıkların pazar, ürün, teknoloji gibi tüm seviyelerdeki bilgi boşlukları belirlenerek öncelikler belirlenmeye çalışılmıştır. Süreç için hedefler, koordinasyon, iletişimle uzun vadeli planlar ve tasarım gerekli olduğu anlaşılmıştır. Süreç içerisinde döngüsel tıbbi atık yönetimi için neyin hedeflendiği, bu hedeflere ulaşmanın yolları ve ne yapılması gerektiği konusunda gelişimlerde bulunulmuştur.

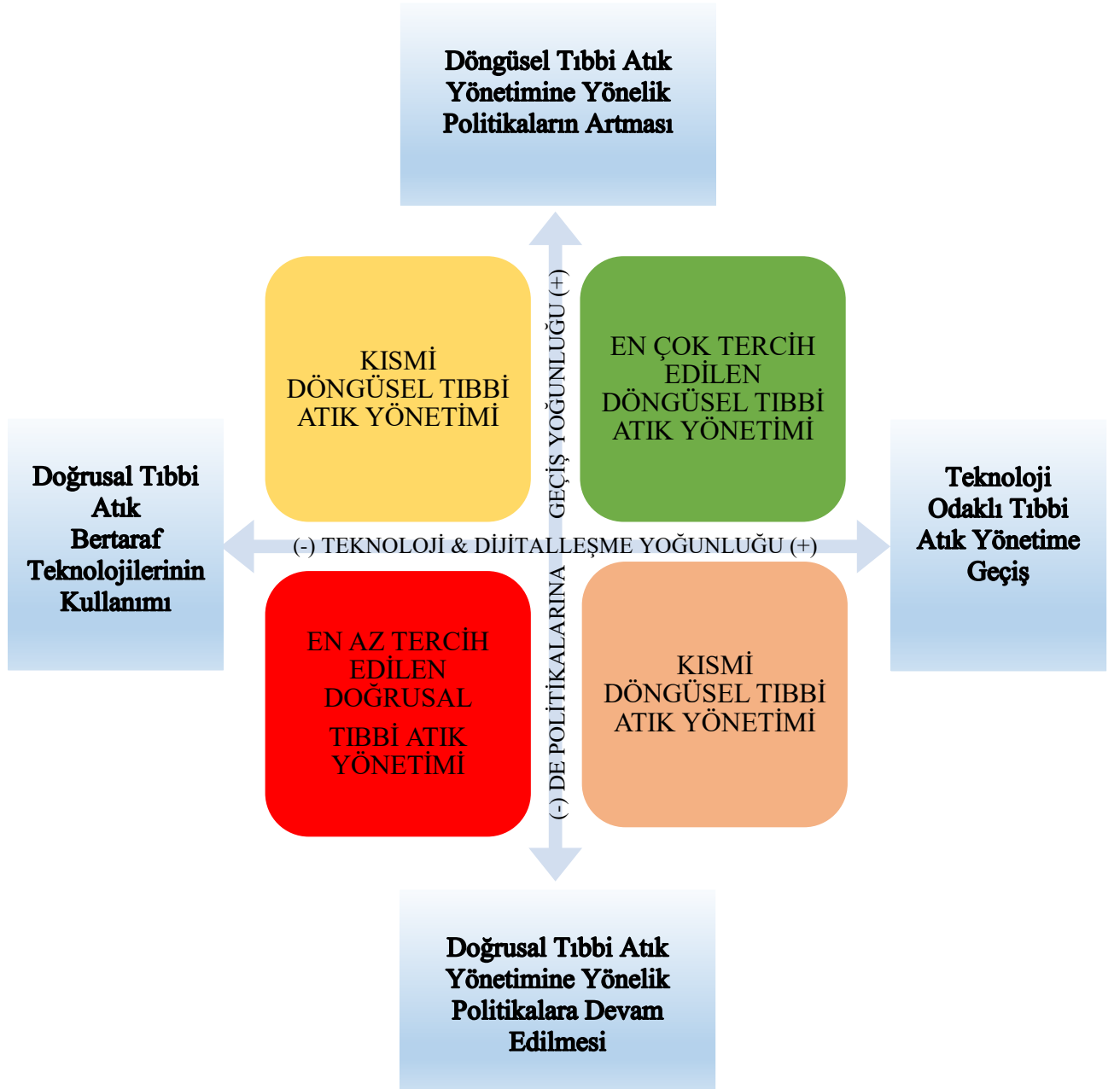
Burada ise diğer bileşen olan uygulamanın sonucu yani yol haritası olarak bilinen harita Tablo 5'te aktarılmıştır.



## BEŞİNCİ BÖLÜM

### BULGULAR

Senaryolar tasarladıktan sonra, geliştirilen iki senaryo iki eksen boyunca gösterilerek incelenmiştir. Bu iki eksene bağlı olarak elimizde dört durum oluşmaktadır: Bu durumlar Şekil 7'de gösterilmiştir.



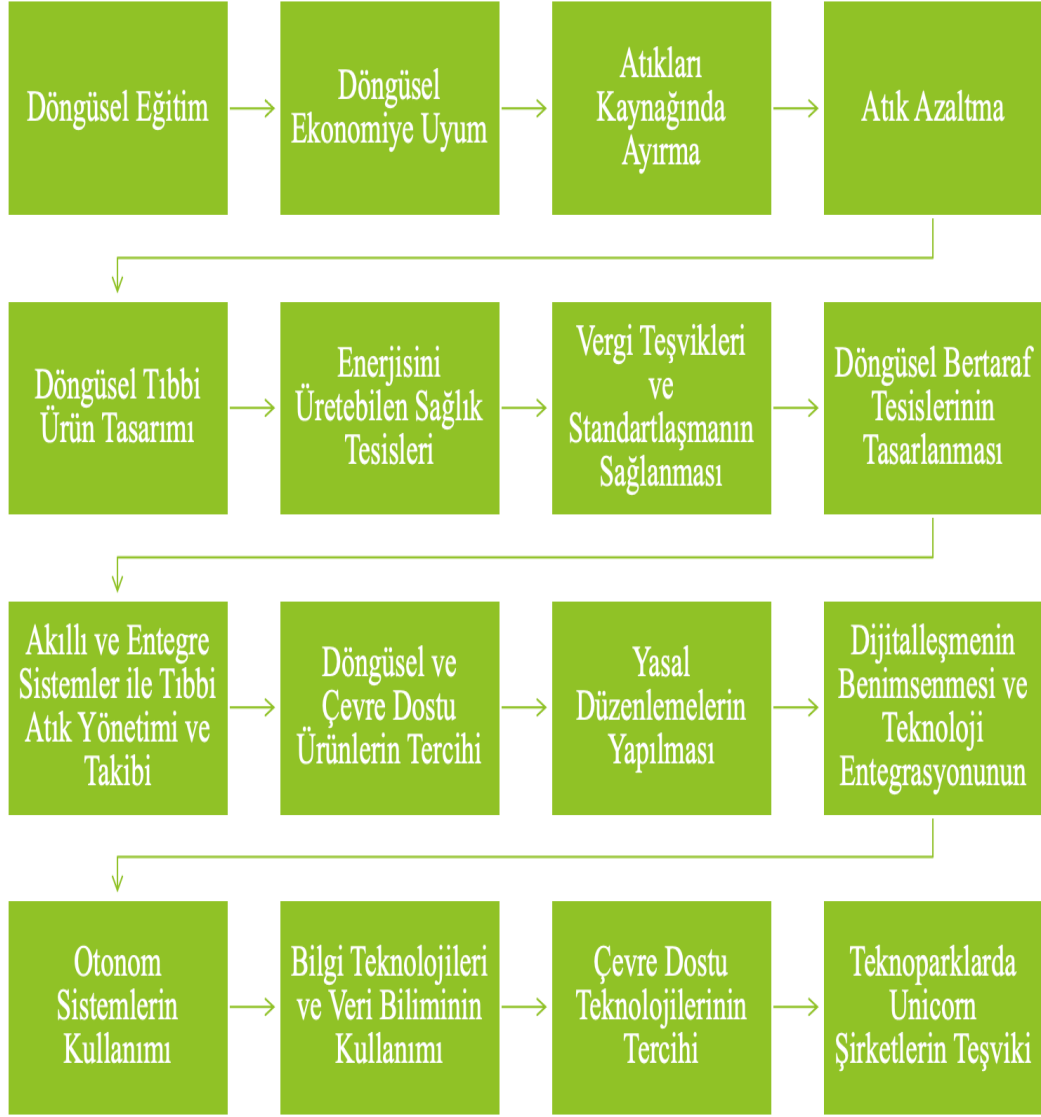
### **Şekil 7: Döngüsel Tıbbi Atık Yönetimi İçin Senaryo Tercihleri**

Bu analizin sonucunda dört senaryoya ulaşılmış ve bu dört senaryoya göre yol haritasının oluşturulabileceği değerlendirilmiştir. Döngüsel tıbbi atık yönetimi için politika odaklı senaryoda, tercih edilen adımlar, daha iyi bir tıbbi atık yönetim sistemine ulaşılması kolaylaştırır ancak dijitalleşme ve çevre dostu teknolojilerin kullanılmasının politikacılar tarafından benimsenmemesi durumunda etkili bir katkı sağlayamayacaktır. Atılacak adımlar, nispeten kolay olan ve tıbbi atık yönetim organizasyonlarını dönüştürmek için liderlik gerektiren konulardır. Teknoloji odaklı senaryoda ise gelişmiş teknolojilerin bile benimsememesi ve politikaların geliştirilmemesi durumunda eksik kalacağı anlaşılmıştır. Döngüsellığe geçiş, tüm organizasyonların felsefesini dönüştürmedeki liderliğine bağlı olduğu için sağlık, çevre ve teknoloji karar vericileri tarafından yön vermek için ortak olarak benimsenmesi tercih edilmektedir.

Sonuç olarak, en uygun ortam olan Şekil 7’de yeşil bölgede olan en çok tercih edilen döngüsel tıbbi atık yönetim sistemini içeren senaryoda, politika yapıcılarının bu süreci teknolojik gelişmelerle birlikte karma senaryoyu benimseyerek yürütmesi gerektiği düşünülmüştür. Uzmanların değerlendirmeleri ile bu karma seçenek dikkate alınarak 16 adımlı yol haritası geliştirilmesinin daha doğru olacağı değerlendirilmiş ve Şekil 8’de aktarılmıştır. Bulgularımızın en önemli çıktısı olan döngüsel tıbbi atık yönetimi için yol haritamızın uygulama adımları detaylı olarak bu bölümde açıklanmıştır.

#### **5.1 Karma Senaryo Adımları ve Analizi**

Politika ve teknoloji odaklı senaryolardan analiz edilmesi ve tartışılmasıyla elde edilen karma senaryonun döngüsel tıbbi atık yönetimi için en optimal senaryoyu oluşturduğu ve bu amaca yönelik uygulama adımları Şekil 8’de aktarılmıştır. Yol haritası sürecinin nihai çıktısı olan 16 adımlı uygulama adımları bu bölümde detaylı olarak incelenerek açıklanmıştır.



**Şekil 8:** Döngüsel Tıbbi Atık Yönetimi İçin Uygulama Adımları

### 5.1.1 Döngüsel Eğitim

Tıbbi atık ve döngüsel ekonomi literatürü incelendiğinde eğitimin en önemli faktör olduğu tespit edilmiştir. Tıbbi atık yönetiminde çalışan personel için döngüsel yeni bir profile yönelik sisteme ihtiyaç olacaktır. Bu durum, tıbbi atık ve çevre konusunda eğitilmiş personelin olmasını gerektirecektir. Sağlık politikası sorumluları tarafından, atığın genel katı atık ve tıbbi atık ayrımını kesin olarak sağlayacak düzenlemeler ve eğitimler gerçekleştirilmeli, tıbbi atık işleyicilerinin ve temizlik çalışanlarının güvenliği sağlanmalı, atıkların üretildiği yerdeki sağlık çalışanlarından nihai bertarafının gerçekleşeceği tesislere kadar alınacak önlemler hakkında eğitimler

gerçekleştirilmelidir (Scheme, 2016). Tıbbi atıkların sağlık kuruluşlarında yani ilk üretildiği noktalarda doğru şekilde ayrımının eğitimi ve icrası giderek önemli hale gelmektedir. Döngüsel ve çevreci personelin yöneticileri tarafından teşvik edilmesi ödüllendirilmesi sağlanmalıdır. Bu konuda hata yapan personele daha az tolerans gösterilmelidir. Eğitimler geliştirilmeli, net standartlar ve yaptırımlar yoluyla uygun ayrıştırma sağlanmalı, bulaşıcı atıkların hacmi etkin bir şekilde azaltılırken, geri dönüşümdeki atıkların hacmi artırılmalıdır (Alagöz & Kocasoy, 2008).

Tıbbi atık eğitiminden bahsedilince sadece sağlık ve tıbbi atık çalışanları gelmemeli, atık eğitiminin ailede başladığı unutulmamalıdır. Sürdürülebilir davranışları yükselterek, eski alışkanlıkları terk edip yeni döngüsel alışkanlıklara uyum sağlayarak atık yönetimine bakış açımızı gözden geçirmemiz gerekmektedir. Ayrıca, etkileyici bir iletişim yöntemi için bilimsel araştırmaları ve araştırmacıları bu önemli hedefe ulaşmak için motive etmek, toplumun çevresel ilgi ve bilgilerini arttırmak, faydalı iletişim kanallarından yararlanmak gereklidir. Bu anlamda, karar vericilerin doğru politikaları hayati önem taşıyacaktır. İnsanlar önce aile eğitimiyle evinde evsel atıklarını, KKE ve ilaç atıkları gibi atıkları ayırarak bu işi öğrenebilir, bu durum okullarda ve sağlık kuruluşlarında geri dönüşümün iş yükünü azaltırken döngüsel ekonomiye katkı sağlayacaktır. Yetkililer, atık yönetimi sektörünün mücadele ettiği zorluklar hakkında bireylerin farkındalığını artırmaya çalışmalı ve bu çalışmalarını kampanyalar, reklamlar, sosyal medyayı etkin kullanarak yapmalıdır. Ayrıca ilgili yöneticiler, tehlikeli tıbbi atıklarla başa çıkmak ve evrensel bilgi paylaşımı için ortak bir platform oluşturarak, uygun şekilde eğitimler sağlanmalıdır (Teymourian vd., 2021).

### **5.1.2. Döngüsel Ekonomiye Uyum**

Eğitim tek başına döngüsel tıbbi atık yönetimi için yeterli olmayacaktır. Diğer sektörlerde olduğu gibi sağlık sektöründe de halen en büyük sermayenin insan faktörü olduğu, sağlık çalışanları ve tıbbi atık çalışanlarının döngüsel tıbbi atık yönetimini özümsemesi, aldıkları eğitimleri sadece görev ve sorumluluklarını yaparken değil hayatlarının bir parçası olarak görerek döngüsel yaşamı tercih etmelerinin sağlanması ve bu yönde sıralı yönetim kademelerince motive edilmeleri gerekmektedir. Bu durum ise döngüsel ekonomiye uyum anlamına gelmektedir. Tıbbi atık yönetiminin eğitimi,



bilgili, çevreci ve dünyanın geleceğini önemseyen yönetici ve çalışanlar tarafından döngüsellik çerçevesinde koordineli bir şekilde yönetilmesi ve bu durumun doğru enstrümanlarla tanıtılarak yürütülmesi beklenmektedir. Hastanelerde döngüsellik çerçevesiyle oluşturulacak yeni sistemlere yönelik eğilim, çeşitli zorlukları bir araya getirecektir. Örneğin, personelin tıbbi atıkların yönetim sorumluluğuna karşı direnmesi, doktorların ve sağlık çalışanlarının sağlık ürünlerinde azalışa gitmek istememesi, veri girişlerinin anlık yapılmaması, tıbbi atık yönetim sürecindeki kurumlar arası koordinasyon sürecin sağlanamaması gibi durumlar döngüsel ekonominin tıbbi atık yönetimine entegrasyonunu zorlaştıracaktır. Bu nedenle, döngüsel ekonomiye uyum sağlayarak özümsemiş çalışanlarca verilerin doğru zamanda daha verimli kullanımı ile sanal iletişim ve dijital ağlara daha fazla ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca, uzak ve farklı lokasyonlara dağıtılmış bir tıbbi atık yönetim süreci yapısı, lojistik açıdan tıbbi atıkların bertaraf sürecini daha zor hale getirecektir. Döngüsel ekonomi prensipleriyle ortaya çıkacak bu yeni döngüsel tıbbi atık yönetimi kavramın bir parçası olarak yeni, alternatif, sürdürülebilir enerji ve yaşam kaynaklarının geliştirilmesi öngörülmektedir. Bu itibarla, gelecekteki tıbbi atık yönetiminde görev alacak sorumlu personel, mevcut olanlardan farklı niteliklere sahip olarak, tıbbi atık yönetimine döngüsellik açısından uyum sağlayarak katkı verebilecektir.

### **5.1.3. Atıkları Kaynağında Ayırma**

Döngüsellğe uyum sağlamış yönetim ve çalışanlar tarafından yürütülen tıbbi atık yönetimi daha iyi çevre ve daha iyi yaşam koşulları ile temel bir kamu hizmeti olarak kabul edilmelidir. Bu konuya istinaden temiz çevre ve sürdürülebilir tüketimle ilgili SKH'lere ulaşmak için atıkları kaynağında ayırmak, yakmayı ve geri dönüşümü en aza indirerek ürün yaşam döngüsü boyunca başta tıbbi atıklar ve bu atıkların atık suları olmak üzere kirliliğini azaltılmak hedeflenmelidir. Tıbbi atıkların uygun şekilde yönetilmesi ve döngüsel ekonomiye uyumu için ilk ve en önemli adım, DSÖ tarafından tavsiye edildiği gibi kaynağın azaltılması yani atık üretiminin en aza indirilmesi ve kaynakta uygun şekilde ayrıştırılmasıdır. Genel atıklardan ayrıştırılmayan atıklar, tıbbi atık olarak ele alınmalıdır (Singh vd., 2020; UNEP, 2020).

#### **5.1.4. Atık Azaltma**

İyi tıbbi atık yönetimi, döngüsel bir yaklaşımı destekleyen azaltma, toplama, ayırma, işleme, geri dönüşüm ve bertaraf dahil tüm aşamalarda uygun planlama ve izleme anlamına gelmektedir (Govindan vd., 2022). Öncelikle sağlık yöneticileri mevcut tüm sağlık hizmetleri için malzeme analizini yaptırarak, enfeksiyon riskini arttırmayacak şekilde gereksiz tıbbi ürünlerin kullanımını ortadan kaldıracak ve tıbbi ürünlerin minimum seviyede kullanılmasını sağlayarak tıbbi malzeme kullanımını azaltacaktır. Döngüsel ekonominin en öncelikli prensiplerinden azaltmaya örnek olarak, piyasada bulunan diyaliz ürünlerinin ağırlığı farklı olduğundan alım yapan sağlık kuruluşlarının karar vericileri, kalite özelliklerini de dikkate alarak daha hafif diyaliz seti kullanımında yıllık 17 milyon kg tıbbi atık azalmasına ve önemli maddi tasarruflara neden olabileceğini tespit etmişlerdir (Żebrowski vd., 2020). Yukarıdaki örnek üzerinden anlaşılacağı üzere tıbbi atıkların doğru şekilde yönetilmesi için atık azaltma, tıbbi atıkların genel atıklardan ayrıştırılması, atık işleme için sağlık kurumları ve bertaraf tesisi kurallarının oluşturulması, personel için önemli sağlık ve güvenlik uygulamaları ile kanuni düzenlemelerin yapılması gerekmektedir (Mohee, 2005).

#### **5.1.5. Döngüsel Tasarım**

Sağlık hizmeti ürünleri endüstrisindeki iş yerleri, tıbbi ürünlerinin üretimini tasarım aşamasından itibaren değiştirmeye başlamalıdır. Sağlık sektöründe kullanılacak bu ürünler çevre dostu, doğada bozulabilir, tekrar kullanılabilir, başka bir ürün olarak yenilenebilir, bakımı daha kolay ürünler olarak tasarlanmalıdır. Sağlık yöneticileri kullan-at ve tek kullanımlık ürünler yerine tekrar kullanılabilir olanları üretmelidir. Tekrar kullanılabilir sağlık ürünleri, maliyet analizlerinin etkisiyle çevreci ve ekonomik, dayanıklı sağlık ürünlerin kullanımı teşvik edilecektir. Sağlık ürünü tüketicilerin artık yüksek değerli ürünleri satın almaya gücünün yetmediği güncel durumun devam etmesi durumunda ise döngüsellğe geçişin zorlaşacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak tasarımdan itibaren döngüsellik, verimlilik, yenilik ve kalite ile tıbbi ürünlerdeki değişimin en önemli itici gücü olmaya devam edecektir.

### **5.1.6. Enerjisini Üretebilen Sağlık Tesisleri**

Bir işletmenin kendi enerjisini, bünyesinde bulunan unsurlar ve doğal etkenler sayesinde elde etmesi günümüzde mümkündür. Sağlık tesislerinin çatılarının güneş enerjisi ile yapılması, rüzgâr enerjisinden faydalanılması en bilinen enerji kazanımı yoludur. Enerji kazanımı maksadıyla sağlık kuruluşlarının uygun, çevreci sistemler ve döngüsel ekonomi prensipleri sayesinde kendi enerjisini sağlaması mümkün olacaktır. Sağlık kuruluşları, mevcut sistemde olduğu gibi tıbbi atıklarını belediyeler aracılığı ile bertaraf etmek yerine, daha küçük, esnek, kendi kendine yeterli ve kendi enerjisini üretebilen kuruluşlar olarak örgütlenebilir.

İtalya'da yapılan bir araştırmanın sonuçlarında, döngüsel bir ekonomiye geçişte atıktan enerjiye dönüştürme tesisleri gibi arıtma veya bertaraf tesislerinin kullanımının etkisini vurgulamaktadır. Bu anlamda, sağlık kuruluşlarında üretilen atığın tekrar aynı sağlık kuruluşuna enerji olarak yansıtacağı sistemler geliştirilmelidir (Di Foggia & Beccarello, 2020).

### **5.1.7. Vergi Teşvikleri ve Standartlaşmanın Sağlanması**

Teşvikler, tüm sektörlerde finansman sağlamak ve yatırımlarını geliştirmesi için en önemli unsurdur. Sağlık sektöründe de hükümetler, eş zamanlı olarak hızlandırılmış bir tıbbi ürünün endüstriyel modernizasyonunu elde etmek amacıyla KOBİ'leri agresif bir şekilde finanse edebilir. Döngüsel sistemde, sağlık ürünlerinin satışını destekleyen düzenlemeler nedeniyle bu tıbbi ürünler, enerji, maliyet ve ekoloji olarak ön plana çıkacaktır. Basitleştirilmiş prosedürlerin uygulanması ve atık bertaraf işletmelerini desteklemek için vergi teşvikleri ve etkili politikalar sağlanmalıdır (Chen vd., 2021). Maliyetle ilgili teknoloji yatırımları devlet tarafından teşvik edilmeli ve desteklenmelidir (Kazançoğlu vd., 2021).

Politika yapımcıların, atık arıtma tesislerinin kurulmasına karşı tahsislerini engelleyen vergi ve yer tahsisi gibi kritik sorunların üstesinden gelmek için politika önlemleri belirlemeleri ve politika araçlarını tasarlarken Avrupa mevzuatına başvurup standartlaşma ile döngüsel atık yönetimine uyum sağlayabilmeleri gerekmektedir. Böylelikle aynı zamanda hizmetin maliyeti ile kalite seviyesi arasındaki tutarlılığı ve standartlaşmayı da sağlayacaktır. Atık arıtma tesislerinin donanımını yükseltmek ve ölçek ekonomilerini gerçekleştirmek, döngüsel bir ekonomiye geçiş için önemli bir

adım olarak kabul edilmektedir (Di Foggia & Beccarello, 2020). Örneğin, ani gelişen olağanüstü durumlarda hükümetler Wuhan şehrinde olduğu gibi ilk aşamada tıbbi atık bertaraf kapasitesi yetersiz olursa mobil bertaraf tesislerinin kullanarak, belediye atık yakma tesislerini kamulaştırmış ve saha dışı bertaraf uygulanarak çözüm üretebilmişlerdir.

#### **5.1.8. Döngüsel Bertaraf Tesislerinin Tasarımı**

Hükümetler, maksimum seviyede atık toplama, yeniden kullanım ve geri dönüşüm tesislerine ulaşmayı hedefleyerek atık yönetimini iyileştirmelidir. Tıbbi atıkların geri dönüşüm potansiyelini iyileştirmek için ön ayırma ve dezenfeksiyon zorunlu faktörler olup bunlara bertaraf tesislerinde önem verilmelidir (Prata vd., 2019; Silvaa vd., 2020). Tıbbi atık arıtma tesisleri, minimum personelin çalıştığı otomatik olarak işleyen tesisler olmalıdır. Hükümetler, patojen kaynaklı enfeksiyon bulaşma potansiyeli veya artan plastik ve aşırı miktarda artan tıbbi atık üretimi nedeniyle tıbbi atık bertaraf yönetimini iyileştirmeli, toplumun çevresel ve döngüsel bilgisini artırmaya çalışmalıdır (Teymourian vd., 2021).

Ani gelişen toplum sağlığını ilgilendiren acil durumlarına karşı kentsel tıbbi atığın bertaraf kapasitesi ve direnci derhâl arttırılabilir. Daha geniş ve büyük bir bölge düşünüldüğünde bertaraf kapasitesini yönetmek ve kaynakları koordine etmek için acil durum planları geliştirilmelidir. Tıbbi bir acil durumun ortaya çıkması durumunda, tıbbi atıklar en kısa sürede komşu şehirlerdeki bertaraf tesislerine aktarılabilir, bu nedenle altyapının bölgesel düzeyde koordine edilmesi tıbbi atık yönetim planlarında vurgulanmalıdır. Tıbbi atık üretiminin mekânsal olarak tahmin etmesi, depolama ihtiyaçlarını belirlemesi, bölgesel bir sevk merkezi kurulması, küçük hastanelerdeki depolama alanı eksikliğini ele alması, büyük hastanelerde bu alanı artırılması ve depolamanın mümkün olduğunca verimli hale getirilmesi için detaylı bir plan oluşturması gerekmektedir. Ayrıca, gelecekteki acil durumlara hazırlanmak için tıbbi atık bertaraf kapasitesi artırılmalıdır. Acil durumlarda kamulaştırılan yakma fırınlarının kullanılmasına ek olarak, atıklardaki büyük artışları ele almak için uygun dezenfeksiyondan sonra tıbbi kişisel koruyucu ekipmanların yeniden kullanılması dahil diğer olası çözümler uygulanabilir ancak her çözüm enfeksiyon riskini azaltmalıdır (Chen vd., 2021). Tüm bu tıbbi atık kriz durumlarında, verilerin doğru bir

şekilde toplanması ve bertaraf tesislerinin kapasiteleri dikkate alınarak tasarlanması sonucu daha kolay çözülebilecektir.

### **5.1.9. Akıllı ve Entegre Sistemler ile Tıbbi Atık Yönetimi ve Takibi**

Giderek artan dijitalleşme ve döngüsel ekonomiye artan ilgi sağlık kuruluşlarında ve tıbbi atık bertaraf tesislerinde uzaktan yönetim ihtiyacını beraberinde getirecektir. Döngüsel ve teknolojik gelişmeler, daha öngörülü ve atık önleyici olmaya yönelmelidir. Bu nedenle, sağlık hizmetlerinde dijital teknolojiler ve atık takip sistemlerine büyük önem verilmesi beklenmektedir. Tıbbi atık konusunda döngüsellik faaliyetleri, yeniden kullanım ve enerji üretimi yerine öncelikle reddetme, yeniden tasarlama ve azaltmaya yönelik olmalıdır.

Aynı zamanda sağlık, çevre ve şehirlerin yöneticileri tıbbi atık yönetim sisteminin bertaraf kapasitesini artırmak, akıllı yazılım sistemlerini kullanmak ve politika düzenlemeleri oluşturmak suretiyle yeni düzenlemelere yönelmelidir. Dinamik tıbbi atık izleme ve dijital atık transfer planlamasını teşvik etmek için akıllı yazılım sistemlerinden mutlaka yararlanılmalıdır. Böylelikle, sistem tarafından atık yönetimi departmanına atık transferinin gerekli olduğuna dair bir uyarı gönderilerek riskler azaltılabilecektir.

Ülkelerin, atıklarda meydana gelebilecek yığılmayı azaltmak ve toplumların potansiyel olarak bulaşıcı tıbbi atıklardan kaynaklı hastalıklara maruz kalmasını önlemek için güvenli ve döngüsel bir tıbbi atık imha sistemi benimsemelerine acil bir ihtiyaç vardır. Tıbbi atıkların çevreye duyarlı yönetiminin uygulanmasına yönelik bu ihtiyaçla birlikte, tıbbi atık sistemini döngüsel ekonomi konseptine doğru ilerletmeye yardımcı olacak bertaraf teknolojileri, ürünleri ve konseptleri geliştirerek ve bu konseptleri benimseyerek çözümler üretilmelidir. Doğrusal tıbbi atık modeli, tıbbi ürünlerin tek kullanım için tasarlandığı bir model olduğundan, bu tek kullanımlık modelin yerine, tasarlanan ürünlerin, özellikle plastikler olmak üzere tüm malzemelerin döngüsel bir akışını sağlamak için kullanımından sonra yeniden üretim aşamasına girdiği döngüsel bir konseptle değiştirilmesi gerekmektedir (Payne vd., 2019). Toplumdaki sağlık hizmeti alan insanların ve tıbbi atık eğitimi alan çalışanların atık yönetimi ve ağ teknolojileriyle birlikte bilinçlenmesiyle toplum sağlığı artabilecek, çevresel kirlilik azalır hale gelebilecektir.

Mevcut tıbbi atık yönetim sistemi, dünya çapında genellikle döngüsel ekonomi vizyonundan uzaktır. Hızla gelişen akıllı teknolojiler, atık yönetiminin döngüsel perspektife dönüşümünü hızlandırabilir ve destekleyebilir. Döngüsel ekonomi prensiplerinin uygulanması maksadıyla akıllı atık yönetiminin önündeki engellerin üstesinden gelmek için eylemlerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi gereklidir. Malzemelerin döngüsellliğini sağlamak, ürün ve tedarik zinciri tasarımı ile ele almak gereklidir. Bunu gerçekleştirirken enerjiyi daha verimli kullanmak, adil, sürdürülebilir ve yaşanabilir hayat için döngüsel ekonomi prensipleriyle entegre tıbbi atık yönetiminin değerlendirilmesi gerekmektedir (A. Zhang vd., 2019). Bu maksatla, tıbbi ürünlerin üretimden bertarafına kadar olan süreçte sağlık, çevre, teknoloji ve idari kurumlar arası oluşturulacak entegre yazılımlar ile akıllı sistemlerle takibi sağlanabilecek, oluşacak veriler ile döngüsel tıbbi atık yönetiminin teknoloji politikalarına yön verilebilecektir.

Tıbbi atığın üretim, toplama ve bertarafı sırasında sürekli olarak takip edebilmesini sağlayan uygulamalar kullanılarak atık izleme yazılımları geliştirilmeli ve bu sayede toplanan verilerden elde edilen bilgilerle tıbbi atık politikalarına yön verilmelidir (Indahningrum vd., 2020). Bununla birlikte, tıbbi atıklar için zayıf izleme sistemi ve düşük hesap verebilirlik nedeniyle, her düzeyde gerekirse ceza gibi yaptırımlar yoluyla düzeltilebileceği öngörülmektedir.

Mevcut atık yönetimi uygulamalarının boşlukları ve eksikliklerine istinaden merkezi bir atık yönetim sistemi için kavramsal bir çerçeve olarak, bir ürünün tüm ömrü boyunca takip edebilmek için ürün yaşam döngüsü verilerini uygun şekilde toplamak, atık oluşumunu önlemek için ürün yaşam döngüsü verilerine dayanan bir dizi yeni iş modeli oluşturmak, döngüsel akış için kaynağında atık ayırma ve zamanında toplama için akıllı sensör tabanlı bir altyapı gerekliliğine ihtiyaç vardır. Bu altyapı için, atıkları azaltmada ve atık geri kazanımını geliştirmede ürün yaşam döngüsü verilerinin değerinin ve atık yönetimi uygulamalarının tüm ürün yaşam döngüsüne bağlanma ihtiyacı vurgulanmaktadır. Atık yönetimi konularını araştırmak için izleme ve veri paylaşım teknolojilerinin kullanımı son derece gereklidir. Bilgi teknolojisini kullanan sensör tabanlı veri ve teknoloji iletişimi, atık taşıma kamyonu rotalarının yönetimi ve tüm bunları programlamak için teknoloji geliştirmeye ihtiyaç vardır (Esmailian vd., 2018). Hastane düzeyinde, daha etkin tıbbi atık yönetimiyle

tıbbi atıkların hastanelerden otomatik olarak toplanması ve transfer edilmesi için akıllı tıbbi atık transfer araçları kullanılmalı, bu durum özellikle tehlikeli tıbbi atıkların temasını minimum seviyeye indirerek riskleri azaltmaktadır (People's Health Network, 2020). Böylelikle akıllı sistemin yardımıyla hastaneler tıbbi atığı tedarikten nihai bertaraf noktasına kadar takip edilebilecektir (Network, 2020).

Atık toplama yönetimiyle ilgili geçmiş verilerin eksikliği hatalı karar vermeye, hatalı planlama ve tahminlere yol açabilir (Vitorino de Souza Melaré vd., 2017). Plansız atık toplama çevre kirliliğine, maliyet artışına ve yüksek yakıt tüketimine neden olacağından optimize edilmiş rota planlaması, akıllı tıbbi atık yönetim sistemindeki en önemli faktörlerden biridir. Optimal bir rota planlama modeli için algoritmalar geliştirilmedi. Geleneksel modellere göre daha uygun maliyetli ve çevre dostu döngüsel ekonomiye katkı sağlanması amacıyla maliyet hesaplaması için çöp kutularının durumu ve doldurma seviyeleri, yol tıkanıklığı durumu, mesafe gibi gerçek yaşam parametreleri dikkate alınarak veri analiziyle rotalar oluşturulmalıdır (Hossain vd., 2020).

#### **5.1.10. Döngüsel ve Çevre Dostu Ürünlerin Tercihi**

Tüm plastik atıklar için gereksiz plastik kullanımını azaltarak, yeniden kullanarak, plastiğin verimli kullanımını teşvik ederek, plastikten değerli malzemeleri çıkarıp kaynaklara dönüştürülerek, enerji geri kazanımını teşvik edilmelidir. Plastik atık ayak izi döngüsel ekonomi stratejilerine göre hassas bir şekilde yönetilebilir ve böylelikle en aza indirilebilecektir (Klemeš vd., 2020). Tıbbi atıklardan kaynaklı plastiklerinin geri dönüşümü, mevcut bertaraf tekniklerinin çevresel açıdan uygulanabilirliğe yönelik döngüsel teknolojilere yapılan yatırımlar, olağanüstü durumlar ve krizler esnasında tıbbi atık akışlarıyla başa çıkmanın anahtarı olabilir.

Biyo-plastik gibi çevre dostu malzemelere geçiş ve sürdürülebilir teknolojilerin uygulanması, tek kullanımlık plastiklerin mümkün olduğunca kullanılmaması ve bu yönde tüketici algısı üzerinde etki yaratılması, uzun vadeli döngüsel ekonomiye geçiş hedefleri için uygun olacaktır. Bireylerin kişisel sorumlulukları, kurumsal eylemler ve hükümet politikaları tıbbi atığın döngüsel yönetimi için gerekli olacaktır (Raja vd., 2020). Plastik tüketimi yaşam kalitemizi önemli ölçüde artırsa da biyo bazlı plastikler gibi sürdürülebilir alternatiflere geçiş çok önemlidir. Biyo bazlı plastikler, geri

dönüşüm amaçlarını ve atık yönetimi verimliliğini artırabilirken karbon ayak izini azaltabilecektir. Böylece geleneksel ve yakıt bazlı plastiklerin neden olduğu ekonomik ve çevresel baskı azalacaktır (Napper & Thompson, 2019). Biyolojik olarak parçalanabilen plastikler, açık hava yoluyla biyolojik veya enzimatik yani organik olarak eriyebilmesi nedeniyle kendiliğinden ayrıştıkları için ekstra faydalara sahiptir. Biyo plastikler kısmen veya tamamen kamış, patates, nişasta, selüloz, şeker, pamuk ve saman gibi biyolojik polimerlerden yapılır. Örneğin polisakkarit bazlı malzeme dolgululu doğal kauçuk lateks eldivenler biyolojik olarak parçalanabilen eldivenler kategorisindedir (Shen vd., 2020; Teymourian vd., 2021).

Tıbbi ürünlerin dögüsel tasarımından sonra sağlık hizmetlerinde kullanımı sırasında atık üretimini azaltarak, kaynağında ayırım yapılarak ve biyolojik olarak parçalanabilen plastik kullanımını yaygınlaştırılarak kamu bilincini artırmak için çabalanmalıdır. Tıbbi atık yönetimini geliştirmek için, geri dönüşüm endüstrisinde ve atık toplama performansına yönelik iyileştirmeler yapılmalı, dezenfeksiyondan sonra KKE'ler yeniden kullanılmasına odaklanılmalıdır. Tıbbi atık yönetimini için alternatif araştırmalara bütçe ayırmalı, biyolojik olarak parçalanabilen ürünler endüstrisinde iyileştirmelerle birlikte modern, dögüsel, sürdürülebilir teknolojilere yönelim sağlanmalıdır (Teymourian vd., 2021). Görüldüğü üzere sağlık sektöründeki satın alma sorumluları, tıbbi ürün alımlarını dögüsellik çerçevesinde tekrar kullanılabilir, çevreci, biyo-bozulabilir ürünleri, dögüsel sistemleri kullanan sağlık üreticilerinden tedarik etmeyi tercih etmelidirler.

#### **5.1.11. Yasal Düzenlemelerin Yapılması**

Birçok uluslararası anlaşma ve devlet düzeyinde çeşitli düzenlemelerin uygulanmasına rağmen, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerdeki birçok sağlık kuruluşunda güvenli ve etkili tıbbi atık yönetimi sağlanamamaktadır (Dieng vd., 2022). Tüm ülkelerin, salgınlar ve afetler gibi olağanüstü durumlarda ve sonrasında bulaşıcı atıkların devasa bir şekilde stoklanmasını önlemek için çevresel olarak dögüsel tıbbi atık yönetimini benimsemesi zorunlu hale gelmiştir (Singh vd., 2021a). Sağlık ürünlerinden kaynaklanan atıklar, çevre ve halk sağlığı tehlikeleri nedeniyle dünya çapında endişelere yol açtığından, mevcut tıbbi atık yönetim sistemlerinin analizi, ulusal politika yapıcılar ve uluslararası düzenlemeler için önemli bir görev



olup mevcut sistemler güvenli, ekonomik, çevresel ve en önemlisi dögüsel hale getirilmelidir.

Tıbbi atıkların bertarafı konusu, sağlık ve çevre sektörünün yanı sıra üretim ekonomisini de ilgilendirmektedir. Tıbbi ve medikal ürünlerin tasarımından itibaren üreticiler dögüsel tercihlerde bulunacak şekilde, sağlık hizmeti tüketicileri ve sağlık yöneticileri ise dögüsel şekilde üretilmiş ürünlerin alınması konusunda yasal düzenlemeler geliştirilmelidir. Tıbbi atık arıtma projelerinin uygulanmasını kolaylaştırmak için de yasal süreçler hızlandırılmalıdır (Chen vd., 2021).

Politika yapıcılar, risk değerlendirme indekslerine göre evsel, tıbbi ve diğer tehlikeli atıkların bertaraflarının gelecekteki güvenlik ve çevresel etkilerini azaltmak için acil ve hayati bir kamu hizmeti olarak kabul edileceği konusunda hemfikirdir. Bu ortak fikre istinaden, sağlık kuruluşlarının tehlikeli atık envanteri riskini azaltmalarına ve tehlikeli atık yönetimi seviyesini iyileştirmelerine yardımcı olmak için yeni bir risk değerlendirme indeks sistemi oluşturulmalıdır (Deng vd., 2020). Risk değerlendirme indeksinin sonuçlarına göre dögüsel tıbbi atık yönetim sistemlerinin yasal düzenlemeleri yapılmalıdır.

Ülkemizde tıbbi atık yönetmeliğinin dayanak noktası 2872 sayılı Çevre Kanunu olduğundan dolayı, tıbbi atık yönetiminde özellikle Sağlık Bakanlığının da yasal düzenleme çalışmalarına etkin bir şekilde katkı sunarak atık yönetimi konusunda Bilim ve Teknoloji Bakanlığının da yardımıyla dögüsel etki yaratması gerektiği düşünölmektedir. Ayrıca, tıbbi atık yönetmeliğine göre tehlikeli atıklar kapsamında kırmızı ve sarı renk olmak üzere iki toplama sistemi genişletilerek, her tehlikeli atık için kaynağında farklı renklerde toplama sistemi düzenlenmelidir. Sağlık kuruluşları yöneticileri, atıklarının toplanması, taşınması, sterilizasyonu ve bertarafı için gerekli harcamaları karşılamakla yasal olarak yükümlü olduğundan dolayı maliyetlerini azaltmak maksadıyla dögüsel tıbbi atık yönetimine odaklanmalı, yöneticiler de sağlık kuruluşlarında mikro dögüsel adımlarını ve sağlık kuruluşu yönetim talimatlarını güncellemelidir.

Yönetmeliğe göre sağlık kuruluşları, münferit tıbbi atık işleme tesisi kuramaz ve işletemez hükmündeki maddenin yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Çünkü son yıllarda ölkemizde sayısı giderek artan büyük şehir hastanelerinden çıkan çok sayıda atık düşünöldüğünde, hastanelerin kendi bünyesinde tıbbi atıklarını uygun

koşullarda bertaraf ederek enerji üretip maliyet ve çevre ekosistemine katkıda bulunması sağlanabilir.

Tıbbi atıkların çevreyle uyumlu bir şekilde yönetimine ilişkin program ve politikaları saptamak, iş birliği ve koordinasyonu sağlamak ve gerekli idari tedbirleri almak görevi her ne kadar Sağlık Bakanlığının sorumluluğuymuş gibi görünse de asıl sorumluluk yasalarla Çevre ve Şehircilik Bakanlığındadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, tıbbi atıkların oluşumundan bertarafına kadar yönetimlerini kapsayan bütün faaliyetlerin kontrolünü ve periyodik denetimlerini yapmak, tıbbi atık yönetimine ilişkin sistem ve teknolojilerin uygulanmasında ulusal ve uluslararası koordinasyonu sağlamak ve tıbbi atık işleme tesislerine çevre lisansı vermekten sorumludur. Ancak bu yasal sorumluluk; Sağlık Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Bakanlığı ile ortak Ar-Ge yürütülerek döngüsel uygulamaları kapsayacak şekilde yasal hale getirilmelidir.

#### **5.1.12. Dijitalleşmenin Benimsenmesi ve Teknoloji Entegrasyonu**

Pandemi sırasında yoğun olarak kullanılan solunum cihazları, tıbbi atık maskeleri ve koruyucu giysilerin etkisiyle günlük tıbbi atık üretimi tüm dünyada büyük ölçüde artmış ve tehlikeli tıbbi atık yönetimi için sağlam, teknolojiyle uyumlu döngüsel ve dijital bir yapılanmanın halk sağlığı acil durumlarında daha iyi bir tıbbi atık yönetimine yardımcı olabilecektir (Yu vd., 2020).

Özellikle tıbbi atık yönetim sistemi alt yapısı, kapasitesi ve atıkların izlemesi ile ilgili olarak politika ve uygulamalar arasındaki boşluklar dijitalleşme ile kapatılmalıdır. Bu boşlukları ortadan kaldırmak için yenilik ve teknoloji entegrasyonu sağlanarak özel ve kamu sektörü kuruluşlarıyla iş birliği yapılmalı, stratejiler üretilmelidir. Üretilen atık miktarı göz önüne alındığında, geri dönüşüm ve kaynak geri kazanımı için teknolojiye ve döngüsel ekonomiye dijitalleşme öncülüğünde yer verilmelidir.

Akıllı teknolojilerin büyük kapasitelerinin yanında uygulanmasında teknolojik zorluklar da bulunmaktadır. Bu nedenle yaygın engellerden biri teknoloji entegrasyonundaki zorluklardır (Zhang vd., 2019). Tıbbi atık yönetiminin döngüsel ekonomiye entegrasyonunu hızlandırabilecek bütünsel yaklaşımların olmadığı ve teknolojik adaptasyonun yetersiz olduğu anlaşılmaktadır (Kulkarni & Anantharama, 2020; Kyriakopoulos vd., 2019). Birçok sağlık kuruluşu ve ülke, teknoloji tabanlı

bulaşıcı tıbbi atık yönetimini yürütmek için uygun bilgiye veya yeteneğe sahip olmasa da özellikle bulaşıcı tıbbi atık yönetiminde en son teknolojileri kullanmanın gerekliliğini pandemi koşullarında anlamış ve uygulanmaya başlamışlardır (Onoda, 2020). Özetle, döngüsel tıbbi atık yönetimi için modern çağın gerekliliği olan dijitalleşmenin benimsenmesi ve teknolojik gelişmelere odaklı girişimlerin gerçekleşmesi gerekmektedir.

### **5.1.13 Otonom Sistemlerin Kullanımı**

Döngüsel ekonomi, öncelikle hizmet tabanlı döngüsel iş modeli, dijital varlıklar, kaynak yönetimi yaklaşımları, iyi organize edilmiş geri alma sistemleri otonom sistemler tarafından desteklenmektedir (Oghazi & Mostaghel, 2018). Döngüsel ekonomi ile üretilen atık için değer yaratılarak bu sektöre yeni bir şekil kazandırılmasının yanı sıra döngüsel iş uygulamaları kapsamında yeniden üretilmiş ürünler için bir pazar sağlanmaktadır. Büyükşehirlerde üretilen atıkların önemli bir bölümünün geri dönüştürülebilir olduğunu bilerek, fayda sağlayabilecek veya çevre sorunlarını azaltabilecek yeniden kullanım yöntemlerinin bilinmesi ve uygulanması gerekmektedir (Bianchini vd., 2019).

COVID-19'un dünya çapında yayılması otomatik, akıllı ve dijital teknolojilere bağımlılığı hızlandırmıştır. Teknoloji ve dijitalleşme yaklaşımlarının geniş bir çalışma ilişkileri anlayışıyla, çeşitli otomasyon teknolojileri ve dijital etkilerin çevresel maliyetleri üzerine yapılacak araştırmalarla ortaya koyulması ve ilgili paydaşların bilgilendirilmesi gereklidir (Khreiche, 2020). Tıbbi atık yönetimini döngüsel uygulamalarla birlikte iyileştirmek için tıbbi atıkların kaynağında ayrımının sağlanması için otomatik bir yöntem geliştirilmelidir. Bu durum ile birlikte sadece olumlu bir çevresel etki değil, aynı zamanda olumlu ekonomik sonuçlar da ortaya çıkacaktır (N. M. Kumar vd., 2021).

Wuhan şehrinin Wuhan Union Tıp Fakültesi Hastanesinde akıllı tıbbi atık yönetim sistemi yeni bir model ile uygulanmıştır. Bu uygulamada, tıbbi atığı toplama cihazının sesli ikaz ve konum sayesinde otomatik olarak devreye girerek atık üretim noktalarını gezdiği, atık atan kişilerin yüzünü otomatik olarak algılayıp kapağının açıldığı, tıbbi atık transfer aracıyla birlikte gelen yüksek hassasiyetli elektronik tartıya yerleştirilen atıkların otomatik olarak algılandığı, kendiliğinden yapışkanlı etiket

basıldığı sistem uygulanmıştır. Bu sistem sayesinde tıbbi atık torbasının çeşidi, ağırlığı, barkodu, bölümü ve toplama süresi açıkça öğrenilebilmiştir. Etiketlendikten sonra, tıbbi atık torbasını transfer arabasına koyularak, atık toplama odasının bir sonraki istasyonuna doğru yola çıkmaktadır. Aynı zamanda, hastanenin çevre koruma merkezinde bulunan büyük tıbbi atık izleme ekranında, diğer tıbbi atık transfer aracına yeni bir bulaşıcı tıbbi atık torbası eklendiği açıkça görüntülenebilmektedir. Günlük olarak kaç kilogram, ne tür tıbbi atığın hangi departmanlardan geldiği ve ne kadar süreyle geçici depolamada kaldığı gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir (Network, 2020). Bir başka örnek olarak ise Japonya'daki akıllı şehirlerin atık yönetiminde, Sanal Gerçekliğin (VR) uzaktan eğitim için etkili bir çözüm olabileceği belirtilmiş ve bu sayede atıkların izlenebilirliği önemsenmiştir. Sanal gerçeklik gibi akıllı yaklaşımların, akıllı çöp kutularına bağlanarak otomatik çöp toplamaya katkı sağlayacağı tespit edilmiştir (Onoda, 2020).

Hastanelerin tıbbi atık depolama kapasitesinin, acil durumlarda tıbbi atıktaki artışlarla başa çıkmak için döngüsel ve otonom sistemlerle iyileştirilmesi gerekmektedir (Alshraideh & Abu Qdais, 2017). Ayrıca atık yakma tesislerinde, atık arıtma, geri dönüşüm ve tüm bertaraf tesislerinde robotik kolların uzaktan kontrolü daha fazla önem kazanacaktır (Onoda, 2020). Tıbbi atık arıtma tesisleri, minimum personelin çalıştığı, otomatik sistemlerin olduğu, atık cins ve miktarına göre dijitalleşme ile kurulacak döngüsel bertaraf tesisleri olmalıdır.

#### **5.3.14. Bilgi Teknolojileri ve Veri Biliminin (IoT, Big Data, AI, GIS, Makine Öğrenimi) Kullanımı**

Özellikle olağanüstü dönemlerde tehlikeli tıbbi atık yönetiminde, bilgi teknolojilerine bağlı bilgi sistemi desteği ve alt yapı kullanılabilirliği, tehlikeli tıbbi atık yönetimini hızlı, zamansız ve sınırsız bir şekilde yönetilebilecek teknolojilerle mümkün olabilecektir (Rahayu vd., 2021). Bu gibi zorluklar her zaman olsa da geliştirilen otomasyon ve dijitalleşme örnekleriyle, veri bilimine dayanan tıbbi atık yönetimi döngüsel ekonomiye önemli katkılar sağlayacaktır. Tıbbi atık yönetimi konularını araştırmak için veri paylaşım teknolojilerinin kullanımı son derece gereklidir. Bilgi teknolojisini kullanan sensör tabanlı veri ve teknoloji iletişimi, veri iletim teknolojisi ve tüm bunları programlamak için teknoloji geliştirmeye ihtiyaç

vardır (Esmailian vd., 2018). Gelişmiş bir tıbbi veri sisteminin mevcudiyeti, farklı senaryoların görselleştirilmesini ve atık üretim eğilimlerinin tahmin edilmesini destekleyebilir, böylece tıbbi atık yönetimine rehberlik edebilir.

Tehlikeli tıbbi atık yönetimindeki en önemli zorlukların başında; mevcut yönetmeliklerin revize ihtiyacı, finans ve yatırımlardaki kısıtlamalar, tıbbi atık yönetimi hakkında farkındalık ve eğitim, IoT, Big Data, AI, GIS gibi bilgi teknolojileri uygulamalarının henüz yaygınlaşmaması gelmektedir. Bazı ülkelerde altyapı ve atık yönetimi teknolojisinin sınırlı mevcudiyeti nedeniyle, büyük veri ile atık yönetimi, IoT ve AI gibi bilgi teknolojisi kullanılarak atık yönetimine yardımcı olmak için çeşitli alternatif teknolojiler üzerinde çalışılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri entegre, döngüsel ve sürdürülebilir çözümler sağlamaya yardımcı olan teknolojik gelişmelerdendir (Ding vd., 2018). IoT ve GIS teknolojilerinin bir araya getirildiği, tehlikeli atık miktarını kontrol etmek ve üretilen atıkların konumlandırıldığı yerde izlemek için akıllı şehirlerin geliştirilmesinde tercih edilen IoT teknolojisi olup, bu teknoloji sayesinde tıbbi atık yönetimi verimli bir şekilde çalışabilecektir (Rahayu vd., 2021). Nesnelerin internetiyle (IoT) günümüzde çeşitli kablosuz sensörler kullanılarak yapılan ve herhangi bir manuel müdahaleye gerek kalmadan kablosuz olarak ağ geçidine veya sunuculara verimli bir veri aktaran çöp kovalarıyla akıllı bir atık izleme sistemi sunulabilmektedir (Dey vd., 2021). Bununla birlikte, robotik kol kullanarak ayırma yeteneğine sahip makinelerden oluşan üniteler de tercih edilebilir (Kansara vd., 2018). Elektrik kullanımını azaltmak ve çalışma süresini optimize etmek için tüm atık kutularını tanımlayan, veri toplayan ve kablosuz bir ağ üzerinden veri aktaran cihazlar uygulanabilir (Folianto vd., 2015). Entegre bir atık yönetimi ağı için IoT çerçevesi ile arayüz kullanılarak çalışan atık toplama cihazı, gerçek zamanlı olarak izlenebildiği için veri işleme ve yönetimi içeren sistemiyle atık yönetimine katkı sağlayabilecektir (Jim vd., 2019). IoT tabanlı bir akıllı çöp sisteminin gıda atığı miktarını %33 oranında azaltılabileceği, enerjide ise %16 tasarruf sağlanabileceği tespit edildiğinden benzer uygulamalar tıbbi atıklar için de uygulanabilecektir (Hong vd., 2014).

Atık yönetimini verimli bir şekilde gerçekleştirmek için basit, kullanışlı ve dijitalleşmeyle uyumlu bir atık izleme sistemi gereklidir. Bu sistemde atıkları sınıflandırma için makine öğrenimi, karar desteği ve otomasyon sağlamaktadır (Mutlag vd., 2020). Bilgisayar destekli sistemler, sınıflandırma, tahminler, atık

yönetimi ve geri dönüşümdeki eğilimleri belirleme gibi işlevleri yerine getirmeyi öğrenebilmektedir. Bu modelleri uygulamak için örnek verileri yorumlamak, çeşitli algoritmalar ve matematiksel yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Evsel atıkların uygun olmayan şekilde bertaraf edilmesinin etkilerini en aza indirmek için, atıkların geri dönüşüm kategorilerinde uygun şekilde sınıflandırılmasını amaçlayan makine öğrenimi tekniklerine dayalı entegre ve döngüsel yöntemler önerilmektedir (Bianchini vd., 2019).

Döngüsel tıbbi atık yönetiminin bilgi teknolojileri entegrasyonu kapsamındaki süreç için sağlık sektörünün çok paydaşlı yapısının dijital olarak yönetilmesi ihtiyacından paydaşların koordinesinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu süreç için bulut bilişim, yapay sinir ağları, optimizasyon, makine öğrenimi veri madenciliği gibi önemli teknoloji ve dijital çözümler uygulanması faydalı olacaktır (Kazançoğlu vd., 2021).

Yapay zeka algoritmaları, gerçek zamanlı atık bilgileri sağlamak, birçok tıbbi atık verisini analiz etmek için büyük veri analitiği ve bulut bilişim ile entegre olabilmektedir (Rahayu vd., 2021; Yu vd., 2020). Tıbbi atık akışlarını sıralamak için Yapay Zekâ (AI) tabanlı otomatik çözümler önerilmekte ve aynı zamanda döngüsel ekonomi bağlamında geri dönüşüm için veriye dayalı kararlar alınmasını sağlamaktadır. Örnek olarak, tasarlanan destek vektör isminde makineyle sınıflandırmaya dayalı model ile atık türlerini %96.5 doğruluk, %95.3 duyarlılık ve %95.9 özgüllük ile en iyi performansı sağlamıştır. Sonuç olarak, AI tabanlı otomatik sıralama ve sınıflandırma çözümü, tüketiciler arasındaki korkuları ortadan kaldırarak tıbbi atıklarının değerli kaynaklara dönüştürülmesine ve döngüsel ekonomiye uyumluluk sağlamasına yardımcı olacaktır (Kumar vd., 2021).

Diğer bir sistem ise akıllı telefonlar kullanarak bulaşıcı tıbbi atık bilgilerini işleyen bir blok zincirdir. Sistem, bir veri tabanı sunucu sisteminde merkezi atık depolama bilgilerini yönetir. Bu nedenle hastanelerden ve sağlık hizmetlerinden gelen atık üretim verilerini izleyebilmektedir. Atık yönetimine ilişkin veri ve bilgi akışını şeffaf bir şekilde sunulabilmektedir. Ortaya çıkan rapor, karar vericilerin tehlikeli tıbbi atıkların yönetimi konusunda daha iyimser olmalarına yardımcı olabilecektir (Gupta & Kumar, 2021). Yukarıda belirtilen örneklerde olduğu gibi bilgi teknolojilerinin kullanımı sağlanırsa, döngüsel tıbbi atık yönetimi de sağlanabilecektir.

### 5.1.15. Çevre Dostu Teknolojilerin Tercih

Mevcut tıbbi atık bertaraf yöntemlerinin modern çağa ve SKH'lere yönelik değişimi gerçekleştirmek için doğru yöntem olup olmadığı araştırılmalı, döngüsel ve sürdürülebilir bilişim teknolojilerini uygulayarak çevre dostu tıbbi atık arıtma teknolojilerinin yaygınlaştırılması sağlanmalıdır (Rahayu vd., 2021). Buna bağlı olarak, döngüsel ekonomi prensipleriyle birlikte çevre dostu teknolojilerin yenilenmesine, sağlık çalışanlarının ve atık bertaraf tesislerinin kapasitelerinin geliştirilmesine daha fazla önem verilmelidir. Tıbbi atığın güvenli bir şekilde toplanması, işlenmesi ve bertaraf edilmesi için öncelik verilmesi gereken hususlar sağlık kuruluşları yöneticileri tarafından makro düzeyden mikro düzeye kadar ele alınmalıdır (Goswami vd., 2021).

Tıbbi atık bertaraf yöntemleri teknolojilerinden; piroliz, ozon ve ultraviyole teknolojiler, atık ve atık su arıtımı için sürdürülebilir bir strateji olarak önerilebilir. Uygun bir bertaraf teknolojisi seçimi; atık miktarına, maliyetlere, atık türüne ve bertaraf tesisi bakımına göre değişmektedir. Yakma, ağır hacimlerde (> 10 t/gün) bulaşıcı tıbbi atıklar için en iyi seçenek olabilir ve kullanılan yüksek sıcaklık (800 °C'nin üzerindeki sıcaklık) nedeniyle patojenleri tamamen öldürür. Ayrıca, tıbbi atık miktarı çok yüksek (<10 t/gün) olarak değerlendirilmiyorsa, fiziksel dezenfeksiyon (yüksek sıcaklıkta buhar veya mikrodalga) veya kimyasal bertaraf bir seçenek olabilir (Gertsman vd., 2020).

Tıbbi atıkların düşük maliyetle bertaraf edilmesi, mümkün olduğunca katma değerli ve döngüsel ekonomiye uyumlu ürünlerin üretilmesi, değerli kaynakların geri kazanılması ve çevre üzerindeki etkilerin en aza indirilmesi için enerji tasarrufu sağlayan tıbbi atık piroliz süreci gibi yöntemler geliştirmelidir (Lu vd., 2020). Örneğin, tıbbi atıkların piroliziyle yüksek kalitede ve önemli miktarda biyo-yağ ve biyo-kömür üretilebilmektedir. Tıbbi atıklar ikinci en yüksek hidrojen içeriğine ve nispeten yüksek karbon içeriğine sahip olduğundan, çoğu geleneksel biyo-kütle yani atıklardan elde edilen biyolojik maddelerden oluşan malzemelerden daha iyi kullanım potansiyeline sahiptir. Tıbbi atıklar ikinci en yüksek uçucu maddeye sahip olduğundan piroliz ile daha fazla biyo-yağ üretileceği ve böylelikle döngüsel olacağı anlamına gelmektedir. Böylelikle biyo-yağlar geleneksel fosil yakıtların yerini alabilir ve bir dizi ekolojik, çevresel ve sosyal sorunu çözebilir (Su vd., 2021). Pirolizin özellikle ön arıtma prosesi

için enerji yoğun bir teknoloji olduğu birçok çalışmada ortaya konmuştur. Üretilen biyogazın yeniden kullanılması durumu hafifletme potansiyeline sahip olsa da yüksek maliyet, entegre tıbbi atık geri kazanım ve geri dönüşüm sistemlerinin tanıtılması ve uygulanmasının önündeki en büyük engel olmaya devam etmektedir. Özetle, Biyo-yağ ve biyo-kömür piroliz sürecin başlıca çıktılarıdır. Bu ürünler arasında biyo-yağ, fosil yakıtların yerini alma konusunda önemli bir potansiyele sahiptir ve giderek artan kontrolsüz fosil yakıt tüketiminin neden olduğu bir dizi çevre sorununu çözerek döngüsellğe katkı sağlayabilecektir (Fakayode vd., 2020). Tıbbi atıkların plastikleri ana bileşenler olduğundan, bu konuda tıbbi atıkların pirolizine dikkat çekildiği, benzin ve dizel gibi ticari yakıtlara yakın biyo yağın elde edilerek verimli sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür (Som vd., 2018). Sonuç olarak, geleneksel tıbbi atık arıtma yönteminin aksine, piroliz yöntemi, tıbbi atıkların bertarafı için çevre dostu bir arıtma yöntemidir. Dünyada üretilen çok sayıda tıbbi atık göz önüne alındığında, tıbbi atık miktarını azaltmak ve çeşitli katma değerli ürünler üretmek için piroliz uygulaması büyük potansiyellere sahiptir (Al-Salem vd., 2017).

#### **5.1.16. Teknoparklarda Unicorn Şirketlerin Teşviki**

İlk örnekleri 1950'lerin başında ABD'de kurulan Teknoparklar, kalkınma ve rekabet tüm ortamında da ülkeler için inovasyon ekosisteminin en yaygın ve üretken olduğu alanlardır. 2000'li yılların başından itibaren ivmelenen bilgi toplumuna geçiş süreci ile tüm sektörlerde önemli konuma gelerek inovasyon bir tercihten ziyade zorunluluk haline gelmiştir (Altuğ & Hocaoğlu, 2018). Teknoparklar, teknoloji üreten işletmeler ve yenilikçi girişimciler ile üniversite-sanayi iş birliğinin somutlaştığı, Ar-Ge çalışmalarının hızlandırıldığı, ülkelerin kalkınma araçlarından biri olarak kabul edilen önemli hibrit yapılarıdır (Sevsay vd., 2017). Döngüsel sistemler üzerine yaratıcı ve yenilikçi fikirlerin denenmesine olanak sağlayacak yazılım geliştiren firmaların ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması ve vergisel teşviklerin yazılım şirketleri için avantajlı ve cezbedici olması Teknoparklarda bilişim sektörünün en baskın sektör olmasını sağlamıştır (Altuğ & Hocaoğlu, 2018).

Sağlık ve çevre sektöründe de üretilen tıbbi atıklardan elde edilen bilginin analiz edilerek nitelikli, katma değerli, döngüsel ürün, hizmet ve süreçlere dönüşmesi sağlanabilecektir. Bu amaçla, sağlık ve yaşam bilimleri alanlarının yanı sıra genellikle



medikal ve farmasötik alanda faaliyet gösteren firmaların tercih ettiği Hacettepe Üniversitesi'nin Teknokentinden olduğu gibi tüm teknokentlerde sağlık, tıbbi atık ve döngüsellik üzerine firmaların ortaya çıkışı katma değerli ve döngüsel tıbbi atık yönetimine faydalı olabilecektir (Gülbaş, 2011).

Döngüsel tıbbi atık yönetiminin teknoparklarda teknoloji yoğun üretim ve girişimcilikle desteklenmesiyle ülke sanayisinin uluslararası rekabet gücü artabilir, teknoloji ihracatına yönelik bir yapıya kavuşturulması sağlanabilir, teknolojik ve döngüsel bilgiyle ve katma değeri yüksek ürünler üretilebilir, tıbbi ürünlerde ve üretim yöntemlerinde tasarımdan itibaren yeniliklerle geliştirilebilir, ürünlerin kalitesi, döngüselligi ve standardı yükseltilebilir, üretim maliyetleri düşürülebilir, teknolojik ve döngüsel bilgi harmanlanarak ticarileştirilebilir, araştırmacı ve vasıflı kişilere iş imkânı yaratılarak beyin göçü önlenebilir, üniversite-sanayi işbirliği güçlendirilerek Ar-Ge çalışmalarının ekonomik değere dönüşmesini sağlanabilir, farklı firmalar arası işbirliği ortamlarını oluşturulabilir.

Teknoparklarda döngüsel ekonomi alanlarına ilgi duyan özel sektöre; kurumlar vergisi, gelir vergisi, KDV muafiyeti, sigorta prim desteği, Ar-Ge personeli avantajı, destek personeli avantajı, Ar-Ge yatırım desteği, yatırım istisnası sağlanabilir. Ayrıca öğretim elemanlarına sürekli veya yarı zamanlı çalışma imkânı verilerek elde edecekleri gelirleri üniversite döner sermaye kapsamı dışında tutulabilir. Yapılan araştırmaların sonuçlarını ticarileştirmek isteyen öğretim elemanları Üniversite Yönetim Kurulunun izniyle şirket kurabilir, kurulu bir şirkete ortak olabilir veya bu şirketlerin yönetiminde görev alabilirler.

Sonuç olarak, teknoparklarda döngüsel tıbbi atık yönetimiyle alakalı teknoloji üreten ve ihraç eden bir yapıya geçilmesi, uluslararası rekabet gücüne kavuşulması için üniversite, sanayi, devlet iş birliğinin geliştirilmesi ve sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm sistemler ve ekonomiler, sağlık sisteminin sorunsuz olarak çalıştığı koşullarda gelişmekte ve sağlık hizmetlerindeki olumlu gelişmelere uyum göstererek sürdürülebilir hale gelmektedir. Sürdürülebilirliğin kapsamlı üst boyutu olan döngüsel ekonominin sağlık hizmetlerine süratle entegrasyonun sağlanması hususu ise birçok farklı açıdan ve sağlık hizmetlerini ilgilendiren konular açısından ele alınmalıdır. Bu maksatla, sağlık yöneticileri başta olmak üzere ilgili tüm yöneticiler tarafından döngüsel sağlık hizmetlerini oluşturmak için planlanma yapılarak icra edilmeye başlanmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Tüm atıkların özelinde tıbbi atıklar, bertarafına önem verilmesi gereken atıkların en başında gelmektedir. Sağlık hizmetlerinde döngüsel sağlık sistemlerine geçiş hususunda da en önemli konuların başında tıbbi atık yönetimi gelmektedir. Sağlık hizmetlerinde oluşan tıbbi atıklardan kaynaklı enfeksiyonun tüm topluma hızlı bir şekilde yayılması riski nedeniyle tüm sektörler olumsuz yönde etkilenebilecektir. Bu sebeple, tehlikeli olan tıbbi atıkların bertarafının değişen ekosistem ve çevre anlayışıyla yeniden ele alınması, tıbbi atıkların döngüsel prensiplerle yönetimi gerekmektedir.

Kapsayıcı sağlık sistemlerinin özel sağlık sistemleriyle doğru bir şekilde entegre edildiği, döngüsel ekonomi prensiplerini referans noktası olarak politikaların üretildiği ve teknoloji uyumluluğunun sağlandığı sağlık sistemlerinin tercih edilmesinin döngüsel tıbbi atık yönetimi için daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Son yılların önde gelen araştırma konularından olan döngüsel ekonomi ise bu amaçla tıbbi atık yönetiminin şekil almasına yardımcı olacaktır.

Döngüsel ekonomi kavramının yürütülen tez çalışması kapsamında yapılan incelemede sürdürülebilirlikten daha kapsamlı olduğu görülmüştür. Döngüsel ekonominin uygulanmasıyla küresel hedeflere ulaşmak için, tüm malzemeler ve tıbbi ürünler tasarımından itibaren bir döngü içerisinde kullanılarak nihai noktada enerji üretilerek hammadde, enerji ve maliyet kazanımları elde edilebilecektir. Mevcut tıbbi

ürünler için öncelikle malzemenin reddedilmesi değerlendirilecek, kullanımı gereken malzemelerin üreticileri tarafından dögüsel yöntemlerle üretimi ve tasarımı gerçekleşecek, kullanımı gerekli olan malzemeler yeniden düşünülerek azaltma hedeflenecek, kullanılan mevcut ürünlerin bakımı ve tamiri yapılarak uzun süre kullanılacak, ürünler modernleştirilerek yenilenebilecek, üründen farklı bir ürün elde etmek hedeflenecektir. Ürün yaşam döngüsünün sonuna gelmiş ürünler ise öncelikle geri dönüşüm için ayrılacak, geri dönüşüme girmeyen parçalar ise enerji kazanımı için yeniden sisteme döndürülecektir.

Mevcut çalışmanın kapsamı, tıbbi atık yönetiminde özellikle pandemi döneminin etkisi ile dünya çapında dögüsel tıbbi atık yönetimine olan ihtiyacın karşılanması ve etkin bir şekilde adımlar atılmasına yol göstermek olmuştur. Bu nedenle, bu çalışmada tıbbi atık yönetimini dögüsel ekonomi ile çevreleyen makro ortam analiz edilmiştir. Bu çalışma, teknoloji kullanımının yoğunluğunu dögüsellik açısından anlamayı amaçlamakta ve her ikisinin de tıbbi atık bertaraf teknolojilerinin değışen özelliklerinin etkili olduğu varsayılmaktadır.

Tıbbi atık ve dögüsel ekonomi literatürü aktarıldıktan sonra, sağık hizmetlerinde dögüsel tıbbi atık yönetiminin geleceğı için oluşturulacak yöntem tespit edilmiş ve yol haritası yöntemi açıklanmıştır. Yol haritasının oluşturulması için senaryo tabanlı bir yöntem tercih edilmiştir. Yöntemin belirlenmesinden sonra uygulamaya geçilmiştir. Uygulamamızda, COVID-19 salgını sırasında ve sonrasında dögüsel açıdan tıbbi atıkların yarattığı global durumdaki değışimler PESTEL (politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve yasal) analiziyle aktarılmıştır. Senaryo yaklaşımı benimsenerek politik, teknolojik, yasal ve çevresel konular incelenmiş ve politika ve teknoloji temelli iki ayrı senaryo dögüsel tıbbi atık yönetim sistemi merkeze alınarak oluşturulmuştur.

Mevcut tıbbi atık yönetimin durumu ve dögüsel tıbbi atık yönetimi yol haritasını oluşturmak için uzmanlarla görüşülmüş ve yerel durum analizi tespit edilmiştir. Uzman görüşmeleri ve literatür sentezi ışığında yol haritası oluşturulmuştur. Senaryolara göre oluşturulan yol haritasının içeriğinde, politika odaklı yönetim ve teknolojilerin değışmesi yoluyla olası yeni tercihler, gelecekteki senaryoların etkileri ve sağık kuruluşlarının örgütsel yapılarındaki dönüşümleri, yeni

beceri ve kapasite gereksinimleri, tıbbi atık eğitimi ve çevresel değişimleri gibi olası adımlar yer almaktadır.

İdeal ve optimal döngüsel senaryonun tercihi konusunda kesin bir karara varmak neredeyse imkansızdır. Sağlık kuruluşlarının açık bir şekilde politika odaklı ve teknoloji odaklı olarak ikiye ayrılıp ayrılamayacağı, tıbbi atık ve döngüsel ekonomi ilişkisi değerlendirildiğinde tartışmalı olup, karma senaryonun en optimal döngüsel atık yönetimini sağlayacağı değerlendirilmiş ve bulgular kısmında detaylı bir şekilde aktarılmıştır.

Oluşturulan senaryoların optimal bir şekilde uygulanması, döngüsel bir tıbbi atık sisteminin geliştirilmesi için yol haritası olarak belirlenerek 16 güçlü itici yön karma senaryo adımları olarak belirlenmiştir. Bunlar; döngüsel eğitim, çalışanların döngüsellığı benimsemesi için uyum, atıkları kaynağında ayırma ve kullanımını azaltma, tasarımdan itibaren döngüsellığı benimseme, tıbbi atık bertarafı dahil olmak üzere enerjisini kendi bünyesinde üretebilen sağlık tesisleri, vergi teşvikleri ve standartlaşmanın sağlanması, döngüsel bertaraf tesislerinin tasarlanması, akıllı ve entegre sistemler ile tıbbi atık yönetimi ve takibi, çevre dostu tıbbi ürünlerin tercihi ve döngüsel prensiplerle satın alma gerçekleştirme, tıbbi atıklar için döngüsel yasal düzenlemelerin yapılması, dijitalleşmenin benimsenmesi ve teknoloji entegrasyonunun sağlanması, otonom sistemlerin kullanımına geçilmesi, bilgi teknolojilerinin ve veri biliminin (IoT, Big Data, AI, GIS, Makine Öğrenimi) kullanımı çevre dostu bertaraf teknolojilerinin tercihi, teknoparklarda unicorn şirketlerin teşvikidir.

Sonuç olarak, kendine yetebilen enerjiyi ve sağlık ürünlerini verimli yönetebilen sağlık sistemlerinde tıbbi atık yönetiminin döngüsel adımlarla oluşturulabileceği, gelecekte ise döngüsel ekonomi prensipleriyle tıbbi atıkların üretildiği sağlık kuruluşları bünyesinde oluşturulan bertaraf sistemleriyle enerjiye dönüştürülüp tekrar döngüye sokularak sağlık tesislerinin enerji ihtiyacının karşılanmasının esas hedeflerden biri olması gerektiği söylenebilir.

Döngüsel ekonomi kavramı gelişen teknolojilere rağmen, diğer sektörlere göre sağlık hizmetlerinde tehlikeli atıkların varlığından ve bulaşma risklerinden dolayı yavaş bir hızda gelişmektedir. Tıbbi ürünlerin tedarik kaynağı olan üretim sektöründe diğer sektörlere oranla daha yavaş döngüsel gelişmelerin olduğu ve sağlık

hizmetlerinde döngüsel adımların azlığı dikkat çekmektedir. Bu sebeple gelecekte araştırmacılar, tıbbi atık ve sağlık hizmetlerindeki diğer gelişmelere paralel olarak, dijitalleşme, otonom sistemler ve akıllı teknolojiler ile veri analizlerine dayalı döngüsel sistemlerin gelişmesine büyük faydalar sağlayabileceklerdir. Bu anlamda tıbbi atıkların üretimden bertarafına kadar olan süreç bazında hangi bilgi teknolojilerinin ve hangi dijital teknolojilerin hangi bölümde uygulanabileceği konusu araştırmacılara açıktır. Tıbbi atıklarla birlikte tekstil, cam, plastik, elektronik gibi atıklarında döngüsel geçiş içinde yer almasından dolayı bu konuda hakkında araştırmalar geliştirilebilir. Ayrıca yenilenebilir atık bertaraf teknolojilerinin araştırılması, sağlık alanında genel olarak atık ve tıbbi atık eğitiminin döngüsel olarak yenilenmesi gerektiği görülmektedir. Döngüsel ekonomi ve tıbbi atık kavramlarını içeren verilerin kısmi oranda mevcut olması, tıbbi veri analizi alanların araştırmalara açık olduğunu ortaya koymakta ve böylece araştırmacıların bu konularda da araştırma yapmalarına imkân vermektedir. Bu nedenle döngüsel tıbbi atık eğitimi başta olmak üzere, döngüsel tıbbi atık teknolojilerinin oluşturulmasına odaklanması, akıllı otonom sistemlerin tıbbi atık alanında yaygınlaştırılması, ölçülebilir döngüsel analizlerin yapılması gibi araştırma konuları, sağlık ve çevre alanında araştırma yapmak isteyen araştırmacıların çalışmalarına ve bilimsel literatüre büyük katkı sağlayabilecektir.

## KAYNAKÇA

- A. Prüss, E. Giroult, P., & Rushbrook. (1999). *Safe management of wastes from healthcare activities*. 31–33.
- Abdulla, F., Abu Qdais, H., & Rabi, A. (2008). Site investigation on medical waste management practices in northern Jordan. *Waste Management*, 28(2), 450–458. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.035>
- Abdullah, M., & Al-Mukhtar, S. (2013). Assessment of Medical Waste Management in Teaching Hospitals in Mosul City. *Mosul Journal of Nursing*, 1(2), 40–44. <https://doi.org/10.33899/mjn.2013.162917>
- Abylkhani, B., Guney, M., Aiymbetov, B., Yagofarova, A., Sarbassov, Y., Zorpas, A. A., Venetis, C., & Inglezakis, V. (2021). Detailed municipal solid waste composition analysis for Nur-Sultan City, Kazakhstan with implications for sustainable waste management in Central Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(19), 24406–24418. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08431-x>
- Adu, R. O., Gyasi, S. F., Essumang, D. K., & Otabil, K. B. (2020). Medical Waste-Sorting and Management Practices in Five Hospitals in Ghana. *Journal of Environmental and Public Health*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/2934296>
- Agamuthu, P., & Barasarathi, J. (2020). Clinical waste management under COVID-19 scenario in Malaysia. *Waste Management and Research*, 5. <https://doi.org/10.1177/0734242X20959701>
- Ahmed Al-Mandhari, Dalia Samhour, A. A. and R. B. (2020). Coronavirus Disease 2019 outbreak: preparedness and readiness of countries in the Eastern Mediterranean Region. *Eastern Medi- Terranean Region. East Mediterr Health*, 26. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7>
- Al-Khatib, I. A., & Sato, C. (2009). Solid health care waste management status at health care centers in the West Bank - Palestinian Territory. *Waste Management*, 29(8), 2398–2403. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.014>

- Al-Salem, S. M., Antelava, A., Constantinou, A., Manos, G., & Dutta, A. (2017). A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). *Journal of Environmental Management*, *197*(1408), 177–198.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.084>
- Alagöz, A. Z., & Kocasoy, G. (2008). Determination of the best appropriate management methods for the health-care wastes in İstanbul. *Waste Management*, *28*(7), 1227–1235. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.05.018>
- Albright, R. E., & Kappel, T. A. (2003). Roadmapping in the corporation. *Research Technology Management*, *46*(2), 31–40.  
<https://doi.org/10.1080/08956308.2003.11671552>
- Ali, M., Wang, W., & Chaudhry, N. (2016). Application of life cycle assessment for hospital solid waste management: A case study. *Journal of the Air and Waste Management Association*, *66*(10), 1012–1018.  
<https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1196263>
- Allwood, J. M., Ashby, M. F., Gutowski, T. G., & Worrell, E. (2011). Material efficiency: A white paper. *Resources, Conservation and Recycling*, *55*(3), 362–381. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.002>
- Alshemari, A., Breen, L., Quinn, G., & Sivarajah, U. (2020). Can We Create a Circular Pharmaceutical Supply Chain (CPSC) to Reduce Medicines Waste? *Pharmacy*, *8*(4), 221. <https://doi.org/10.3390/pharmacy8040221>
- Alshraideh, H., & Abu Qdais, H. (2017). Stochastic modeling and optimization of medical waste collection in Northern Jordan. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *19*(2), 743–753. <https://doi.org/10.1007/s10163-016-0474-3>
- Altin, S., Altin, A., Elevli, B., & Cerit, O. (2003). Determination of hospital waste composition and disposal methods: A case study. *Polish Journal of Environmental Studies*, *12*(2), 251–255.
- Altuğ, S., & Hocoğlu, A. (2018). Teknoparkların İnovasyon Ekosistemindeki Yeri ve İnovasyon Başarısına Katkısı: Teknopark İzmir Özelinde Bilişim Sektöründe Bir Şirket Örneği. *İzmir Democracy University Social Sciences Journal*, *1*(1), 70–86.

- Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. (2013). *A review of scenario planning*. 46, 23–40.
- Amitha, A. J., & Manoj, V. (2020). Evidence-Based Analysis of Patterns of Challenges in Solid Waste Management by Urban Local Bodies in India. In *Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies* (Vol. 1). [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7071-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7071-7_4)
- Aung, T. S., Luan, S., & Xu, Q. (2019). Application of multi-criteria-decision approach for the analysis of medical waste management systems in Myanmar. *Journal of Cleaner Production*, 222, 733–745. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.03.049>
- Babae Tirkolae, E., & Aydın, N. S. (2021). A sustainable medical waste collection and transportation model for pandemics. *Waste Management and Research*, 3. <https://doi.org/10.1177/0734242X211000437>
- Backman, A., Skoog, M., Backman, A., & Larsson, T. (2020). *Replacing waste streams in the healthcare industry by applied technology Developing technology for a circular economy*. June.
- Barker, D., & Smith, D. J. H. (1995). Technology foresight using roadmaps. *Long Range Planning*, 28(2), 21–28. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(95\)98586-H](https://doi.org/10.1016/0024-6301(95)98586-H)
- Batterman, S. (2004). Findings on an Assessment of Small-scale Incinerators for Health-care Waste. *World Health Organization, Protection of the Human Environment*, 77. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/medicalwaste/en/smincinerators.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/en/smincinerators.pdf)  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/medicalwaste/smallincinerators/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/smallincinerators/en/)
- Bennett, C. C. (2013). Are we there yet? A journey of health reform in Australia. *Medical Journal of Australia*, 199(4), 251–255. <https://doi.org/10.5694/mja13.10839>
- Bergesen, H. O., Parmann, G., & Thommessen, O. B. (2019). Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal (Basel Convention). *Yearbook of International Cooperation on Environment and Development 1998–99*, 87–89. <https://doi.org/10.4324/9781315066547-15>



- Bianchini, A., Rossi, J., & Pellegrini, M. (2019). Overcoming the main barriers of circular economy implementation through a new visualization tool for circular business models. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(23).  
<https://doi.org/10.3390/SU11236614>
- Bilitewski, B. (2012). The Circular Economy and its Risks. *Waste Management*, *32*(1), 1–2. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2011.10.004>
- Birchard, K. (2002). Out of sight, out of mind...the medical waste problem. *Policy People Feature*, *359*(9300), 56. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)07256-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)07256-2)
- Birpinar, M. E., Bilgili, M. S., & Erdoğan, T. (2009). Medical waste management in Turkey: A case study of Istanbul. *Waste Management*, *29*(1), 445–448.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.03.015>
- Blenkharn, J. I. (2006). Standards of clinical waste management in UK hospitals. *Journal of Hospital Infection*, *62*(3), 300–303.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2005.08.005>
- Bonventre, J. V., Hurst, F. P., West, M., Wu, I., Roy-Chaudhury, P., & Sheldon, M. (2019). A technology roadmap for innovative approaches to kidney replacement therapies a catalyst for change. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, *14*(10), 1539–1547. <https://doi.org/10.2215/CJN.02570319>
- Borowy, I. (2020). Medical waste : the dark side of healthcare Resíduo hospitalar : o lado sombrio da assistência médica. *Supl Set*, *27*(June 2019), 231–251.
- Boyd, A. R., Ashby, B., & Steele, K. (2019). *HEALTH CARE ' S CLIMATE FOOTPRINT HOW THE HEALTH SECTOR CONTRIBUTES*. September.
- Braun, A., Barlow, J., Borch, K., Ryan, J., Saranummi, N., Vondeling, H., & Gil Alonso European, F. (2003). *Healthcare Technologies Roadmapping: The Effective Delivery of Healthcare in the Context of an Ageing Society (HCTRM)*.
- Bray, O. H., & Garcia, M. L. (1997). Technology roadmapping: The integration of strategic and technology planning for competitiveness. *Innovation in Technology Management - The Key to Global Leadership, PICMET 1997: Portland International Conference on Management and Technology*, 25–28.  
<https://doi.org/10.1109/PICMET.1997.653238>
- Bucătaru, C., Săvescu, D., Repanovici, A., Blaga, L., Coman, E., & Cocuz, M. E.

- (2021). The implications and effects of medical waste on development of sustainable society—a brief review of the literature. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(6). <https://doi.org/10.3390/su13063300>
- Budak, A., & Ustundag, A. (2017). Reverse logistics optimisation for waste collection and disposal in health institutions: the case of Turkey. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *20*(4), 322–341. <https://doi.org/10.1080/13675567.2016.1234595>
- Burmaoglu, S., Saritas, O., Kıdak, L. B., & Berber, İ. C. (2017). Evolution of connected health: a network perspective. *Scientometrics*, *112*(3), 1419–1438. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2431-x>
- Burmaoglu, S., & Saritas, O. (2017). Changing characteristics of warfare and the future of Military R&D. *Technological Forecasting and Social Change*, *116*, 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.10.062>
- Burt, G., Wright, G., Bradfield, R., Cairns, G., & van der Heijden, K. (2006). The Role of Scenario Planning in Exploring the Environment in View of the Limitations of PEST and Its Derivatives. *International Studies of Management & Organization*, *36*(3), 50–76. <https://doi.org/10.2753/imo0020-8825360303>
- Cai, X., & Du, C. (2021). Thermal Plasma Treatment of Medical Waste. In *Plasma Chemistry and Plasma Processing* (Vol. 41, Issue 1). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s11090-020-10119-6>
- Calma, J. (2020). The COVID-19 pandemic is generating tons of medical waste. In *The Verge: Vol. Maret* (Issue 9, pp. 21–25). <https://www.theverge.com/2020/3/26/21194647/the-covid-19-pandemic-is-generating-tons-of-medical-waste>
- Caniato, M., Tudor, T., & Vaccari, M. (2015). International governance structures for health-care waste management: A systematic review of scientific literature. *Journal of Environmental Management*, *153*, 93–107. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2015.01.039>
- Carvalho, M. M., Fleury, A., & Lopes, A. P. (2013). An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, *80*(7), 1418–1437.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.11.008>

Castellani, V., Sala, S., & Mirabella, N. (2015). Beyond the throwaway society: A life cycle-based assessment of the environmental benefit of reuse. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 11(3), 373–382.

<https://doi.org/10.1002/ieam.1614>

Çetinkaya, A. Y., Kuzu, S. L., & Demir, A. (2020). Medical waste management in a mid-populated Turkish city and development of medical waste prediction model. *Environment, Development and Sustainability*, 22(7), 6233–6244.

<https://doi.org/10.1007/s10668-019-00474-6>

Chaerul, M., Tanaka, M., & Shekdar, A. V. (2008). Resolving complexities in healthcare waste management: A goal programming approach. *Waste Management and Research*, 26(3), 217–232.

<https://doi.org/10.1177/0734242X07076939>

Chand Malav, L., Yadav, K. K., Gupta, N., Kumar, S., Sharma, G. K., Krishnan, S., Rezania, S., Kamyab, H., Pham, Q. B., Yadav, S., Bhattacharyya, S., Yadav, V. K., & Bach, Q. V. (2020). A review on municipal solid waste as a renewable source for waste-to-energy project in India: Current practices, challenges, and future opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123227.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123227>

Chartier, Y., Emmanuel, J., Pieper, U., Rushbrook, P., Stringer, R., Townend, W., Wilburn, S., & Zghondi, R. (2014). Definition and characterization of health-care waste. *Safe Management of Wastes from Health-Care Activities*, 2–27.

<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42175/1/9241545259.pdf>

Chauhan, A., Jakhar, S. K., & Chauhan, C. (2021). The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123854.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123854>

Chen, C., Chen, J., Fang, R., Ye, F., Yang, Z., Wang, Z., Shi, F., & Tan, W. (2021). What medical waste management system may cope With COVID-19 pandemic: Lessons from Wuhan. *Resources, Conservation and Recycling*, 170(December 2020), 105600. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105600>

- Cheng, M. N., Cheung, C. F., Fung, S. H., & Tsang, K. K. (2014). A hybrid roadmapping method for technology forecasting and assessment: A case study in an Information and Communication Technology Company. *PICMET 2014 - Portland International Center for Management of Engineering and Technology, Proceedings: Infrastructure and Service Integration, June 2016*, 2882–2890.
- Cheng, Y. W., Sung, F. C., Yang, Y., Lo, Y. H., Chung, Y. T., & Li, K. C. (2009). Medical waste production at hospitals and associated factors. *Waste Management*, 29(1), 440–444. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.01.014>
- Chin, M. H., Clarke, A. R., Nocon, R. S., Casey, A. A., Goddu, A. P., Keesecker, N. M., & Cook, S. C. (2012). A roadmap and best practices for organizations to reduce racial and ethnic disparities in health care. *Journal of General Internal Medicine*, 27(8), 992–1000. <https://doi.org/10.1007/s11606-012-2082-9>
- Ciplak, N., & Barton, J. R. (2012). A system dynamics approach for healthcare waste management: A case study in Istanbul Metropolitan City, Turkey. *Waste Management and Research*, 30(6), 576–586. <https://doi.org/10.1177/0734242X12443405>
- Ciplak, N., & Kaskun, S. (2015). Healthcare waste management practice in the West Black Sea Region, Turkey: A comparative analysis with the developed and developing countries. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 65(12), 1387–1394. <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1076539>
- Coates, V., Farooque, M., Klavans, R., Lapid, K., Linstone, H. A., Pistorius, C., & Porter, A. L. (2001). On the future of technological forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 67(1), 1–17. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(00\)00122-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(00)00122-0)
- Cobo, S., Dominguez-Ramos, A., & Irabien, A. (2018). From linear to circular integrated waste management systems: a review of methodological approaches. *Resources, Conservation and Recycling*, 135(July), 279–295. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.003>
- Colón, J., Mestre-Montserrat, M., Puig-Ventosa, I., & Sánchez, A. (2013). Performance of compostable baby used diapers in the composting process with the organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management*, 33(5), 1097–

1103. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.018>

Comission, E. (2020). *European Commission Waste management in the context of the coronavirus crisis*. April, 1–5.

Coronel, B., Duroselle, P., Behr, H., Moskovtchenko, J. F., & Freney, J. (2002). In situ decontamination of medical wastes using oxidative agents: A 16-month study in a polyvalent intensive care unit. *Journal of Hospital Infection*, 50(3), 207–212. <https://doi.org/10.1053/jhin.2002.1188>

Cramer, J. (2022). Building a Circular Future. Ten Takeaways for Global Changemakers. In *Danish Environmental Protection Agency*. [www.amsterdameconomicboard.com](http://www.amsterdameconomicboard.com)

D. Barker, D. J. H. S. (1995). Technology foresight using roadmaps. *Journal of Forecasting* 14 (3), 267-285, August, 1995.

Da Silva, C. E., Hoppe, A. E., Ravanello, M. M., & Mello, N. (2005). Medical wastes management in the south of Brazil. *Waste Management*, 25(6 SPEC. ISS.), 600–605. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.002>

Dabab, M., Craven, R., Barham, H., & Gibson, E. (2018). Exploratory strategic roadmapping framework for big data privacy issues. *PICMET 2018 - Portland International Conference on Management of Engineering and Technology: Managing Technological Entrepreneurship: The Engine for Economic Growth, Proceedings*, 1–9. <https://doi.org/10.23919/PICMET.2018.8481834>

Damgaard, A., Larsen, A. W., & Christensen, T. H. (2009). Recycling of metals: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management and Research*, 27(8), 773–780. <https://doi.org/10.1177/0734242X09346838>

Das, A. K., Islam, M. N., Billah, M. M., & Sarker, A. (2021). COVID-19 pandemic and healthcare solid waste management strategy – A mini-review. *Science of the Total Environment*, 778, 146220. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146220>

Datta, P., Mohi, G., & Chander, J. (2018). Biomedical waste management in India: Critical appraisal. *Journal of Laboratory Physicians*, 10(01), 006–014. [https://doi.org/10.4103/jlp.jlp\\_89\\_17](https://doi.org/10.4103/jlp.jlp_89_17)

- Deng, F., Li, Y., Lin, H., Miao, J., & Liang, X. (2020). A Bwm-Topsis Hazardous Waste Inventory Safety Risk Evaluation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(16), 1–18.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph17165765>
- Devised, I. S., For, I., Assessment, T., Without, I. S., To, R., Considerations, C., To, P., Products, I., & Equipment, O. R. (2009). *International Technology Roadmap for Semiconductors*.
- Dey, M. T., Chatterjee, P., & Chakrabarti, A. (2021). Smart Waste Monitoring Using Internet of Things. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *1174*(January), 419–433. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5616-6\\_30](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5616-6_30)
- Di Foggia, G., & Beccarello, M. (2020). Drivers of municipal solid waste management cost based on cost models inherent to sorted and unsorted waste. *Waste Management*, *114*, 202–214.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.012>
- Diaz, L. F., Savage, G. M., & Eggerth, L. L. (2005). Alternatives for the treatment and disposal of healthcare wastes in developing countries. *Waste Management*, *25*(6 SPEC. ISS.), 626–637. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.01.005>
- Dieng, C., Mberu, B., Dimbuene, Z. T., Faye, C., Amugsi, D., & Aboderin, I. (2022). Biomedical waste management in Dakar, Senegal: legal framework, health and environment issues; policy and program options. *Cities and Health*, *6*(1), 208–222. <https://doi.org/10.1080/23748834.2020.1786228>
- Ding, Z., Zhu, M., Wu, Z., Fu, Y., & Liu, X. (2018). Combining AHP-entropy approach with GIS for construction waste landfill selection—A case study of Shenzhen. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(10). <https://doi.org/10.3390/IJERPH15102254>
- EC. (2000). Commission decision of 3 May 2000 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on waste and Council Decision 94/904/EC establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1(4) of C. *Official Journal of the European Commission*, *L 226*(3), 3–24.
- Eckelman, M. J., & Sherman, J. (2016). Environmental impacts of the U.S. health

- care system and effects on public health. *PLoS ONE*, *11*(6), 1–14.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157014>
- Esmailian, B., Wang, B., Lewis, K., Duarte, F., Ratti, C., & Behdad, S. (2018). The future of waste management in smart and sustainable cities: A review and concept paper. *Waste Management*, *81*, 177–195.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.047>
- Fakayode, O. A., Aboagarib, E. A. A., Zhou, C., & Ma, H. (2020). Co-pyrolysis of lignocellulosic and macroalgae biomasses for the production of biochar – A review. *Bioresource Technology*, *297*, 122408.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122408>
- Ferdowsi, A., Ferdosi, M., & Mehrani, M. (2013). Incineration or Autoclave? A Comparative Study in Isfahan Hospitals Waste Management System (2010). *Materia Socio Medica*, *25*(1), 48. <https://doi.org/10.5455/msm.2013.25.48-51>
- Fernandez, F., & Pallis, G. (2014). *Opportunities and challenges of the Internet of Things for healthcare*. 263–266.  
<https://doi.org/10.4108/icst.mobihealth.2014.257276>
- Ferreira, V., & Teixeira, M. R. (2010). Healthcare waste management practices and risk perceptions: Findings from hospitals in the Algarve region, Portugal. *Waste Management*, *30*(12), 2657–2663.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.07.012>
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>
- Fisman, D., & Tuite, A. R. (2014). Ebola: No time to waste. *The Lancet Infectious Diseases*, *14*(12), 1164–1165. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(14\)70851-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(14)70851-5)
- Folianto, F., Low, Y. S., & Yeow, W. L. (2015). Smartbin: Smart waste management system. *2015 IEEE 10th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, ISSNIP 2015*.  
<https://doi.org/10.1109/ISSNIP.2015.7106974>
- Friedewald, M., & Da Costa, O. (2003). Science and Technology Roadmapping: Ambient Intelligence in Everyday Life. *Unpublished Working Paper, Institute*

*for Prospective Technological Studies (IPTS), June.*

- Gallaud, D., & Laperche, B. (2016). Circular economy, industrial ecology and short supply chain. In *Circular Economy, Industrial Ecology and Short Supply Chain* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1002/9781119307457>
- Gao. (2008). *REPROCESSED SINGLE-USE MEDICAL DEVICES: FDA Oversight Has Increased, and Available Information Does Not Indicate That Use Presents an Elevated Health Risk*. January, 38.
- Gehin, A., Zwolinski, P., & Brissaud, D. (2008). A tool to implement sustainable end-of-life strategies in the product development phase. *Journal of Cleaner Production*, 16(5), 566–576. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2007.02.012>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gerdri, N., Assakul, P., & Vatananan, R. S. (2010). An activity guideline for technology roadmapping implementation. *Technology Analysis and Strategic Management*, 22(2), 229–242. <https://doi.org/10.1080/09537320903498553>
- Gertsman, S., Agarwal, A., O’Hearn, K., Webster, R., Tsampalieros, A., Barrowman, N., Sampson, M., Sikora, L., Staykov, E., Ng, R., Gibson, J., Dinh, T., Agyei, K., Chamberlain, G., & McNally, J. D. (2020). Microwave- and heat-based decontamination of N95 filtering facepiece respirators: a systematic review. *Journal of Hospital Infection*, 106(3), 536–553. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.08.016>
- Geum, Y., Lee, S., Kang, D., & Park, Y. (2011a). Technology roadmapping for technology-based product-service integration: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M*, 28(3), 128–146. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2011.03.002>
- Geum, Y., Lee, S., Kang, D., & Park, Y. (2011b). The customisation framework for roadmapping product-service integration. *Service Business*, 5(3), 213–236. <https://doi.org/10.1007/s11628-011-0111-0>
- Ghasemi, M. K., & Yusuff, R. B. M. (2016). Advantages and disadvantages of healthcare waste treatment and disposal alternatives: Malaysian scenario. *Polish*



- Journal of Environmental Studies*, 25(1), 17–25.  
<https://doi.org/10.15244/pjoes/59322>
- Gilden, D. J., Scissors, K. N., & Reuler, J. B. (1992). Disposable products in the hospital waste stream. *Western Journal of Medicine*, 156(3), 269–272.
- Gören, S., & Özdemir, F. (2011). Regulation of waste and waste management in Turkey. *Waste Management and Research*, 29(4), 433–441.  
<https://doi.org/10.1177/0734242X10378887>
- Goswami, M., Goswami, P. J., Nautiyal, S., & Prakash, S. (2021). Challenges and actions to the environmental management of Bio-Medical Waste during COVID-19 pandemic in India. *Heliyon*, 7(3), e06313.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06313>
- Govindan, K., Nosrati-Abarghoee, S., Nasiri, M. M., & Jolai, F. (2022). Green reverse logistics network design for medical waste management: A circular economy transition through case approach. *Journal of Environmental Management*, 322. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.115888>
- Groenveld, P. (1997). Roadmapping integrates business and technology. *Research Technology Management*, 40(5).  
<https://doi.org/10.1080/08956308.1997.11671157>
- Gülbaş, S. Y. (2011). İnovasyon : Teknopark Modeli. *ANKEM Dergisi*, 25(Ek 2), 139–145.
- Gupta, M., & Kumar, V. (2021). Revealing the Demonstration of Blockchain and Implementing Scope in COVID-19 Outbreak. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, 29, 1–11. <https://doi.org/10.4108/EAI.13-7-2018.165520>
- Gürses, M. (2007). *Kısıtlar Teorisi ve Proje Yönetiminde Bir Uygulama*. 30(22 Jan), 588–595.
- Hagen, D. L., Al-Humaidi, F., & Blake, M. A. (2001). Infectious waste surveys in a Saudi Arabian hospital: An important quality improvement tool. *American Journal of Infection Control*, 29(3), 198–202.  
<https://doi.org/10.1067/mic.2001.114224>
- Hahladakis, J. N., Iacovidou, E., & Gerassimidou, S. (2020). Plastic waste in a

- circular economy. *Plastic Waste and Recycling, March*, 481–512.  
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817880-5.00019-0>
- Hamilton, C., Maw, A., Gill, A., Brahmhatt, M., Phaal, R., & Pickard, J. (2017). Paediatric neurorehabilitation: Finding and filling the gaps through the use of the institute for manufacturing strategic roadmapping method. *BMJ Innovations*, 3(3), 137–143. <https://doi.org/10.1136/bmjinnov-2017-000202>
- Hasan, M. M., & Rahman, M. H. (2018). Assessment of Healthcare Waste Management Paradigms and Its Suitable Treatment Alternative: A Case Study. *Journal of Environmental and Public Health*, 2018.  
<https://doi.org/10.1155/2018/6879751>
- Hassan, M. F., & Shareefdeen, Z. (2021). Recent Developments in Sustainable Management of Healthcare Waste and Treatment Technologies. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, N/A(N/A), 0–0. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d9.0384>
- Hauri, A. M., Armstrong, G. L., & Hutin, Y. J. F. (2004). The global burden of disease attributable to contaminated injections given in health care settings. *International Journal of STD and AIDS*, 15(1), 7–16.  
<https://doi.org/10.1258/095646204322637182>
- Haylamicheal, I. D., Dalvie, M. A., Yirsaw, B. D., & Zegeye, H. A. (2011). Assessing the management of healthcare waste in Hawassa city, Ethiopia. *Waste Management and Research*, 29(8), 854–862.  
<https://doi.org/10.1177/0734242X10379496>
- Holmes, C. J., Ferrill, M. B. A., & Phaal, R. (2004). Reasons for roadmapping: A study of the Singaporean SME manufacturing sector. *IEEE International Engineering Management Conference*, 1, 292–296.  
<https://doi.org/10.1109/iemc.2004.1407122>
- Hong, I., Park, S., Lee, B., Lee, J., Jeong, D., & Park, S. (2014). IoT-Based Smart Garbage System for Efficient Food Waste Management. *Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/646953>
- Hong, J., Zhan, S., Yu, Z., Hong, J., & Qi, C. (2018). Life-cycle environmental and economic assessment of medical waste treatment. *Journal of Cleaner*

- Production*, 174, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.206>
- Hossain, M. A., Ahmady, I., Harith, M. Z. M. Z., Idris, M. Y. I., Soon, T. K., Noor, R. M., & Yusoff, S. B. (2020). Route Optimization by using Dijkstra's Algorithm for the Waste Management System. *ACM International Conference Proceeding Series*, 110–114. <https://doi.org/10.1145/3388176.3388186>
- Human Rights Council, U. N. (2011). *Human Rights Council Eighteenth session Agenda item 3 Promotion and protection of all human rights, civil, political, economic, social and cultural rights, including the right to development Report of the Special Rapporteur on the adverse effects of the m. July*. [https://noharm-europe.org/sites/default/files/documents-files/1683/A-HRC-18-31\\_en.pdf](https://noharm-europe.org/sites/default/files/documents-files/1683/A-HRC-18-31_en.pdf)
- Hussain, M., Tapinos, E., & Knight, L. (2017). Scenario-driven roadmapping for technology foresight. *Technological Forecasting and Social Change*, 124, 160–177. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.005>
- Ikiz, E., Maclaren, V. W., Alfred, E., & Sivanesan, S. (2021). Impact of COVID-19 on household waste flows, diversion and reuse: The case of multi-residential buildings in Toronto, Canada. *Resources, Conservation and Recycling*, 164(June 2020), 105111. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105111>
- Inaba, T., & Iwao, T. (2000). Treatment of waste by dc arc discharge plasmas. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 7(5), 684–692. <https://doi.org/10.1109/94.879362>
- Indahningrum, R. putri, Naranjo, J., Hernández, Naranjo, J., Peccato, L. O. D. E. L., & Hernández. (2020). Generation of COVID19 related Biomedical Waste in States. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2507(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.027%0Ahttps://www.golder.com/insights/block-caving-a-viable-alternative/%0A???>
- Insa, E., Zamorano, M., & López, R. (2010). Critical review of medical waste legislation in Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1048–1059. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.06.005>
- Jaffer S. (2013). *Medical waste illegally sold off from Pakistan*, Available at: <http://www.bbc.com/news/av/world-asia-22130292/medical-waste-illegally-sold-off-from-pakistan-hospital> (accessed 6 June 2021).

- Jaffrey. (2011). A case study: Biomedical waste management practices at city hospital in Himachal Pradesh. *Waste Management and Research*, 29(6), 669–673. <https://doi.org/10.1177/0734242X10396753>
- Jang, Y. C., Lee, C., Yoon, O. S., & Kim, H. (2006). Medical waste management in Korea. *Journal of Environmental Management*, 80(2), 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.08.018>
- Jim, A. A. J., Kadir, R., Al Mamun, M. A., Nahid, A. Al, & Ali, M. Y. (2019). A Noble Proposal for Internet of Garbage Bins (IoGB). *Smart Cities 2019, Vol. 2, Pages 214-229*, 2(2), 214–229. <https://doi.org/10.3390/SMARTCITIES2020014>
- Kahn, H. (1965). *On Escalation: Metaphors and Scenarios*.
- Kahn, H., & Wiener, A. (1967). *The year 2000; A framework For Speculation On The Next Thirty-Three Years : Kahn, Herman, 1922-1983 : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive*. <https://archive.org/details/year2000framewor00kahn/page/n9/mode/2up>
- Kane, G. M., Bakker, C. A., & Balkenende, A. R. (2018). Towards design strategies for circular medical products. *Resources, Conservation and Recycling*, 135(June), 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.030>
- Kanmani, S., & Gandhimathi, R. (2013). Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site. *Applied Water Science*, 3(1), 193–205. <https://doi.org/10.1007/s13201-012-0072-z>
- Kansara, R., Bhojani, P., & Chauhan, J. (2018). Smart Waste Management for Segregating Different Types of Wastes. *Undefined*, 808, 33–46. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1402-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1402-5_3)
- Kappel, T. A. (2001). Perspectives on roadmaps: How organizations talk about the future. In *Journal of Product Innovation Management* (Vol. 18, Issue 1, pp. 39–50). [https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(00\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(00)00066-7)
- Kargar, S., Paydar, M. M., & Safaei, A. S. (2020). A reverse supply chain for medical waste: A case study in Babol healthcare sector. *Waste Management*, 113, 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.052>
- Kasidoni, M., Moustakas, K., & Malamis, D. (2015). The existing situation and challenges regarding the use of plastic carrier bags in Europe.

<https://doi.org/10.1177/0734242X15577858>, 33(5), 419–428.

<https://doi.org/10.1177/0734242X15577858>

- Kazançoğlu, Y., Sağnak, M., Lafcı, Ç., Luthra, S., Kumar, A., & Taçoğlu, C. (2021). Big data-enabled solutions framework to overcoming the barriers to circular economy initiatives in healthcare sector. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14). <https://doi.org/10.3390/ijerph18147513>
- Kenchington, H. S., Eisenhauer, J. L., & Green, J. A. S. (1997). A technology roadmap for the U.S. aluminum industry. *Jom*, 49(8), 18–21. <https://doi.org/10.1007/BF02914392>
- Kenny, C., & Priyadarshini, A. (2021). Review of current healthcare waste management methods and their effect on global health. *Healthcare (Switzerland)*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/healthcare9030284>
- Khan, B. A., Cheng, L., Khan, A. A., & Ahmed, H. (2019). Healthcare waste management in Asian developing countries: A mini review. *Waste Management and Research*, 37(9), 863–875. <https://doi.org/10.1177/0734242X19857470>
- Khreiche, M. (2020). The cost of labour and energy in digital media and automation technologies beyond the COVID-19 pandemic. *Journal of Environmental Media*, 1(1), 8.1-8.8. [https://doi.org/10.1386/jem\\_00029\\_1](https://doi.org/10.1386/jem_00029_1)
- Kilgroe, J. D. (1996). Control of dioxin, furan, and mercury emissions from municipal waste combustors. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 47, Issues 1–3). [https://doi.org/10.1016/0304-3894\(95\)00108-5](https://doi.org/10.1016/0304-3894(95)00108-5)
- Kim, C., Kim, H., Han, S. H., Kim, C., Kim, M. K., & Park, S. H. (2009). Developing a technology roadmap for construction R&D through interdisciplinary research efforts. *Automation in Construction*, 18(3), 330–337. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.09.008>
- King, A. M., Burgess, S. C., Ijomah, W., & McMahon, C. A. (2006). Reducing waste: repair, recondition, remanufacture or recycle? *Sustainable Development*, 14(4), 257–267. <https://doi.org/10.1002/SD.271>
- Klangsin, P., & Harding, A. K. (1998). Medical waste treatment and disposal methods used by hospitals in Oregon, Washington, and Idaho. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 48(6), 516–526.

<https://doi.org/10.1080/10473289.1998.10463706>

- Klemeš, J. J., Fan, Y. Van, Tan, R. R., & Jiang, P. (2020). Minimising the present and future plastic waste, energy and environmental footprints related to COVID-19. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 127(April).  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109883>
- Klinghoffer, N. B., & Castaldi, M. J. (2013). Gasification and pyrolysis of municipal solid waste (MSW). In *Waste to Energy Conversion Technology*.  
<https://doi.org/10.1533/9780857096364.2.146>
- Konnola, T., Ahlqvist, T., Eerola, A., Kivisaari, S., & Koivisto, R. (2009). Management of foresight portfolio: Analysis of modular foresight projects at contract research organisation. *Technology Analysis and Strategic Management*, 21(3), 381–405. <https://doi.org/10.1080/09537320902750830>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Koştı, G. (2020). Sağlık 4.0: Sanayide Öngörülen Devrimlerinin Sağlığa Yansımaları. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 0–2.
- Kostoff, R. N., Boylan, R., & Simons, G. R. (2004). Disruptive technology roadmaps. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1–2), 141–159.  
[https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00048-9](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00048-9)
- Kostoff, R. N., & Schaller, R. R. (2001). Science and technology roadmaps. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(2), 132–143.  
<https://doi.org/10.1109/17.922473>
- Kuehn, B. M. (2007). “Roadmap” aids malaria vaccine efforts. *Journal of the American Medical Association*, 298(8), 849–851.  
<https://doi.org/10.1001/jama.298.8.849>
- Kühling, J.-G. (2014). Treatment of Healthcare Waste – Myths and Truth in the 21st century -. *International Journal of Infection Control*, 10(1), 1–9.  
<https://doi.org/10.3396/ijic.v10i1.003.14>
- Kulkarni, B. N., & Anantharama, V. (2020). Repercussions of COVID-19 pandemic

on municipal solid waste management: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 743, 140693.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140693>

Kulsoom Bano, Reetika Pandey, J.-F. and R., & Pradesh, U. (2018). NEW ADVANCEMENTS OF BIOPLASTICS IN MEDICAL APPLICATIONS. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9(2), 402–416. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.9\(2\).402-16](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.9(2).402-16)

Kumar, N. M., Mohammed, M. A., Abdulkareem, K. H., Damasevicius, R., Mostafa, S. A., Maashi, M. S., & Chopra, S. S. (2021). Artificial intelligence-based solution for sorting COVID related medical waste streams and supporting data-driven decisions for smart circular economy practice. *Process Safety and Environmental Protection*, 152, 482–494.

<https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.026>

Kumar, V., Singh, S. B., & Singh, S. (2020). COVID-19: Environment concern and impact of Indian medicinal system. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104144. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104144>

Kyriakopoulos, G. L., Kapsalis, V. C., Aravossis, K. G., Zamparas, M., & Mitsikas, A. (2019). Evaluating circular economy under a multi-parametric approach: A technological review. *Sustainability (Switzerland)*, 11(21), 1–24.

<https://doi.org/10.3390/su11216139>

Lee, B. K., Ellenbecker, M. J., & Moure-Eraso, R. (2002). Analyses of the recycling potential of medical plastic wastes. *Waste Management*, 22(5), 461–470.

[https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00006-5)

Lee, B. K., Ellenbecker, M. J., & Moure-Eraso, R. (2004). Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical wastes. *Waste Management*, 24(2), 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2003.10.008>

Lee, C. K. M., Na, C. M., & Kit, N. C. (2015). IoT-based asset management system for healthcare-related industries. *International Journal of Engineering Business Management*, 7. <https://doi.org/10.5772/61821>

Lee, H., & Geum, Y. (2017). Development of the scenario-based technology roadmap considering layer heterogeneity: An approach using CIA and AHP.

- Technological Forecasting and Social Change*, 117, 12–24.  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.01.016>
- Lee, J. H., Phaal, R., & Lee, S. H. (2013). An integrated service-device-technology roadmap for smart city development. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(2), 286–306. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.09.020>
- Lee, R. J., & Mears, S. C. (2012). Greening of orthopedic surgery. *Orthopedics*, 35(6), 940–944. <https://doi.org/10.3928/01477447-20120525-39>
- Lee, Steve, Vaccari, M., & Tudor, T. (2016). Considerations for choosing appropriate healthcare waste management treatment technologies: A case study from an East Midlands NHS Trust, in England. *Journal of Cleaner Production*, 135, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.166>
- Lee, Sungjoo, Kang, S., Park, Y. S., & Park, Y. (2007). Technology roadmapping for R&D planning: The case of the Korean parts and materials industry. *Technovation*, 27(8), 433–445.  
<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2007.02.011>
- Lee, Sungjoo, Kim, M. S., & Park, Y. (2009). ICT Co-evolution and Korean ICT strategy-An analysis based on patent data. *Telecommunications Policy*, 33(5–6), 253–271. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2009.02.004>
- Lee, Sungjoo, & Park, Y. (2005). Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules. *Technological Forecasting and Social Change*, 72(5), 567–583.  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2004.11.006>
- Lee, X. J., Ong, H. C., Gan, Y. Y., Chen, W. H., & Mahlia, T. M. I. (2020). State of art review on conventional and advanced pyrolysis of macroalgae and microalgae for biochar, bio-oil and bio-syngas production. *Energy Conversion and Management*, 210(December 2019), 112707.  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112707>
- Letho, Z., Yangdon, T., Lhamo, C., Limbu, C. B., Yoezer, S., Jamtsho, T., Chhetri, P., & Tshering, D. (2021). Awareness and practice of medical waste management among healthcare providers in National Referral Hospital. *PLoS ONE*, 16(1 January), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243817>



- Liang, Y., Song, Q., Wu, N., Li, J., Zhong, Y., & Zeng, W. (2021). Repercussions of COVID-19 pandemic on solid waste generation and management strategies. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 15(6).  
<https://doi.org/10.1007/s11783-021-1407-5>
- Liberti, L., Tursi, A., Costantino, N., Ferrara, L., & Nuzzo, G. (1996). Optimization of infectious hospital waste management in Italy: Part II. Waste characterization by origin. *Waste Management and Research*, 14(5), 417–431.  
<https://doi.org/10.1006/wmre.1996.0042>
- Lieder, M., Asif, F. M. A., Rashid, A., Mihelič, A., & Kotnik, S. (2017). Towards circular economy implementation in manufacturing systems using a multi-method simulation approach to link design and business strategy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93(5–8), 1953–1970.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-017-0610-9>
- Liu, F., Liu, H. Q., Wei, G. X., Zhang, R., Zeng, T. T., Liu, G. S., & Zhou, J. H. (2018). Characteristics and treatment methods of medical waste incinerator fly ash: A review. *Processes*, 6(10), 1–25. <https://doi.org/10.3390/pr6100173>
- Livingston, E., & Bucher, K. (2020). Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in Italy. *Jama*, 323(14), 1335. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.4344>
- Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Rojas Luiz, J. V., Rojas Luiz, O., Jabbour, C. J. C., Ndubisi, N. O., Caldeira de Oliveira, J. H., & Junior, F. H. (2019). Circular economy business models and operations management. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1525–1539. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.349>
- Loveridge, D., & Saritas, O. (2009). Reducing the democratic deficit in institutional foresight programmes: A case for critical systems thinking in nanotechnology. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(9), 1208–1221.  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.07.013>
- Lu, J. S., Chang, Y., Poon, C. S., & Lee, D. J. (2020). Slow pyrolysis of municipal solid waste (MSW): A review. *Bioresource Technology*, 312, 123615.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123615>
- Luijt, D. S., Schirm, J., Savelkoul, P. H. M., & Hoekstra, A. (2001). Risk of infection by reprocessed and resterilized virus-contaminated catheters: An in-vitro study.

- European Heart Journal*, 22(5), 378–384.  
<https://doi.org/10.1053/euhj.2000.2370>
- Maalouf, A., & Maalouf, H. (2021). Impact of COVID-19 pandemic on medical waste management in Lebanon. *Waste Management and Research*, 0(0).  
<https://doi.org/10.1177/0734242X211003970>
- MacArthur, E. (2013). Towards The Circular Economy. *Journal of Industrial Ecology*.
- Magruk, A. (2012). *Technological and Economic Development of Economy Innovative classification of technology foresight methods*. April 2013, 37–41.
- Main, R. P., Carlson, D. J., & DuPuis, R. A. (1967). Measurement of oscillator strengths of the MgO(B $1\Sigma^+$  - X $1\Sigma^+$ ) and MgH(A $2\pi$  - X $2\Sigma^+$ ) band systems. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 7(5), 805–811.  
[https://doi.org/10.1016/0022-4073\(67\)90036-2](https://doi.org/10.1016/0022-4073(67)90036-2)
- Makarichi, L., Jutidamrongphan, W., & Techato, K. anan. (2018). The evolution of waste-to-energy incineration: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91(May 2017), 812–821. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.088>
- Malekahmadi, F., Yunesian, M., Yaghmaeian, K., & Nadafi, K. (2014). Analysis of the healthcare waste management status in Tehran hospitals. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 1–5.  
<https://doi.org/10.1186/s40201-014-0116-4>
- Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). An analysis on sustainable supply chain for circular economy. *Procedia Manufacturing*, 33, 477–484.  
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.059>
- Manupati, V. K., Ramkumar, M., Baba, V., & Agarwal, A. (2021). Selection of the best healthcare waste disposal techniques during and post COVID-19 pandemic era. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125175.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125175>
- Manyele, S. V., & Tanzania, V. (2004). Effects of improper hospital-waste management on occupational health and safety. *African Newsletter on Occupational Health and Safety*, 14(2), 30–33. <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd46/effects.pdf>

- Manyele, S. V., & Lyasenga, T. J. (2010). Factors affecting medical waste management in low-level health facilities in Tanzania. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(5), 304–318.  
<http://www.academicjournals.org/AJEST>
- Masum, H., Ranck, J., & Singer, P. A. (2010). Five promising methods for health foresight. *Foresight*, 12(1), 54–66. <https://doi.org/10.1108/14636681011020182>
- Material, E. S., Science, E., Society, T. R., Science, E., This, I., Convention, T. S., Pollutants, P. O., & Sc, T. (2016). *Stockholm Convention*. 1–8.
- McDowall, W., & Eames, M. (2006). Forecasts, scenarios, visions, backcasts and roadmaps to the hydrogen economy: A review of the hydrogen futures literature. *Energy Policy*, 34(11), 1236–1250.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.12.006>
- McGain, F., Algie, C. M., O’Toole, J., Lim, T. F., Mohebbi, M., Story, D. A., & Leder, K. (2014). The microbiological and sustainability effects of washing anaesthesia breathing circuits less frequently. *Anaesthesia*, 69(4), 337–342.  
<https://doi.org/10.1111/anae.12563>
- McGain, F., McAlister, S., McGavin, A., & Story, D. (2010). The financial and environmental costs of reusable and single-use plastic anaesthetic drug trays. *Anaesthesia and Intensive Care*, 38(3), 538–544.  
<https://doi.org/10.1177/0310057x1003800320>
- McGain, Forbes, Jarosz, K. M. ari., Nguyen, M. N. go. H. H. uon., Bates, S., & O’Shea, C. J. an. (2015). Auditing Operating Room Recycling: A Management Case Report. *A & A Case Reports*, 5(3), 47–50.  
<https://doi.org/10.1213/XAA.0000000000000097>
- McGain, Forbes, McAlister, S., McGavin, A., & Story, D. (2012). A life cycle assessment of reusable and single-use central venous catheter insertion kits. *Anesthesia and Analgesia*, 114(5), 1073–1080.  
<https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e31824e9b69>
- McGain, Forbes, Story, D., & Hendel, S. (2009). An audit of intensive care unit recyclable waste. *Anaesthesia*, 64(12), 1299–1302.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2009.06102.x>

- McGain, Forbes, White, S., Mossenson, S., Kayak, E., & Story, D. (2012). A survey of anesthesiologists' views of operating room recycling. *Anesthesia and Analgesia*, 114(5), 1049–1054.  
<https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e31824d273d>
- Minamata Convention on Mercury. (2017). *UN Environment Programme*, 1–72.  
[www.unep.org](http://www.unep.org)[www.unep.org](http://www.unep.org)[www.mercuryconvention.org](http://www.mercuryconvention.org)
- Minh, N. H., Minh, T. B., Watanabe, M., Kunisue, T., Monirith, I., Tanabe, S., Sakai, S., Subramanian, A., Sasikumar, K., Viet, P. H., Tuyen, B. C., Tana, T. S., & Prudente, M. S. (2003). Open dumping site in Asian developing countries - A potential source of PCDDFs.pdf. *Environmental Science & Technology*, 37(8), 1493–1502.
- Mishra, S., Deshmukh, S. G., & Vrat, P. (2002). Matching of technological forecasting technique to a technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 69(1), 1–27. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(01\)00123-8](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(01)00123-8)
- Mkude, C. G., Wimmer, M. A., & Research Mkude, C. (2015). *Studying Interdependencies Of E-Government Challenges In Tanzania Along A PESTEL Analysis*. 0–15.  
[http://aisel.aisnet.org/ecis2015\\_cr%5Cnhttp://aisel.aisnet.org/ecis2015\\_cr/135](http://aisel.aisnet.org/ecis2015_cr%5Cnhttp://aisel.aisnet.org/ecis2015_cr/135)
- Mohee, R. (2005). Medical wastes characterisation in healthcare institutions in Mauritius. *Waste Management*, 25(6 SPEC. ISS.), 575–581.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.10.003>
- Mol, M. P. G., & Caldas, S. (2020). Can the human coronavirus epidemic also spread through solid waste? *Waste Management and Research*, 38(5), 485–486.  
<https://doi.org/10.1177/0734242X20918312>
- Moorthy, V. S., Newman, R. D., & Okwo-Bele, J. M. (2013). Malaria vaccine technology roadmap. *The Lancet*, 382(9906), 1700–1701.  
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)62238-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62238-2)
- Moreira, A. M. M., & Günther, W. M. R. (2013). Assessment of medical waste management at a primary health-care center in São Paulo, Brazil. *Waste Management*, 33(1), 162–167. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.018>
- Mortimer, F. (2010). The sustainable physician. *Clinical Medicine, Journal of the*

- Royal College of Physicians of London*, 10(2), 110–111.  
<https://doi.org/10.7861/clinmedicine.10-2-110>
- Mostafa, G. M. A., Shazly, M. M., & Sherief, W. I. (2009). Development of a waste management protocol based on assessment of knowledge and practice of healthcare personnel in surgical departments. *Waste Management*, 29(1), 430–439. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.12.009>
- Mutlag, A. A., Khanapi, M., Ghani, A., Mohammed, M. A., Maashi, M. S., Mohd, O., Mostafa, S. A., Abdulkareem, K. H., Marques, G., De La, I., & Díez, T. (2020). *MAFC: Multi-Agent Fog Computing Model for Healthcare Critical Tasks Management*. <https://doi.org/10.3390/s20071853>
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2019). *Environmental Degradation of Biodegradable, Degradable and Conventional Plastic Carrier Bags in the Sea, Soil and Open-Air Over a Three-Year Period*. 0–7.
- Ndidi, N., Nelson, O., Patricia, O., & A, J. S. (2009). Waste management in healthcare establishments within Jos Metropolis, Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 3(12), 459–465.  
<https://doi.org/10.5897/AJEST09.119>
- Nema, S. K., & Ganeshprasad, K. S. (2002). Plasma pyrolysis of medical waste. *Current Science*, 83(3), 271–278.
- Network, P. H. (2020). *Tıbbi Atıklar İçin Güçlü Bir Güvenlik Bariyeri Oluşturmak*.
- North, E. J., & Halden, R. U. (2013). Plastics and environmental health: The road ahead. *Reviews on Environmental Health*, 28(1), 1–8.  
<https://doi.org/10.1515/reveh-2012-0030>
- O'Brien, F. A. (2004). Scenario planning—lessons for practice from teaching and learning. *European Journal of Operational Research*, 152(3), 709–722.  
[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00068-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00068-7)
- Odonkor, S. T., & Mahami, T. (2020). Healthcare waste management in Ghanaian hospitals: Associated public health and environmental challenges. *Waste Management and Research*, 38(8), 831–839.  
<https://doi.org/10.1177/0734242X20914748>
- Oghazi, P., & Mostaghel, R. (2018). *Circular Business Model Challenges and*

- Lessons Learned-An Industrial Perspective*. <https://doi.org/10.3390/su10030739>
- Olaifa, A., Govender, R. D., & Ross, A. J. (2018). Knowledge, attitudes and practices of healthcare workers about healthcare waste management at a district hospital in KwaZulu-Natal. *South African Family Practice*, *60*(5), 137–145. <https://doi.org/10.1080/20786190.2018.1432137>
- Oli, A. N., Ekejindu, C. C., Adje, D. U., Ezeobi, I., Ejiofor, O. S., Ibeh, C. C., & Ubajaka, C. F. (2016). Healthcare waste management in selected government and private hospitals in Southeast Nigeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *6*(1), 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.09.019>
- Ong, H. C., Chen, W. H., Singh, Y., Gan, Y. Y., Chen, C. Y., & Show, P. L. (2020). A state-of-the-art review on thermochemical conversion of biomass for biofuel production: A TG-FTIR approach. *Energy Conversion and Management*, *209*(February), 112634. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112634>
- Onoda, H. (2020). Smart approaches to waste management for post-COVID-19 smart cities in Japan. *IET Smart Cities*, *2*(2), 89–94. <https://doi.org/10.1049/iet-smc.2020.0051>
- Organization, W. H. (2005). *Management of Solid Healthcare Waste at Primary Healthcare Centres*. 57.
- Oyekale, A. S., & Oyekale, T. O. (2017). Healthcare waste management practices and safety indicators in Nigeria. *BMC Public Health*, *17*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4794-6>
- Ozder, A., Teker, B., Eker, H. H., Altindis, S., Kocaakman, M., & Karabay, O. (2013). Medical waste management training for healthcare managers - a necessity? *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *11*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/2052-336x-11-20>
- Özkan, A. (2013). Evaluation of healthcare waste treatment/disposal alternatives by using multi-criteria decision-making techniques. *Waste Management and Research*, *31*(2), 141–149. <https://doi.org/10.1177/0734242X12471578>
- Pan, W., Chen, L., & Zhan, W. (2019). PESTEL Analysis of Construction Productivity Enhancement Strategies: A Case Study of Three Economies. *Journal of Management in Engineering*, *35*(1).

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000662](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000662)

Patients, L., Taylor, D., Lindsay, A. C., & Halcox, J. P. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *The New England Journal of Medicine*, 0–3.

Payne, J., McKeown, P., & Jones, M. D. (2019). A circular economy approach to plastic waste. *Polymer Degradation and Stability*, 165, 170–181.  
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.05.014>

PBL. (2018). Circular economy: what we want to know and can measure. Framework and baseline assessment for monitoring the progress of the circular economy in the Netherlands. *PBL Policy Report. PBL Publicaiton Number, 3217*, 92. <https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/pbl-2019-outline-of-the-circular-economy-3633.pdf>

Peng, J., Wu, X., Wang, R., Li, C., Zhang, Q., & Wei, D. (2020). Medical waste management practice during the 2019-2020 novel coronavirus pandemic: Experience in a general hospital. *American Journal of Infection Control*, 48(8), 918–921. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.05.035>

Penn, E., Yasso, S. F., & Wei, J. L. (2012). Reducing disposable equipment waste for tonsillectomy and adenotonsillectomy cases. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery (United States)*, 147(4), 615–618.  
<https://doi.org/10.1177/0194599812450681>

People's Health Network. (2020). *Tıbbi Atıklar İçin Güçlü Bir Güvenlik Bariyeri Oluşturmak Wuhan Union Hastanesi, Tıbbi Atık Yönetimi İçin Yeni Bir Model Oluşturuyor*. <http://health.people.com.cn/>

Pépin, J., Chakra, C. N. A., Pépin, E., Nault, V., & Valiquette, L. (2014). Evolution of the global burden of viral infections from unsafe medical injections, 2000-2010. *PLoS ONE*, 9(6), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099677>

Petrick, I. J., & Echols, A. E. (2004). Technology roadmapping in review: A tool for making sustainable new product development decisions. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1–2), 81–100.  
[https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00064-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00064-7)

Phaal, R., O'Sullivan, E., Routley, M., Ford, S., & Probert, D. (2011). A framework

- for mapping industrial emergence. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(2), 217–230. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.06.018>
- Phaal, Robert. (2004). Technology roadmapping - A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1–2), 5–26. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Phaal, Robert, Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (2001). Characterisation of technology roadmaps: Purpose and format. *Picmet*, 367–374. <https://doi.org/10.1109/picmet.2001.952036>
- Phaal, Robert, Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (2009). Visualising strategy: A classification of graphical roadmap forms. *International Journal of Technology Management*, 47(4), 286–305. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2009.024431>
- Phaal, Robert, Farrukh, C., Mitchell, R., & Probert, D. (2003). Starting-up roadmapping fast. *Research Technology Management*, 46(2), 52–58. <https://doi.org/10.1080/08956308.2003.11671555>
- Phaal, Robert, Farrukh, C., & Probert, D. (2004). Customizing roadmapping. *Research Technology Management*, 47(2), 26–37. <https://doi.org/10.1080/08956308.2004.11671616>
- Phaal, Robert, & Muller, G. (2009). An architectural framework for roadmapping: Towards visual strategy. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(1), 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.03.018>
- Pieper, U., Hayter, A., & Montgomery, M. (2017). Safe management of wastes from health - care activities A summary\*. *Geneva, WHO/FWC/WSH/17.05*, 1–24. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259491/WHO-FWC-WSH-17.05-eng.pdf;jsessionid=BE197A8BAB73EC864CA3573E15D4F0E6?sequence=1>
- Podein, R. J., & Hernke, M. T. (2010). Integrating Sustainability and Health Care. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, 37(1), 137–147. <https://doi.org/10.1016/J.POP.2009.09.011>
- Porter, A. L., Ashton, W. B., Clar, G., Coates, J. F., Cuhls, K., Cunningham, S. W., Ducatel, K., van der Duin, P., Georgehiou, L., Gordon, T., Linstone, H., Marchau, V., Massari, G., Miles, I., Moge, M., Salo, A., Scapolo, F., Smits, R.,



- & Thissen, W. (2004). Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(3), 287–303. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2003.11.004>
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular economy: Measuring innovation in the product chain. *PBL Netherlands Environmental Assessment Agency*, 2544, 42.
- Prata, J. C., Patr, A. L., Mouneyrac, C., Walker, T. R., Duarte, A. C., & Rocha-santos, T. (2019). Solutions and Integrated Strategies for the Control and Mitigation of Plastic and Microplastic Pollution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(2411), 1–19.
- Prata, J. C., Silva, A. L. P., Walker, T. R., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). COVID-19 Pandemic Repercussions on the Use and Management of Plastics. *Environmental Science and Technology*, 54(13), 7760–7765. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02178>
- Probert, D. R., Farrukh, C. J. P., & Phaal, R. (2003). *Technology roadmapping-developing a practical approach for linking resources to strategic goals*. 217, 1183–1195.
- R. Phaal. (2005). Technology Roadmapping. *UNIDO Technology Foresight Manual*, 1, 153. [https://open.unido.org/api/documents/4788518/download/POLLUTANTS IN TANNERY EFFLUENT. INTERNATIONAL SCENARIO ON ENVIRONMENTAL REGULATIONS AND COMPLIANCE \(23440.en\)](https://open.unido.org/api/documents/4788518/download/POLLUTANTS_IN_TANNERY_EFFLUENT_INTERNATIONAL_SCENARIO_ON_ENVIRONMENTAL_REGULATIONS_AND_COMPLIANCE_(23440.en))
- Rahayu, P., Rohajawati, S., Fairus, S., Saragih, H., & Akbar, H. (2021). Challenges and Recommendation of the Information Technologies Application in Hazardous Medical Waste Management amidst Pandemic Covid-19. *Journal of Physics: Conference Series*, 1844(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1844/1/012029>
- Raja, K., Bhakta, H., Prakash, V., Samal, B., & Bhattacharya, J. (2020). *Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic*. January.
- Ramirez, R., Mukherjee, M., Vezzoli, S., & Kramer, A. M. (2015). Scenarios as a

- scholarly methodology to produce “interesting research.” *Futures*, 71, 70–87.  
<https://doi.org/10.1016/J.FUTURES.2015.06.006>
- Ramírez, R., & Selin, C. (2014). Plausibility and probability in scenario planning. *Foresight*, 16(1), 54–74. <https://doi.org/10.1108/FS-08-2012-0061>
- Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135(February), 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Rizan, C., Mortimer, F., Stancliffe, R., & Bhutta, M. F. (2020). Plastics in healthcare: time for a re-evaluation. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 113(2), 49–53. <https://doi.org/10.1177/0141076819890554>
- RLI. (2015). CIRCULAR ECONOMY: From Wish to Practice. *Council for the Environment and Infrastructure*, June, 104.  
[https://en.rli.nl/sites/default/files/advice\\_rli\\_circular\\_economy\\_interactive\\_def.pdf](https://en.rli.nl/sites/default/files/advice_rli_circular_economy_interactive_def.pdf)
- Robert, P., Management, C. for T., & Institution for Manufacturing, U. of C. (2002). *Foresight Vehicle Technology Roadmap Technology and Research Directions*. 74.
- Robert Phaal. (2015). Roadmapping for strategy and innovation. *Centre for Technology Management*, 47(March), 1–7.
- Rödel, J., Kounga, A. B. N., Weissenberger-Eibl, M., Koch, D., Bierwisch, A., Rossner, W., Hoffmann, M. J., Danzer, R., & Schneider, G. (2009). Development of a roadmap for advanced ceramics: 2010-2025. *Journal of the European Ceramic Society*, 29(9), 1549–1560.  
<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.10.015>
- Rothan, H. A., & Byrareddy, S. N. (2020). The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) outbreak. *Journal of Autoimmunity*, 109, 102433. <https://doi.org/10.1016/J.JAUT.2020.102433>
- Rowan, N. J., & Laffey, J. G. (2021). Unlocking the surge in demand for personal and protective equipment (PPE) and improvised face coverings arising from

- coronavirus disease (COVID-19) pandemic – Implications for efficacy, re-use and sustainable waste management. *Science of the Total Environment*, 752, 142259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142259>
- Royal College of Physicians. (2018). *Less waste, more health: A health professional's guide to reducing waste*.  
<https://www.rcplondon.ac.uk/projects/outputs/less-waste-more-health-health-professionals-guide-reducing-waste>
- Rutala, A. (1992). Medical waste. *AJIC: American Journal of Infection Control*, 20(2), 73–74. [https://doi.org/10.1016/S0196-6553\(05\)80004-5](https://doi.org/10.1016/S0196-6553(05)80004-5)
- Sabev, P., Jia, X., & Shiun, J. (2020). *Process assessment, integration and optimisation: The path towards cleaner production*. January.
- Sandberg, A. B., Klementsens, E., Muller, G., de Andres, A., & Maillet, J. (2016). Critical factors influencing viability of wave energy converters in off-grid luxury resorts and small utilities. *Sustainability (Switzerland)*, 8(12), 1–22.  
<https://doi.org/10.3390/su8121274>
- Saritas, O., & Aylen, J. (2010). Using scenarios for roadmapping: The case of clean production. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(7), 1061–1075.  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.03.003>
- Saritas, O., & Burmaoglu, S. (2015). The evolution of the use of Foresight methods: a scientometric analysis of global FTA research output. *Scientometrics*, 105(1), 497–508. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1671-x>
- Sarkodie, S. A., & Owusu, P. A. (2021). Impact of COVID-19 pandemic on waste management. *Environment, Development and Sustainability*, 23(5), 7951–7960.  
<https://doi.org/10.1007/s10668-020-00956-y>
- Sartaj, M., & Arabgol, R. (2015). Assessment of healthcare waste management practices and associated problems in Isfahan Province (Iran). *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(1), 99–106.  
<https://doi.org/10.1007/s10163-014-0230-5>
- Sawalem, M., Selic, E., & Herbell, J. D. (2009). Hospital waste management in Libya: A case study. *Waste Management*, 29(4), 1370–1375.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.028>

- Scheme, O. (2016). *Central Pollution Control Board , Delhi Central Pollution Control Board , Delhi*. 1–6.
- Secretariat of the Basel Convention, & WHO. (2004). *Preparation of national healthcare waste management plans in Sub-Saharan countries: Guidance manual*.  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/medicalwaste/en/guidancemanual.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/en/guidancemanual.pdf)
- Sekreteryal of Basel Convention. (2003). *Technical guidelines on the environmentally sound management of biomedical and healthcare wastes*.
- Sevsay, H., Mıynat, M., & Aktaş, H. (2017). Teknoloji Geliştirme Bölgesi Yatırımları Finansman Modellerinin İncelenmesi. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 447–467.  
<https://doi.org/10.18657/yonveek.318308>
- Sharifzadeh, M., Sadeqzadeh, M., Guo, M., Borhani, T. N., Murthy Konda, N. V. S. N., Garcia, M. C., Wang, L., Hallett, J., & Shah, N. (2019). The multi-scale challenges of biomass fast pyrolysis and bio-oil upgrading: Review of the state of art and future research directions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 71, 1–80. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.10.006>
- Sharma, R., Sharma, M., Sharma, R., & Sharma, V. (2013). The impact of incinerators on human health and environment. *Reviews on Environmental Health*, 28(1), 67–72. <https://doi.org/10.1515/reveh-2012-0035>
- Shen, M., Song, B., Zeng, G., Zhang, Y., Huang, W., Wen, X., & Tang, W. (2020). Are biodegradable plastics a promising solution to solve the global plastic pollution? *Environmental Pollution*, 263, 114469.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114469>
- Shi, H., Liu, H. C., Li, P., & Xu, X. G. (2017). An integrated decision making approach for assessing healthcare waste treatment technologies from a multiple stakeholder. *Waste Management*, 59, 508–517.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.016>
- Silva, T., Maciel, R., Florencio, L., & Santos, S. M. (2020). SWOT-TOWS analysis to improve home health waste management during the COVID-19 pandemic.

*Research Square*, 1–12.

- Silvaa, A. L. P., Pratab, J. C., & Walkerc, T. R. (2020). *Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations Ana*. January.
- Singh, N., Ogunseitan, O. A., & Tang, Y. (2021a). Medical waste: Current challenges and future opportunities for sustainable management. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 0(0), 1–23.  
<https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1885325>
- Singh, N., Ogunseitan, O. A., & Tang, Y. (2021b). Medical waste: Current challenges and future opportunities for sustainable management. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(11), 2000–2022.  
<https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1885325>
- Singh, N., Tang, Y., Zhang, Z., & Zheng, C. (2020). COVID-19 waste management: Effective and successful measures in Wuhan, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 105071. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105071>
- Sobiecka, E., Obraniak, A., & Antizar-Ladislao, B. (2014). Influence of mixture ratio and pH to solidification/stabilization process of hospital solid waste incineration ash in Portland cement. *Chemosphere*, 111, 18–23.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.057>
- Sofik, S. (2020). *Mapping of Research Output on Medical Waste Management : A Bibliometric Study Abstract : i*.
- Solberg, K. E. (2009). Trade in medical waste causes deaths in India. *Lancet*, 373(9669), 1067. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)60632-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60632-2)
- Som, U., Rahman, F., & Hossain, S. (2018). Recovery of Pyrolytic Oil from Thermal Pyrolysis of Medical Waste. *Journal of Engineering Sciences*, 5(2), H5–H8.  
[https://doi.org/10.21272/jes.2018.5\(2\).h2](https://doi.org/10.21272/jes.2018.5(2).h2)
- Song, J., Sun, Y., & Jin, L. (2017). PESTEL analysis of the development of the waste-to-energy incineration industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(May), 276–289. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.066>
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435–438.  
<https://doi.org/10.1038/531435a>
- Stahel, W. R. (2019). The Circular Economy A User’s Guide. In *Routledge Taylor &*

*Francis Books.*

- Strauss, J. D., & Radnor, M. (2004). Roadmapping for dynamic and uncertain environments. *Research Technology Management*, 47(2), 51–57.  
<https://doi.org/10.1080/08956308.2004.11671620>
- Su, G., Ong, H. C., Ibrahim, S., Fattah, I. M. R., Mofijur, M., & Chong, C. T. (2021). Valorisation of medical waste through pyrolysis for a cleaner environment: Progress and challenges. *Environmental Pollution*, 279.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116934>
- Sun, Y., Lei, L., Zhou, W., Chen, C., He, Y., Sun, J., Li, Z., Xu, W., Wang, Q., Ji, D., Fu, P., Wang, Z., & Worsnop, D. R. (2020). A chemical cocktail during the COVID-19 outbreak in Beijing, China: Insights from six-year aerosol particle composition measurements during the Chinese New Year holiday. *Science of The Total Environment*, 742, 140739.  
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.140739>
- Szıigetı, H., Messaadia, M., Majumdar, A., & Eynard, B. (2011). STEEP analysis as a tool for building technology roadmaps. *In Internationale Challenges E-2011 Conference, Florence, October, 26–28.*  
<https://www.researchgate.net/publication/301295850>
- Tanksali, A. S. (2013). Management of bio medical waste. *International Journal of ChemTech Research*, 5(3), 1213–1221.
- Teymourian, T., Teymoorian, T., Kowsari, E., & Ramakrishna, S. (2021). Challenges, Strategies, and Recommendations for the Huge Surge in Plastic and Medical Waste during the Global COVID-19 Pandemic with Circular Economy Approach. *Materials Circular Economy*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s42824-021-00020-8>
- Thakur, V. (2021). Framework for PESTEL dimensions of sustainable healthcare waste management: Learnings from COVID-19 outbreak. *Journal of Cleaner Production*, 287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125562>
- Thakur, V., & Mangla, S. K. (2019). Change management for sustainability: Evaluating the role of human, operational and technological factors in leading Indian firms in home appliances sector. *Journal of Cleaner Production*, 213,

847–862. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.201>

- Thakur, V., & Ramesh, A. (2015). Healthcare waste management research: A structured analysis and review (2005-2014). *Waste Management and Research*, 33(10), 855–870. <https://doi.org/10.1177/0734242X15594248>
- Tierney, R., Hermina, W., & Walsh, S. (2013). The pharmaceutical technology landscape: A new form of technology roadmapping. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(2), 194–211. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.05.002>
- Tirkolaee, E. B., Abbasian, P., & Weber, G. (2020). *Sustainable fuzzy multi-trip location-routing problem for medical waste management during the COVID-19 outbreak. January.*
- Townend, W. K., Cheeseman, C., Edgar, J., & Tudor, T. (2009). Factors driving the development of healthcare waste management in the United Kingdom over the past 60 years. *Waste Management and Research*, 27(4), 362–373. <https://doi.org/10.1177/0734242X09335700>
- Tripathi, A., Tyagi, V. K., Vivekanand, V., Bose, P., & Suthar, S. (2020). Challenges, opportunities and progress in solid waste management during COVID-19 pandemic. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2(November), 100060. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100060>
- Tsakona, M., Anagnostopoulou, E., & Gidarakos, E. (2007). Hospital waste management and toxicity evaluation: A case study. *Waste Management*, 27(7), 912–920. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.04.019>
- Tsukamoto, A., Ishiwata, S., Kajimoto, A., Murata, R., Kitano, R., Inoue, T., & Kotake, T. (2016). Application of ozone gas for decontamination of nucleoside anticancer drugs. *Journal of Pharmaceutical Health Care and Sciences*, 2(1), 2–5. <https://doi.org/10.1186/s40780-016-0058-3>
- Tudor, T. L., Noonan, C. L., & Jenkin, L. E. T. (2005). Healthcare waste management: A case study from the National Health Service in Cornwall, United Kingdom. *Waste Management*, 25(6 SPEC. ISS.), 606–615. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.10.004>

- UNEP. (2020). Waste Management during the COVID-19 Pandemic. In *Waste Management during the COVID-19 Pandemic*.  
<https://doi.org/10.18356/abfaaadd-en>
- United Nations Environment Programme. (2016). Global Waste Management Outlook. In *Global Waste Management Outlook*.  
<https://doi.org/10.18356/765baec0-en>
- Van Boerdonk, P. J. M., Krikke, H. R., & Lambrechts, W. (2021). New business models in circular economy: A multiple case study into touch points creating customer values in health care. *Journal of Cleaner Production*, 282, 125375.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125375>
- Van Doorn, H. R. (2017). Emerging infectious diseases. In *Medicine (United Kingdom)* (Vol. 45, Issue 12). <https://doi.org/10.1016/j.mpmmed.2017.09.002>
- Varum, C. A., & Melo, C. (2010). Directions in scenario planning literature – A review of the past decades. *Futures*, 42(4), 355–369.  
<https://doi.org/10.1016/J.FUTURES.2009.11.021>
- Vatananan, R. S., & Gerdri, N. (2012). The current state of technology roadmapping (trm) research and practice. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 9(4), 1–20. <https://doi.org/10.1142/S0219877012500320>
- Velvizhi, G., Shanthakumar, S., Das, B., Pugazhendhi, A., Priya, T. S., Ashok, B., Nanthagopal, K., Vignesh, R., & Karthick, C. (2020). Biodegradable and non-biodegradable fraction of municipal solid waste for multifaceted applications through a closed loop integrated refinery platform: Paving a path towards circular economy. *Science of the Total Environment*, 731, 138049.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138049>
- Vitorino de Souza Melaré, A., Montenegro González, S., Faceli, K., & Casadei, V. (2017). Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. *Waste Management*, 59, 567–584.  
<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2016.10.045>
- Vojak, B. A., & Chambers, F. A. (2004). Roadmapping disruptive technical threats and opportunities in complex, technology-based subsystems: The SAILS methodology. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1–2), 121–



139. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00047-7)

- Voudrias, E. A. (2016). Technology selection for infectious medical waste treatment using the analytic hierarchy process. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 66(7), 663–672. <https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1162226>
- Voudrias, E. A. (2018). Healthcare waste management from the point of view of circular economy. *Waste Management*, 75, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.020>
- Wack, P. (1985). Scenarios : shooting the rapids. *Harvard Business Review*, 85(6), 139–151.
- Walsh, S. T. (2004). Roadmapping a disruptive technology: A case study The emerging microsystems and top-down nanosystems industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1–2), 161–185. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2003.10.003>
- Wang, C., Ma, Y., & Meng, F. (2020). Monitoring method of internet of things for classified recovery of medical waste. *Journal of Physics: Conference Series*, 1646(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1646/1/012099>
- Wang, D., & Wu, J. (2019). Reprocessing and reuse of single-use medical devices in China: A pilot survey. *BMC Public Health*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-6835-9>
- Wang, J., Shen, J., Ye, D., Yan, X., Zhang, Y., Yang, W., Li, X., Wang, J., Zhang, L., & Pan, L. (2020). Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Suggestions for disinfection strategy during coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. *Environmental Pollution*, 262, 114665. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114665>
- Webster, J., Radke, E., George, N., Faoagali, J., & Harris, M. (2005). Barrier properties and cost implications of a single versus a double wrap for storing sterile instrument packs. *American Journal of Infection Control*, 33(6), 348–352. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2004.11.010>
- Wells, R., Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2004). Technology roadmapping for a service organization. *Research Technology Management*, 47(2), 46–51. <https://doi.org/10.1080/08956308.2004.11671619>

- WHO. Health Security and Environment Cluster. (2020). Shortage of personal protective equipment endangering health workers worldwide. In *World Health Organization* (Issue March, pp. 1–3). <https://www.who.int/news/item/03-03-2020-shortage-of-personal-protective-equipment-endangering-health-workers-worldwide%0Ahttps://www.who.int/news/item/03-03-2020-shortage-of-personal-protective-equipment-endangering-health-workers-worldwide%0Ahttps://www>
- WHO. (2002). Treatment and disposal technologies for health-care waste. *Safe Management of Wastes from Health-Care Activities*, 77–112. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/medicalwaste/077to112.pdf?ua=1](https://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/077to112.pdf?ua=1)
- WHO. (2020a). <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>.
- WHO. (2020b). Water, sanitation, hygiene, and waste management for SARS-CoV-2, the virus that causes COVID-19. *Interim Guidance*, 29 July, 1–11. <https://www.who.int/publications/i/item/water-sanitation-hygiene-and-waste-management-for-the-covid-19-virus-interim-guidance>
- WHO. (2020c). Water, sanitation, hygiene and waste management for the COVID-19 virus. *World Health Organisation*, April, 1–9. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331846/WHO-2019-nCoV-IPC\\_WASH-2020.3-eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331846/WHO-2019-nCoV-IPC_WASH-2020.3-eng.pdf)
- WHO. (2023). *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard*.
- WHO (World Health Organization). (2002). *Basic steps in the preparation of health care waste management plans for health care establishments*. <http://applications.emro.who.int/dsaf/dsa602.pdf>
- WHO, & UNICEF. (2015). Water, sanitation and hygiene in health care facilities. *Who*, 52.
- Wiens, J., Saria, S., Sendak, M., Ghassemi, M., Liu, V. X., Doshi-Velez, F., Jung, K., Heller, K., Kale, D., Saeed, M., Ossorio, P. N., Thadaney-Israni, S., & Goldenberg, A. (2019). Do no harm: a roadmap for responsible machine learning for health care. *Nature Medicine*, 15–18.

<https://doi.org/10.1038/s41591-019-0548-6>

Willyard, C. H., & McClees, C. W. (1987). Motorola's Technology Roadmap Process. *Research Management*, 30(5), 13–19.

<https://doi.org/10.1080/00345334.1987.11757057>

Windfeld, E. S., & Brooks, M. S. L. (2015). Medical waste management - A review. *Journal of Environmental Management*, 163, 98–108.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.013>

World Health Organization. (2007). Health-care waste. In

<https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste> (p. 127). [https://www.who.int/topics/medical\\_waste/en/](https://www.who.int/topics/medical_waste/en/)

World Health Organization. (2017). *Report on health-care waste management status in countries of the South-East Asia Region*. April, 1–128.

World Health Organization Regional Office for Europe. (2018). Circular economy and health: opportunities and risks. In *WHO press*.

<http://www.euro.who.int/pubrequest%0Ahttp://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/circular-economy-and-health-opportunities-and-risks-2018%0Ahttp://www.euro.who.int/pubrequest>

Xin, Y. (2015). Comparison of hospital medical waste generation rate based on diagnosis-related groups. *Journal of Cleaner Production*, 100, 202–207.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.056>

Xu, L., Dong, K., Zhang, Y., & Li, H. (2020). Comparison and analysis of several medical waste treatment technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 615(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/615/1/012031>

Yasri, S., & Wiwanitkit, V. (2020). Waste management during the covid-19 pandemic. In *UN Environment Programme* (Vol. 21, Issue 9).

<https://doi.org/10.1093/PM/PNAA200>

Yazie, T. D., Tebeje, M. G., & Chufa, K. A. (2019). Healthcare waste management current status and potential challenges in Ethiopia: A systematic review. *BMC Research Notes*, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s13104-019-4316-y>

You, S., Sonne, C., & Ok, Y. S. (2020). Covid-19's unsustainable waste

- management. *Science*, 368(6498), 1438.  
<https://doi.org/10.1126/science.abc7778>
- Yu Fei Xia, B. H. Y. Z. (2020). The natural history of medical subspecialties. *Annals of Internal Medicine*, 93(4), 624–626. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-93-4-624>
- Yu, H., Sun, X., Solvang, W. D., Laporte, G., & Lee, C. K. M. (2020). A stochastic network design problem for hazardous waste management. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123566. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123566>
- Yu, H., Sun, X., Solvang, W. D., & Zhao, X. (2020). Reverse Logistics Network Design for Effective Management of Medical Waste in Epidemic Outbreak: Insights from the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in Wuhan. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3538063>
- Yüksel, I. (2012). Developing a Multi-Criteria Decision Making Model for PESTEL Analysis. *International Journal of Business and Management*, 7(24).  
<https://doi.org/10.5539/ijbm.v7n24p52>
- Yves Chartier, Jorge Emmanuel, U. P., Annette Prüss, Philip Rushbrook, R. S., & William Townsend, S. W. and R. Z. (2014). *Safe management of wastes from health-care activities*. 329.  
[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/85349/1/9789241548564\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/85349/1/9789241548564_eng.pdf)
- Zaman, A. U. (2016). A comprehensive study of the environmental and economic benefits of resource recovery from global waste management systems. *Journal of Cleaner Production*, 124, 41–50.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.086>
- Zand, A. D., & Heir, A. V. (2020). Emerging challenges in urban waste management in Tehran, Iran during the COVID-19 pandemic. *Resources, Conservation and Recycling*, 162(June), 105051. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105051>
- Żebrowski, P., Zawierucha, J., Prystacki, T., Marcinkowski, W., & Małyszko, J. (2020). Medical waste management – how industry can help us to protect environment and money? *Renal Failure*, 42(1), 547.  
<https://doi.org/10.1080/0886022X.2020.1774900>
- Zhang, A., Venkatesh, V. G., Liu, Y., Wan, M., Qu, T., & Huisinsh, D. (2019).

- Barriers to smart waste management for a circular economy in China. *Journal of Cleaner Production*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118198>
- Zhang, H. J., Zhang, Y. H., Wang, Y., Yang, Y. H., Zhang, J., Wang, Y. L., & Wang, J. L. (2013). Investigation of medical waste management in Gansu province, China. *Waste Management and Research*, 31(6), 655–659. <https://doi.org/10.1177/0734242X13482161>
- Zhao, W., Van Der Voet, E., Huppel, G., & Zhang, Y. (2009). Comparative life cycle assessments of incineration and non-incineration treatments for medical waste. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(2), 114–121. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0049-1>
- Zillner, S., Oberkamp, H., Bretschneider, C., Zaveri, A., Faix, W., & Neururer, S. (2014). Towards a Technology Roadmap for Big Data Applications in the Healthcare Domain. *Proceedings of the 2014 IEEE 15th International Conference on Information Reuse and Integration (IEEE IRI 2014)*, 291–296.
- Zimmermann, K. (2017). Microwave as an emerging technology for the treatment of biohazardous waste: A mini-review. *Waste Management and Research*, 35(5), 471–479. <https://doi.org/10.1177/0734242X16684385>
- Zorpas, A. A. (2020). Strategy development in the framework of waste management. *Science of The Total Environment*, 716, 137088. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.137088>