

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL İLİ İÇİN FARKLI TIBBİ ATIK BERTARAF
SENARYOLARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Özge KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Sadullah Levent KUZU

Haziran, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL İLİ İÇİN FARKLI TIBBİ ATIK BERTARAF
SENARYOLARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Özge KILIÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 29.06.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Sadullah Levent KUZU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Sadullah Levent KUZU, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Afşın Yusuf ÇETİNKAYA, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Levent BİLGİLİ, Üye

Bandırma On Yedi Eylül Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Sadullah Levent KUZU sorumluluğunda tarafımda hazırlanan İstanbul İli İçin Farklı Tıbbi Atık Bertaraf Senaryolarının Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Özge KILIÇ

İmza

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için bana yol gösteren, kendisine her danıştığım da bana kıymetli zamanını ayırıp elinden geleni yapmaya çalışan, her zaman çözüm odaklı olup değerli bilgilerini esirmeyen saygıdeğer danışman hocam; Doç. Dr. Sadullah Levent KUZU'ya katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bana olan desteklerini esirgemeyen, yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Özge KILIÇ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	3
2 TIBBİ ATIKLAR	4
2.1 Tıbbi Atık Bertaraf Yöntemleri.....	7
2.2 Türkiye’de Tıbbi Atıklar ve Bertaraf Yöntemleri.....	8
2.3 İstanbul’da Tıbbi Atıklar.....	9
2.4 İstanbul’da Tıbbi Atık Bertaraf Yöntemleri.....	10
2.4.1 Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi.....	10
2.4.2 Tıbbi Atık Yakma Tesisi.....	11
3 YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ (YDD)	13
3.1 YDD Yaklaşımı ve Tarihçesi.....	13
3.2 YDD İlkeleri.....	18
3.2.1 Yaşam Döngüsü Perspektifi.....	18
3.2.2 Çevresel Odak.....	19
3.2.3 İteratif Yaklaşım.....	19

3.2.4	Şeffaflık.....	19
3.2.5	Kapsam.....	19
3.3	YDD Aşamaları	19
3.3.1	Amaç ve Kapsam Tanımı.....	20
3.3.2	Envanter Analizi.....	21
3.3.3	Etki Değerlendirmesi.....	21
3.3.4	Yorum.....	22
3.4	Atık Yönetiminde YDD.....	22
3.4.1	Atık Yönetiminde YDD Modelleri.....	24
3.4.2	Atık Yönetiminde YDD Çalışmalarına Örnekler.....	25
4	MATERYAL VE YÖNTEM	34
4.1	Amaç ve Kapsam Tanımı.....	34
4.2	Envanter Analizi.....	34
4.2.1	İstanbul Tıbbi Atıkların Yönetimi ve Tıbbi Atıkların Karakterizasyonu.....	34
4.3	YDD için Etki Değerlendirmesi.....	40
4.3.1	OpenLCA Kullanımı Hakkında Genel Bilgiler.....	40
4.3.2	OpenLCA Programına Çalışmanın Envanter Verilerinin Girilmesi.....	51
5	BULGULAR	68
6	SONUÇ VE ÖNERİLER	82
6.1	Tartışma.....	83
6.2	Sonuç.....	87
	KAYNAKÇA	89
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	92

SİMGE LİSTESİ

Sb	Antimon
°C	Derece
C ₂ H ₄	Etilen
Ft ²	Fitkare
PO ₄ ⁻³	Fosfat
CO ₂	Karbondioksit
kg	Kilogram
kPa	Kilopaskal
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
SO ₂	Kükürt dioksit
CH ₄	Metan
m ³	Metreküp

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ADR	Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Uluslararası Taşınmasına İlişkin Avrupa Anlaşması
BM	Birleşmiş Milletler
CFC	Kloroflorokarbonlar
CML-IA	Çevre Bilimleri Enstitüsü-Etki Analizi
CSR	Geri Dönüşümü Destekleyen Şirketler
COVID-19	Koronavirüs Hastalığı 2019
EPA	Çevre Koruma Ajansı
EPIC	Çevre ve Plastik Endüstrisi Konseyi
Eşd(eq)	Eşdeğer
GHG	Sera Gazı Emisyonu
GWP	Küresel Isınma Potansiyeli
HBr	Hidrojen Bromür
HBV	Hepatit B Virüsü
HCV	Hepatit C Virüsü
HCL	Hidroklorik Asit
HF	Hidrojen Florür
HIV	İnsan Bağışıklık Eksikliği Virüsü
ILCD	Uluslararası Referans Yaşam Döngüsü Veri Sistemi
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
IWM	Entegre atık yönetimi
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İSTAÇ	İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
KKE	Kişisel Koruyucu Ekipman
lb	Libre
LCIA	Yaşam Döngüsü Etki Analizi
MRF	Malzeme Geri Kazanım Tesisi
ODP	Ozon Tabakası İncelmesi
PE	Özel Sermaye
PM	Partikül Madde
TOK	Toplam Organik Karbon
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Türkiye yıllara göre tıbbi atık miktarı (TÜİK,2020)	9
Şekil 2.2 İstanbul yıllara göre tıbbi atık miktarı (ton/yıl)	10
Şekil 3.1 YDA sınırları	18
Şekil 3.2 YDD aşamaları (ISO, 2006)	20
Şekil 3.3 Atık yönetiminin YDD'sinde sistem sınırlarının genel şeması	23
Şekil 3.4 Eskişehir YDD çalışması sistem sınırları	27
Şekil 3.5 Pakistan YDD için sistem sınırları.....	29
Şekil 3.6 Pakistan YDD sonuçları	30
Şekil 4.2 Tıbbi atık yakma tesisi akış şeması	36
Şekil 4.3 İstanbul tıbbi atık sterilizasyon tesisi akış şeması	37
Şekil 4.4 İstanbul tıbbi atık sterilizasyon ve yakma tesisine gönderilen atık yüzdeleri	38
Şekil 4.5 Gezinme penceresi	41
Şekil 4.6 Mevcut zolca veritabanını içe aktarma	42
Şekil 4.7 Veritabanı yapısına genel bakış	43
Şekil 4.8 Yeni akış oluşturmak.....	44
Şekil 4.9 Birim proses ve sistem prosesi farkı.....	44
Şekil 4.10 Yeni bir proses oluşturma	45
Şekil 4.11 Ürün sistemi yaratma, 1. Adım	45
Şekil 4.12 Ürün sistemi yaratma, 2. Adım	46
Şekil 4.13 Ürün sistemi şeması.....	47
Şekil 4.14 Bir ürün sisteminin hesaplanması, 1. adım	47
Şekil 4.15 Ürün sistemini hesaplama, 2. adım.....	48
Şekil 4.16 Sonuç analizi penceresi	48
Şekil 4.17 Yeni bir proje yaratma, 1. adım	49
Şekil 4.18 Yeni bir proje yaratma, 2. adım	49
Şekil 4.19 Proje oluşturulması.....	50
Şekil 4.20 Bir projeye ürün sistemleri ekleme	50
Şekil 4.21 Proje kurulumu, proses katkıları sonuç örneği.....	51
Şekil 4.22 Mevcut İstanbul tıbbi atık sterilizasyon ve yakma tesisi sistem sınırları	52
Şekil 4.23 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi otomatik atık yükleme prosesi için akışlar (1. adım).....	55
Şekil 4.24 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi otomatik atık taşıma prosesi için akışlar (2. adım).....	56
Şekil 4.25 Tıbbi atık sterilizasyon otoklavlama prosesi için akışlar (3. adım)	56
Şekil 4.26 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi parçalama prosesi için akışlar (4. adım)	57
Şekil 4.27 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi için model grafiği (5. adım)	57
Şekil 4.28 Tıbbi atık yakma tesisi atık kabul prosesi akışlar (1. adım)	58
Şekil 4.29 Tıbbi atık yakma tesisi titreşimli konveyör prosesi için akışlar (2. adım)	58
Şekil 4.30 Tıbbi atık yakma tesisi döner fırın prosesi için akışlar (3. adım)	59
Şekil 4.31 Tıbbi atık yakma tesisi II. yanma odası prosesi için akışlar (4.adım)	59
Şekil 4.32 Tıbbi atık yakma buhar üretim sistemi prosesi için akışlar (5. adım) ...	60
Şekil 4.33 Tıbbi atık yakma kireç-aktif karbon prosesi için akışlar (6. adım)	60

Şekil 4.34 Tıbbi atık yakma filtrasyon prosesi için akışlar (7. adım)	61
Şekil 4.35 Tıbbi atık yakma ürün sistemi model grafiği	61
Şekil 4.36 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) atık kabul prosesi akışlar (1. adım) .	62
Şekil 4.37 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) titreşimli konveyör prosesi için akışlar (2.adım).....	62
Şekil 4.38 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) döner fırın prosesi için akışlar (3. adım)	63
Şekil 4.39 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) II. yanma odası prosesi için akışlar (4.adım).....	63
Şekil 4.40 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) buhar üretim sistemi prosesi için akışlar (5. adım).....	64
Şekil 4.41 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) kireç-aktif karbon prosesi için akışlar .. (6. adım).....	64
Şekil 4.42 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) filtrasyon prosesi için akışlar	65
Şekil 4.43 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) ürün sistemi model grafiği	65
Şekil 4.44 Mevcut tıbbi atık sterilizasyon ve tıbbi atık yakma tesisleri karşılaştırma projesi kurulumu.....	66
Şekil 4.45 Mevcut tıbbi atık yakma ve senaryo tıbbi atık yakma tesisleri karşılaştırma projesi kurulumu.....	67
Şekil 5.1 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi deniz suyu etki kategorisi sonucuna en çok katkı sağlayanlar.....	69
Şekil 5.2 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi deniz suyu ekotoksitesitesi etki kategorisine katkı sağlayanlar.....	70
Şekil 5.3 Tıbbi atık sterilizasyon tesisinin sankey diyagramı.....	71
Şekil 5.4 Tıbbi atık yakma tesisi (mevcut) insan toksisitesi etki kategorisi sonucuna en çok katkı sağlayanlar	72
Şekil 5.5 Tıbbi atık yakma tesisi (mevcut) için deniz suyu ekotoksitesitesi etki kategorisine en çok katkı sağlayanlar	73
Şekil 5.6 Tıbbi atık yakma tesisi (mevcut) insan toksisitesi ve deniz suyu ekotoksitesitesi etki kategorilerine katkı sağlayanlar	74
Şekil 5.7 Mevcut tıbbi atık sterilizasyon tesisi ve tıbbi atık yakma tesisi göreceli sonuçlar grafiği.....	76
Şekil 5.8 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) insan toksisitesi etki kategorisine en çok katkı sağlayanlar	77
Şekil 5.9 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) asitleştirme etki kategorisine en çok katkı sağlayanlar.....	78
Şekil 5.10 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) etki kategorilerine katkı sağlayanlar grafiği	79
Şekil 5.11 Mevcut tıbbi atık yakma ve senaryo tıbbi atık yakma tesisi için göreceli sonuçlar	81

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Dünya Sağlık Örgütü'ne göre hastane atık kategorileri	5
Tablo 3.1 ILCD etki kategorileri	21
Tablo 3.2 Eskişehir kentsel atık kompozisyonu	26
Tablo 3.3 Eskişehir YDD karakterizasyon sonuçları.....	27
Tablo 3.4 Pakistan hastane atık bileşenleri.....	30
Tablo 4.1 Referans tıbbi atık karakterizasyon oranları.....	38
Tablo 4.2 İstanbul tıbbi atık karakterizasyonu	39
Tablo 4.3 İstanbul tıbbi atık sterilizasyon tesisine giden atık karakterizasyonu ve miktarı	39
Tablo 4.4 İstanbul tıbbi atık yakma tesisine giden atık karakterizasyonu ve miktarı	40
Tablo 4.5 İstanbul tıbbi atık yakma tesisine giden atık karakterizasyonu ve miktarı (senaryo)	53
Tablo 4.6 Tıbbi atık yakma döner fırın makinesi kriter kirleticiler ve asit gazlar için emisyon faktörleri (EPA)	53
Tablo 4.7 EPA verilerine göre hesaplanan emisyon verileri.....	54
Tablo 5.1 CML-IA etki analizi metodunun sahip olduğu etki kategorileri ve birimleri.....	68
Tablo 5.2 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi etki analizi sonuçları	69
Tablo 5.3 Tıbbi atık yakma tesisi (mevcut) etki analizi sonuçları.....	72
Tablo 5.4 Mevcut tıbbi atık sterilizasyon tesisi ve tıbbi atık yakma tesisi etki kategorileri karşılaştırması	75
Tablo 5.5 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) etki analizi sonuçları.....	77
Tablo 5.6 Mevcut tıbbi atık yakma tesisi ve senaryo tıbbi atık yakma tesisi etki kategorileri karşılaştırması	80

İstanbul İli İçin Farklı Tıbbi Atık Bertaraf Senaryolarının Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi

Özge KILIÇ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Sadullah Levent KUZU

Tıbbi atık yönetimi, bulaşıcı durumu nedeniyle her zaman önemli bir konu olmuştur. Dünya çapındaki COVID-19 salgını nedeniyle tıbbi atık yönetimine son zamanlarda daha fazla özen gösterilmeye başlanmıştır. Tıbbi atıkların bertarafı için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Otoklavlarla sterilizasyon ve yakma, en yaygın tıbbi atık bertaraf yöntemleri arasındadır. Yakma yönteminde atık yaklaşık 2 saat boyunca yüksek sıcaklığa ($\sim 800^{\circ}\text{C}$) maruz kaldığından tüm yöntemler arasında nihai yöntem olarak kabul edilir. Sterilizasyon ile bertarafa en az 60 dakikalık bir süre boyunca 105 kPa basınçta en az 121°C 'lik bir sıcaklıkta sterilize edilen atıklar düzenli depolamaya gönderilmektedir. Pandemi veya başka nedenlerle, hükümetler tıbbi atık bertarafını sterilizasyon yöntemi yerine net giderim sağladığı için yakma yöntemiyle değiştirmek isteyebilirler. Bu nedenle, bu çalışmada yaşam döngüsü perspektifi açısından her iki teknolojinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Hesaplamalar için openLCA yazılımı kullanılmıştır ve iki farklı hesaplama yapılmıştır. İlk olarak İstanbul ili mevcut bertaraf yöntemleri ve atık miktarı kullanılmıştır. İkincisinde, İstanbul'un tüm tıbbi atıklarının sadece yakılarak arıtılmasını içeren bir senaryo oluşturulmuştur. Sonuçlar, yakma yönteminin sterilizasyona göre daha yüksek bir orta kategori yaşam döngüsü etkisi olduğunu

göstermiştir. Mevcut tıbbi atık sterilizasyon ve tıbbi atık yakma tesisi sonuçlarına göre sterilizasyon tesisi en çok deniz suyu ekotoksitesine 552.8 kg 1,4-DB eşdeğeri ile katkı sağlamıştır. Mevcut bertaraf yöntemi ve senaryo için karşılaştırıldığında en yüksek katkı, sırasıyla 3,8 e4 kg 1,4-DB eşdeğeri ve 1,7e5 kg 1,4-DB eşdeğeri ile insan toksisitesi için hesaplanmıştır. Sterilizasyon işleminin çevresel etkisi, yakma işlemine kıyasla ihmal edilebilir düzeyde kalmıştır. Senaryo ve mevcut yakma tesisi karşılaştırıldığında senaryo için asitleştirme, ötrofikasyon, insan toksisitesi, fotokimyasal oksidasyon etki kategorilerinde artış görülmüştür. YDD sonuçlarımıza göre yakmanın yüksek miktarda olumsuz etkileri olsada, elektrik tüketimi verimliliğinin iyileştirilmesiyle, enerji geri kazanımının güçlendirilmesiyle, uygun yakma koşullarıyla tesisin işletilmesi sonucunda salgın sırasında ele alınabilecek alternatif bir senaryo olarak değerlendirilmesi muhtemeldir.

Anahtar Kelimeler: Tıbbi atık, yaşam döngüsü değerlendirmesi, yakma, otoklav, openLCA

Life Cycle Assessment of Different Medical Waste Disposal Scenarios for Istanbul Province

Özge KILIÇ

Department of Environmental Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Sadullah Levent KUZU

Medical waste management has always been an important issue due to its infectious status. Due to the worldwide COVID-19 pandemic, more attention has been given to medical waste management recently. Various methods are used for the disposal of medical wastes. Sterilization and incineration with autoclaves are among the most common medical waste disposal methods. As the waste is exposed to high temperature ($\sim 800^{\circ}\text{C}$) for about 2 hours in the incineration method, it is considered the final method among all methods. Waste sterilized at a temperature of at least 121°C at 105 kPa pressure for a period of at least 60 minutes at disposal by sterilization is sent to regular storage. Due to pandemic or other reasons, governments may want to replace medical waste disposal with incineration rather than sterilization as it provides net removal. Therefore, in this study, it is aimed to compare both technologies in terms of life cycle perspective. OpenLCA software was used for calculations and two different calculations were made. First of all, the current disposal methods and waste amount of Istanbul province were used. In the second, a scenario was created that includes the treatment of all medical wastes of Istanbul by simply incineration. The results showed that the incineration method has a higher middle category life cycle effect than sterilization. According to the

current medical waste sterilization and medical waste incineration plant results, the sterilization facility contributed the most to marine aquatic ecotoxicity with 552.8 kg 1.4-DB equivalent. When compared for the current disposal method and scenario, the highest contribution was calculated for human toxicity, with 3.8×10^4 kg 1.4-DB equivalent and 1.7×10^5 kg 1.4-DB equivalent, respectively. The environmental impact of the sterilization process remained negligible compared to incineration. When the scenario and the existing incinerator were compared, an increase was observed in acidification, eutrophication, human toxicity, photochemical oxidation effect categories for the scenario. According to our LCA results, although incineration has a large amount of negative effects, it is likely to be considered as an alternative scenario that can be addressed during the epidemic as a result of improving the efficiency of electricity consumption, strengthening energy recovery, and operating the facility with appropriate incineration conditions.

Keywords: Medical waste, life cycle assessment, incineration, autoclave, openLCA

1.1 Literatür Özeti

Atık miktarı nüfus, kentleşme ve sanayileşme ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Tüm atıkların çevre üzerinde iklim değişikliği, toprak, su ve hava kirliliği, kaynak kaybı vb. gibi önemli etkileri vardır [1]. Sağlık hizmetleri farklı atık türleri oluşturmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, sağlık tesislerinde üretilen atığın yaklaşık %10-25'i tehlikeli olarak kabul edilebilir. Bu atıklar bulaşıcı, radyoaktif, toksik ve genotoksik maddelerden oluşabilir [2]. Tıbbi atık olarak bilinen tıbbi kurumlarda üretilen atıkların oranı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, diğer atık türleriyle aynı düzeyde dikkat çekmemiştir. Hastaneler, klinikler, laboratuvarlar, veteriner klinikleri ve daha birçok kuruluşun tıbbi bakım ve tedavi sürecinde ortaya çıkan atık malzemeleri bertaraf etmesi gerektiği iyi bilinmektedir [3]. Gelişmekte olan birçok ülkede belediye ve hastane atıkları birlikte karıştırılır ve açık depolama alanlarına atılır veya açık bir şekilde yakılır [2]. Bu tür atıkların yanlış yönetimi çevresel ve mesleki sağlık risklerine neden olabilmektedir. Sürdürülebilir atık yönetimi uygulamaları, hastane atıklarının zararlı etkilerini azaltmada etkili olabilmektedir [4]. Tıbbi atıklarının bertarafı için farklı arıtma yöntemleri kullanılabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında mikrodalga ısıması, bulaşıcı atıklar için otoklavlama veya yakma, bulaşıcı olmayan atık maddeler için düzenli depolama veya geri dönüşüm yer alır [2]. Atık yönetimi faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları kritik bir çevresel kaygı oluşturmaktadır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) bu tür faaliyetlerin çevresel etkilerini izlemek için kullanılabilir. YDD, “beşikten” (hammaddelerin çıkarıldığı yerden) “mezara” (ürünün en sonunda atıldığı yerlere) kadar ürünlerin yaşam döngüleri boyunca çevresel performansını ölçmenin bir yoludur [1]. YDD'nin amacı sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirebilmek üzere ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca olan etkileri, riskleri ve karşılıklı ilişkileri değerlendirmek için pratik yöntemler geliştirmek ve bunların uygulanmasını yaygınlaştırmaktır [5].

Kentsel atıkların YDD'si üzerinde birçok çalışma vardır fakat tıbbi atıklarının YDD çalışmaları nispeten azdır. Tıbbi atıkların YDD'si üzerinde yapılan çalışmaların birçoğu atık ayrışmasını vurgulamakta ve enerji geri kazanımı olmadan yakmanın çevreye diğer tekniklerden daha zararlı olduğunu söylemektedir [2].

İstanbul, tarihi, kültürü, endüstrisi, kalabalık nüfusuyla Türkiye'nin en büyük şehridir ve Asya ile Avrupa arasında bir köprü olarak önemli bir coğrafi konuma sahiptir. İstanbul'daki sağlık kurumları sadece İstanbul'da yaşayan insanlara değil, tüm ülkeye de hizmet vermektedir. Türkiye'deki hastanelerin yaklaşık %17'si, yatak kapasitesinin %20'si ve özel hastanelerin %54'ü İstanbul'da bulunmaktadır. İstanbul'da tıbbi atık yönetimi Tıbbi Atık Kontrol Yönetmeliği uygulanarak gerçekleştirilmektedir [3]. 1993 yılında ilk kez Tıbbi Atık Kontrol Yönetmeliği'nin yayınlanmasının ardından, Türkiye'de ilk tıbbi atık yakma tesisi İstanbul'da inşa edilmiş ve 1995 yılının sonunda günde 24 ton kapasiteye sahip atıkları kabul etmeye başlamıştır. Tıbbi atıklar, İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde bulunan yaklaşık 10.500 ü kayıtlı 9.125' i aktif olan sağlık kuruluşlarından günlük ortalama 77 ton tıbbi atık düzenli olarak toplanıp sterilizasyon ve yakma tesislerinde bertaraf edilmektedir [6]. Bu çalışmada İstanbul tıbbi atık sterilizasyon tesisi ve yakma tesisi YDD ile değerlendirilmiş, mevcut bertaraf yöntemleri yerine senaryo olarak sadece yakma ile bertarafın sağlanması durumunda oluşabilecek etkiler gözlemlenmiştir. YDD için openLCA programının 1.10 sürümü, ELCD 3.2. veritabanı kullanılmıştır. openLCA, GreenDelta tarafından 2006 yılından beri geliştirilen, yaşam döngüsü analizi ve sürdürülebilirlik değerlendirmesi için kullanılan açık kaynaklı bir yazılımdır [7].

1.2 Tezin Amacı

Tezin amacı, İstanbul ili tıbbi atıklarının mevcut tıbbi atık bertaraf tesisleri (yakma ve sterilizasyon) yerine sadece tıbbi atık yakma tesisiyle bertaraf edilmesi durumunun "Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi " ile değerlendirilmesidir. 2020'de başlayan salgın ile beraber Türkiye'de en çok etkilenen şehirlerden biri olan İstanbul'un tıbbi atıkları yakma gibi daha net giderim yöntemlerinin sterilizasyona (şu an en çok kullanılan metot) göre çevresel avantajları var mı, varsa neler olduğunu araştırmak öncelikli amacımızdır. Bu çalışmayla İstanbul tıbbi atıkları

bertarafı sırasında oluşan çevresel etkiler, bu etkilerin insan sağlığı üzerindeki katkısı gibi analizler yapılacaktır ve gelecekteki araştırmalara yardımcı olması sağlanacaktır.

1.3 Hipotez

Pandemi veya başka nedenlerle, İstanbul ili için tıbbi atık bertarafı mevcut sterilizasyon ve yakma yöntemi yerine net giderim sağladığı için sadece yakma yöntemiyle değiştirilmesi istenebilir. Bu nedenle, yaşam döngüsü perspektifi açısından her iki teknolojinin karşılaştırılması sonucunda tıbbi atıkların sadece yakma yöntemiyle bertaraf edilmesi bazı çevresel etkiler için farklılıklar göstersede, uygun önlemler alındığında alternatif bir senaryo olarak düşünülebilecektir.

Tıp, son yıllarda dünya çapında gelişme gösteren önemli sektörlerden biridir. Bununla birlikte, tıbbi atık olarak bilinen tıbbi kurumlarda üretilen atıkların oranı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, diğer atık türleriyle aynı düzeyde dikkat çekmemiştir. Hastaneler, klinikler, laboratuvarlar, veteriner klinikleri ve daha birçok kuruluşun tıbbi bakım ve tedavi sürecinde ortaya çıkan atık malzemeleri bertaraf etmesi gerektiği iyi bilinmektedir. Bu atıkların üretimi, insan faaliyetleri olduğu sürece devam eden bir olgu olmaya devam edecektir [3].

Sağlık hizmetleri tarafından üretilen atıklar, kullanılan iğneler ve şırıngalardan kirli pansumanlara, vücut kısımlarına, teşhis örneklerine, kan ve kimyasallara, ilaçlara, tıbbi cihazlara ve radyoaktif malzemelere kadar çok çeşitli materyalleri içerir [1]. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, sağlık tesislerinde üretilen atığın yaklaşık %75 ila %90'ı tehlikesiz; tehlikeli atık oranı %10-25'dir. Bu atıklar, bulaşıcı, radyoaktif, toksik veya genotoksik maddelerden oluşabilir. Bu tür atık maddeler çevresel ve mesleki sağlık riskleri oluşturmaktadır. Son yıllarda, nüfus artışı, sağlık tesislerinin sayısı ve tek kullanımlık tıbbi ürünlerin kullanımı nedeniyle hastane atıklarının üretimi önemli ölçüde artmıştır. Birçok gelişmiş ülke, hastane atıklarının ayrıştırılması, depolanması ve taşınması konusunda katı kurallar uygulamaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin ise etkili hastane atık yönetimi söz konusu olduğunda çalışmaların kısıtlı olduğu görülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde, büyük nüfus, yüksek şehirleşme oranları, kapsamlı bir hastane bilgi sistemlerinin bulunmaması, klinik verilerin kullanılabilirliğini daha da kısıtlamaktadır. Kuralların kötü uygulanması ve izlenmesi bazı çalışmalarda bildirilen diğer bir eksikliktir. Bu ihmaller küçük hastanelerde belirgindir. Bu nedenle, bu ülkelerde etkili hastane atık yönetimi için ulusal düzenlemelerin geniş bir şekilde uygulanması ve izlenmesi gerekmektedir. Hastane atıklarının depolanmasına ilişkin kurallar genellikle atığın uygun şekilde etiketlenmiş ayrı depo odalarında geçici olarak depolanmasını gerektirir. Gelişmiş ülkelerde, atıklar genellikle kaynaktan ayrılır ve geçici olarak

uygun şekilde etiketlenmiş depo odalarında depolanır. Avrupa ülkelerinde, tıbbi atık nakliyesi, genellikle ADR olarak bilinen uluslararası karayoluyla düzenlenmesi ile düzenlenmektedir [4].

Tablo 2.1’de Dünya Sağlık Örgütü’ne göre hastane atık sınıflandırılması görülmektedir.

Tablo 2.1 Dünya Sağlık Örgütü 'ne göre hastane atık kategorileri [4]

Atık Kategorisi	İçeriği
Tehlikeli Atık	Enfekte atıklar, patolojik atıklar, kesici-delici atıklar, farmasötik atıklar, genotoksik atıklar, kimyasal atıklar, radyoaktif atıklar
Tehlikesiz Atık	Kağıt ve karton atıkları, ambalaj atıkları, gıda atıkları, aerosoller vb.
Enfekte Atık	Her türlü patojen tarafından kontamine olmuş ve laboratuvar çalışmasından kültürler, ameliyatlardan ve otopsilerden kaynaklanan atıklar, enfekte olmuş hastalardan kaynaklanan atıklar, bu tür hastalarla temasta bulunan atılan veya atılabilir malzeme ve ekipmanlar
Patolojik Atık	Dokular, organlar, vücut parçaları, fetüsler, kan ve vücut sıvıları
Kesici-Delici Atıklar	Enfekte olsun ya da olmasın, iğneler, şırıngalar, neşterler, infüzyon setleri, testereler ve bıçaklar, kırık camlar ve kesebilecek veya delebilecek herhangi bir öge
Farmasötik Atıklar	Kullanım süresi dolmuş veya kullanılmayan farmasötik ürünler, fazlalık ilaçlar, aşılar veya

Tablo 2.1 Dünya Sağlık Örgütü 'ne göre hastane atık kategorileri (devamı)

	serumlar, şişeler, kutular, eldivenler, maskeler, tüpler vb.
Genotoksik Atıklar	Sitotoksik ilaçlar ve sitotoksik ilaçlarla tedavi edilen hastalardan gelen atık malzemeler, bu tür ilaçların hazırlanması ve uygulanmasından kontamine olmuş şırıngalar ve şişeler vb.
Kimyasal Atık	Tanısal ve deneysel çalışmalardan kaynaklanan kimyasallar, temizlik işlemleri atıkları, kırık klinik ekipmanlarından kaynaklanan civa atıkları, atılan piller, kadmiyum atıkları vb.
Radyoaktif Atık	Vücut dokusu ve sıvısının in vitro analizinden, in-vivo vücut organı görüntüleme , tümör araştırma ve tedavi prosedürlerinden üretilen radyonüklitlerle kontamine sıvı, katı ve gaz halindeki atıklar

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre tıbbi atıklar; enfeksiyöz atıklar, patolojik atıklar ve kesici, delici atıklar olmak üzere üçe ayrılır [8]. Bu kategorideki atıklar tıbbi atık bertaraf tesislerine yollanmaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerde, mevzuat tıbbi atıkların etiketli ve renk kodlu atık torbalarına/kaplarına ayrılmasını gerektirir. İlgili konular arasında uygun kaynak ayrımı eksikliği, renk kodlaması eksikliği, atık bileşimi ve miktarı ile ilgili kayıtların eksikliği yer almaktadır. Bazen sağlık görevlilerinin dikkatsizliği, evsel atıklar ile insan organları ve radyoaktif maddeler gibi tehlikeli atık maddelerinin karıştırılmasıyla sonuçlanmaktadır. Dolayısıyla, kaynak ayrımı eksikliği, renk kodlaması eksikliği, kayıt tutma eksikliği ve personelin dikkatsizliği, gelişmekte olan ülkelerdeki hastanelerde kötü atık uygulamalarına yol açan temel sorunlardan bazıları olarak görülmektedir. Kaynak ayrımı eksikliği, hastane atık yönetimi personeli ve temizleyicilerinde iğne batması yaralanmalarına neden olabilir. Bu da

hepatit B (HBV), hepatit C (HCV) ve insan immün yetmezlik virüsü (HIV) enfeksiyonlarına (Prüss-Üstün) yol açabilir. Doğru denetim, bu hastalıkların riskini azaltabilmektedir. Kaynak ayrımı ayrıca yakılması gereken atık miktarının azaltılmasına yardımcı olabilir, böylece enerji tasarrufu sağlanır ve hastaneler üzerindeki mali yük azalır [4].

2.1 Tıbbi Atık Bertaraf Yöntemleri

Hızlı nüfus artışı, hasta sayısının artmasına ve üretilen atıkların artmasına neden olmuştur. Her gün uygun işlem ve bertaraf gerektiren yüzlerce ton hastane atığı üretilmektedir. Tıbbi atıklar bulaşma ve kirlilik kaynağı olduğundan, insanlar için hastalık ve hastalıklara neden olabileceğinden, bunların arıtılması ve bertarafı için özel prosedürler gerekmektedir [9].

Gelişmiş ülkelerde, tıbbi atık bertarafı için bir dizi farklı teknoloji kullanılmaktadır. Bunlar yakma, sterilizasyon (otoklavlama), arazi doldurma, geri dönüşüm, elektron ışıını teknolojisi, biyolojik dönüşüm vb. gibi mekanik, termal ışıınlayıcı, biyolojik ve kimyasal yöntemleri veya bunların bir kombinasyonunu içerir . Almanya, Slovenya, Portekiz gibi ülkelerden bazıları, çevre kirliliğini önlemek için tıbbi yakma tesislerini aşamalı olarak kaldırmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde, aynı coğrafi alandaki farklı hastanelerde farklı atık bertarafı uygulamaları kullanılabilir. Bazı durumlarda, özel yükleniciler yakma veya arazi doldurma yoluyla atık bertarafı için kiralanmaktadır. Diğer durumlarda hastaneler atıklarını yakmaktadır [4].

Yakma en yaygın olarak kullanılan hastane atık bertaraf yöntemidir; bununla birlikte, çevre kirliliğine neden olduğu için kaygı oluşturmaktadır, bu nedenle emisyon kontrol cihazlarına ek harcama yapılması gerekmektedir. Piroliz gibi yeni teknikler, atığı hacimce önemli ölçüde azaltan ve aynı zamanda enerji geri kazanımı ile sonuçlanan nispeten ucuz atık bertaraf teknolojileri olarak belirtilmiştir. Tıbbi atıkların, zararlı etkilerini azaltmak için nihai bertaraftan önce uygun yönetim ve arıtma gerektirir [5].

Yakma, organik ve yanıcı atıkları inorganik, yanmaz maddeye indirgeyen ve atık hacmi ve ağırlığında çok önemli bir azalmaya neden olan yüksek sıcaklıkta bir kuru oksidasyon işlemidir. Bu işlem genellikle geri dönüştürülemeyen, yeniden

kullanılmayan veya bir depolama sahasında bertaraf edilemeyen atıkların arıtılması için seçilir. Organik bileşiklerin yanması, esas olarak buhar, karbondioksit, azot oksitler ve belirli toksik maddeler (örneğin metaller, halojenik asitler), partikül madde ve kül şeklinde katı kalıntılar dahil olmak üzere gaz emisyonları üretir. Yanma koşulları uygun şekilde kontrol edilmezse, toksik karbon monoksit de üretilecektir. Prosesin ürettiği kül ve atık su, sağlık ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerden kaçınmak için arıtılması gereken toksik bileşikler de içerir [10].

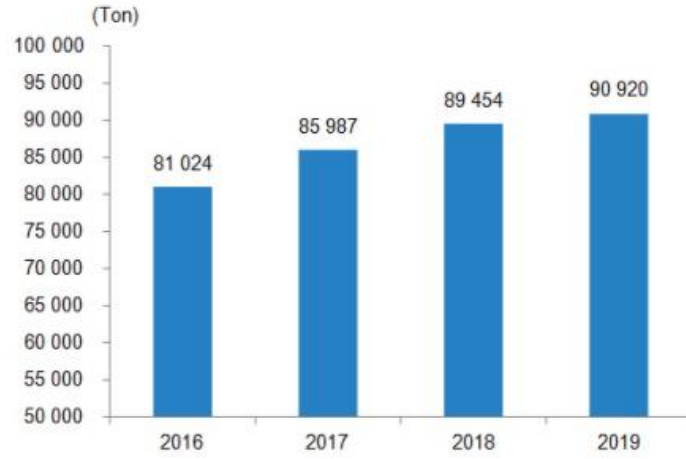
Sterilizasyon yönteminde mikroorganizmaları inaktive etmek, tıbbi cihazları sterilize etmek ve tıbbi atıkların arıtılması için buhar, nem, ısı ve basınçla otoklav kullanılmaktadır. Atıkların Yönetimi ve Taşınması Kuralları (2000), tek kullanımlık malzemeler, mikrobiyolojik atıklar ve kesici aletler için otoklavlamayı önermektedir. Bir otoklav için tipik çalışma koşulları, en az 60 dakikalık bir süre boyunca 105 kPa basınçta en az 121°C'lik bir sıcaklıktır [9]. Anatomik ve patolojik atıklar, düşük seviyeli radyoaktif atıklar, organik çözücüler, laboratuvar kimyasalları ve kemoterapi atıkları otoklavda arıtılmamalıdır [11].

2.2 Türkiye’de Tıbbi Atıklar ve Bertaraf Yöntemleri

Tıbbi atık yönetimi Türkiye'deki en önemli konulardan biridir çünkü tıbbi tesislerden kaynaklanan atık miktarı üretilen toplam atığın önemli bir parçasıdır. Bu nedenle verimli yönetim ve kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmalıdır. Tıbbi atıklar, 1993 yılında uyarlanan Türkiye Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre yönetilmektedir. Yakma işlemi, tıbbi atık için bu yönetmeliğin nihai bertaraf yöntemidir [1].

Türkiye’de tıbbi atıklar için kullanılan bertaraf yöntemleri genel olarak sterilizasyon yapılarak düzenli depolama ve yakmadır.

Türkiye’de tıbbi atık istatistikleri kapsamında, 2019 sonunda 1524 sağlık kuruluşundan 90 bin 920 ton tıbbi atık toplandığı belirlenmiştir. 2019 yılında toplanan tıbbi atık miktarı bir önceki yıla göre %1,6 oranında artış göstermiştir [12].



Şekil 2.1 Türkiye yıllara göre tıbbi atık miktarı (TÜİK,2020) [12]

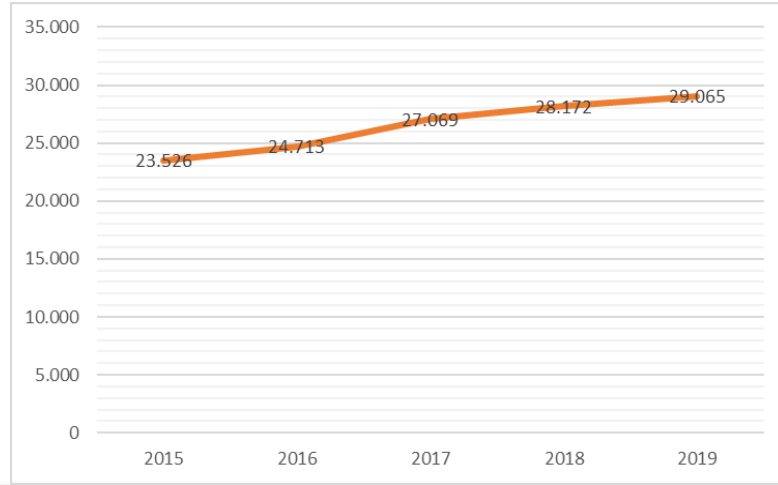
Türkiye genelinde sağlık kuruluşlarından 2019 yılında toplanan tıbbi atığın %91,3'ü sterilize edilerek depolama alanlarına gönderilmiştir, %8,7'si ise yakma tesislerine gönderilerek bertaraf edilmiştir; 2018 yılında ise toplanan tıbbi atığın, %92,3'ü sterilize edilerek depolama alanlarına gönderilmiştir, %7,7'si ise yakma tesislerine gönderilerek bertaraf edilmiştir [12].

2.3 İstanbul'da Tıbbi Atıklar

Türkiye'de tıbbi atık yönetimi ile ilgili ilk düzenleme 1993 yılında yayınlanmış ve aday ülke olarak 2005 yılında AB Çevre Direktiflerine göre değiştirilmiştir. İstanbul'daki 192 hastaneye yüz yüze görüşmelerle tıbbi atıkların miktarı, toplanması ve geçici olarak depolanması hakkında 14 sorudan oluşan bir anket uygulanmıştır. Hastanelerden tahmini tıbbi atık miktarının yaklaşık 22 ton/gün ve ortalama üretim hızının 0.63 kg/yatak-gün olduğu belirlenmiştir [3].

Geri dönüştürülebilir malzemeler %83 oranında ayrı olarak toplanmıştır. Farklı türdeki atıkların ayrı toplanması sürekli olarak uygulanmaktadır, ancak hastanelerin %25'i hala tıbbi atık toplama için uygun olmayan kaplar kullanmaktadır. Hastanelerin %77'si tıbbi atık toplama personeli için uygun ekipman kullanmaktadır. Geçici depoları olan hastanelerin yüzdesi %63'tür. İstanbul'da tıbbi atık yönetimi Tıbbi Atık Kontrol Yönetmeliği uygulanarak gerçekleştirilmektedir [3].

Şekil 2.2. 'den görüldüğü gibi İstanbul'da 2019 yılında 29.065 ton/yıl tıbbi atık üretilmiştir [13].



Şekil 2.2 İstanbul yıllara göre tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

2.4 İstanbul'da Tıbbi Atık Bertaraf Yöntemleri

Sağlık kuruluşlarından oluşan atıklar, birbirinden ayırt edilebilen üç ayrı renkte torbalarda toplanır. Evsel atıklar 'siyah', ambalaj, ilaç ve serum şişesi gibi cam atıklar 'mavi', tıbbi atıklar 'kırmızı' torbada toplanır. İğne gibi kesici-delici atıklar ise 'sarı' enfekte atık kovalasına yerleştirilip ağzı kapatıldıktan sonra kırmızı torbaya konulur. Kırmızı torbalar 100 mikron kalınlığında (çift kat), sızdırmaya dayanıklı, nem geçirmeyen, normal şartlarda yırtılmaya, patlamaya karşı dirençli ve orta yoğunluklu polietilenden yapılmıştır. Üzerinde 'uluslararası klinik atıklar amblemi' ve 'tıbbi atık' ibaresi bulunmaktadır [14].

Tıbbi atıklar İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırlarındaki 8500 farklı noktadan 43 adet lisanslı araçla düzenli olarak toplanmaktadır. Günde 77 ton tıbbi atığın, 60 tonu Avrupa Yakası Odayeri Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi'ne getirilmektedir. 17 tonu Avrupa Yakası Odayeri Tıbbi Atık Yakma Tesisi'ne getirilmektedir [14].

2.4.1 Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi

Günlük kapasitesi 100 ton olan sterilizasyon tesisinde, tıbbi atıklar, sterilize edilip insan sağlığına ve çevreye zarar vermeden bertaraf edilmektedir. Sterilizasyon tesisi prosesinde ilk olarak konteynerlere yüklenen atıklar el değmeden, otomatik atık taşıma sistemiyle 3 adet otoklavın içerisine yerleştirilmektedir. Tıbbi atıklar, her

birinin kapasitesi 1,5 ton /saat olan otoklavların içerisinde sıcaklık 145°C'ye çıkarılmak suretiyle sterilizasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Toplam işlem süresi yaklaşık 45 dakikadır. Sterilizasyon sonrasında 2 adet parçalama ünitesi bulunmaktadır. Sterilize edilen ve evsel atık niteliği kazanan atıklar daha sonra bilgisayar kontrollü steril atık parçalama ünitesine aktarılmakta ve küçük parçalar haline getirilmektedir. Parçalanan steril atıklar, steril atık taşıma aracına otomatik olarak yüklenmekte ve çevreye zarar vermeden nihai bertarafı sağlamak üzere düzenli depolama sahasına gönderilmektedir [14].

2.4.2 Tıbbi Atık Yakma Tesis

Tıbbi atıklar özellikle patolojik atıklar, 1995 yılında kurulan 24 ton/gün kapasiteli Odayeri-Kemberburgaz tıbbi atık yakma tesisinde 800°C ile 1000°C arasında yakılmakta ve atıklar yanma sonucunda hacimsel olarak %95, kütleli olarak %75 azaltılarak bertaraf edilmektedir. Tüm proses ve sürekli emisyon ölçüm sistemi ile de baca gazı emisyonları çevrimiçi olarak kontrol edilmektedir. Proses 7 adımdan oluşmaktadır [14].

-Atık Kabul: Tıbbi atık araçları ile tesise getirilen tıbbi atıklar, el değmeden bunkerlere dökülmekte ve buradan titreşim sayesinde besleme konveyörüne aktarılmaktadır.

-Titreşimli Konveyör Sistemi: Tıbbi atıklar bunkerlerden vibrasyon yolu ile titreşimli konveyör sistemine aktarılmakta ve malzemesi paslanmaz çelik olan titreşimli konveyör kanalları ile el değmeden fırına beslenmektedir.

-Döner Fırın: Döner fırın iç yüzeyi refrakter malzeme ile kaplanmış olup, yanma sıcaklığını minimum 850°C'de tutan bir brülör ile teçhiz edilmiştir. Yakma fırınının içerisinde her bir ton atığın asgari alıkonma süresi 1 saattir.

-II.Yanma Odası: Yanma sonrasında oluşan baca gazı, döner fırından ikinci bir yakma odasına gönderilir. 1100-1200°C'de yakma sağlanarak dioksin ve furan gibi kanserojen özellikli zararlı gazların oluşumunun önüne geçilir. Baca gazlarının tamamıyla yanması için ikinci yakma odasında bekletilme süresi minimum 2 saniyedir.

-Buhar Üretim Sistemi: 1200°C'ye ulaşan atık gaz; buhar kazanı, kızdırıcı, ekonomizer ve su püskürtme kulesinden geçerek yaklaşık 120°C'ye düşmektedir. Isı enerjisinden faydalanılarak bu üniteler sayesinde tesiste bulunan buhar türbininin elektrik üretmesi için gerekli buhar üretilmektedir.

-Hava Kirliliği Kontrol Sistemi: Yanma sonucu oluşan atık gaz mevcut filtrasyon ünitesinde torbalı membran filtrelerden geçirilerek yönetmelikte belirtilen partikül madde sınır değerleri sağlanmaktadır. Kireç püskürtme ünitesi ile gaz arıtımı sağlanmaktadır.

-Aktif Karbon Dozajlama Sistemi: Yakma tesisinde baca gazı emisyonlarının (özellikle dioksin ve furanların) kontrolünü sağlamak amacı ile Aktif Karbon Dozaj Ünitesi tesise ilave edilmiştir [14].

3.1 YDD Yaklaşımı ve Tarihçesi

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, bir sürecin/ürünün/hizmetin YDD terminolojisiyle kilit noktalarını belirlemek ve çevresel performansını iyileştirmek için alternatifler önermek amacıyla geliştirilen bir tekniktir. YDD metodolojisi, bir ürünün veya faaliyetin yaşam döngüsüne dahil olan tüm aşamaların, çevresel sonuçları üzerinde bir sorumluluğu olduğunu göz önünde bulundurarak, "beşikten mezara" bir bakış açısı sağlar [15]. YDD'ye bir ürün sisteminin sosyal ve ekonomik etkileri de dahil edilebilir, ancak YDD'nin odak noktası esas olarak ürün sisteminin çevresel etkileridir.

1930'larda iktisatçılar, yenilenemez kaynakları kullanan bir ekonomide refahın sürdürülemezliğini tartışmaya başlamışlardır [16]. Çevre kirliliği ve enerji, malzeme kıtlığı konusundaki endişeler, ürünlerin çevresel profillemesine yönelik yaşam döngüsü odaklı yaklaşımların geliştirilmesini sağlamıştır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), 1960'larda ilk yaşam döngüsü odaklı yöntemler önerildiğinden beri hem metodolojide hem de uygulamalarda güçlü bir gelişme yaşamıştır. Bugün YDD, "bir ürünün yaşam döngüsü boyunca, yani hammadde ediniminden, üretim ve kullanım aşamaları yoluyla atık yönetimine kadar, potansiyel çevresel etkileri ve kullanılan kaynakları değerlendirmek için bir araç" olarak tanımlanmaktadır [17]. 1960'lı yıllarda çevre kirliliğinin neden olduğu olumsuz çevresel etkilere yönelik ilgi artmış, şeffaf ve bilime dayalı bilgiler çevre bilimcileri tarafından talep edilmeye başlanmıştır. İlk yaşam döngüsü odaklı çalışma, Smith tarafından 1963 yılında Dünya Enerji Konferansı'nda sunulan çalışmadır ve ürünlerin üretimi için enerji gereksinimleri ile ilgilidir. Amerika Birleşik Devletleri ve Kuzey Avrupa'da ilk yaşam döngüsü çalışmaları, enerji tasarrufu ve emisyon azaltma özellikli üretim sistemleri geliştirmek için ambalaj sektöründeki bazı şirketler tarafından yapılmıştır [16].

1970'lerde, bazı endüstriyel faaliyetlerin yarattığı çevre sorunlarına ilişkin toplumun endişeleri artmıştır [16]. Bilim adamları, kaynak tüketimini ve atık üretimini çevresel sorunların ana nedeni olarak kabul etmiş ve yaşamın sonunda ürünlerin güvenilirliği, onarılabilirliği ve geri dönüştürülebilirliği ile döngünün kapatılmasını önermişlerdir. Aynı zamanda, kimyasal ve ambalaj sektörlerinde, enerji tüketimi, katı atık üretimi ve hava emisyonlarına odaklanarak, yaşam döngüsü değerlendirmesine olan ilgi artmaya devam etmiştir. Bu yıllarda, ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından ambalaj yönetmeliğini bilgilendirmek amacıyla yaptırılan ilk kamu ve hakemli YDD çalışması yayınlanmıştır [16]. 1980'lerde, şirketlerin ilgisi ve bilimsel tartışmalar sayesinde, yaşam döngüsü yaklaşımı hem uygulamalarda hem de metodolojilerde gelişmiştir.

Avrupa ülkelerinde süt paketleme artışlarının etkileri ile ilgili çevresel dikkat ve özel tüketicilere süt dağıtımına yönelik alternatif paketleme sistemlerini karşılaştırmak için YDD çalışmaları yapılmıştır. Çelişkili sonuçlara sahip teknolojiler ve benzer ürünler üzerinde çok sayıda YDD uygulaması, titiz metodolojilerin geliştirilmesine olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Bu yıllarda, ilk etki değerlendirme yöntemi tanıtılmıştır ve ticari YDD yazılımının ilk iki parçası piyasaya sürülmüştür (1989'da Gabi ve 1990'da SimaPro) [16]. Şu anda, dünya çapında YDD yazılımının en popüler parçaları SimaPro ve Gabi'dir. SimaPro, Hollanda'da Pre Consultants tarafından, GaBi yazılımı PE International tarafından Almanya'da üretilmiştir [18].

Yaşam döngüsü perspektifi doğrultusunda Birleşmiş Milletler, geri dönüşüm ve yenilenebilir kaynakların öneminin açıklandığı sürdürülebilir kalkınma tarihinde bir kilometre taşı olan “ortak geleceğimiz” raporunu yayınlamıştır (BM, 1987) [16].

1990 yılında, yaşam döngüsü değerlendirmesi kavramının ilk kez öne sürüldüğü Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (SETAC) tarafından YDD ile ilgili ilk uluslararası seminer düzenlenmiştir [18].

Son yirmi yılda, etki değerlendirme yöntemleri sürekli olarak geliştirilmiş ve çeşitli yöntemler güncellenmiştir; 1999'dan bugüne, dünya çapında çeşitli kuruluşlar tarafından 20'den fazla yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yöntemi yayınlanmıştır [16].

Çevresel sorunlara ilişkin artan halk bilinci ve sürdürülebilir kalkınmanın yaygın olarak kabul görmesi nedeniyle yaşam döngüsü çalışmalarına olan ilgi artmıştır. YDD, aslında bir ürünün çevresel etkilerini ölçmek için tasarlanmış bilimsel ve güvenilir araçtır. Tüm önemli çevresel konulara baktığı ve tüm ürün yaşam döngüsünü değerlendirdiği için, bir YDD tüm çevresel hikâyeyi ortaya çıkarır. Bu şekilde, bir ürünün üretim sırasında etkilerini kaydeder ve iyi bir çevresel seçim olup olmadığını görülebilmektedir [1].

Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılamaya odaklanır. Sürdürülebilirlik kavramı ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere üç temelden oluşur. Yaşam döngüsü hareketinin amacı sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirebilmek üzere ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca olan etkileri, riskleri ve karşılıklı ilişkileri değerlendirmek için pratik yöntemler geliştirmek ve bunların uygulanmasını yaygınlaştırmaktır [5].

YDD sonuçları "bir ürün sistemi çevreyi potansiyel olarak ne kadar etkiliyor?" sorusuna yanıt verir. Cevap "iklim değişikliği üzerindeki etki 87 kg CO₂ eşdeğeri" şeklinde olabilir. YDD farklı süreçlerin ve ürün sistemlerinin çevresel etkilerini karşılaştırmak için kullanılabilir.

Bu, örneğin, hangi ürün veya sistemlerin çevre için daha iyi olduğuna karar vermek veya genel etkiye en çok katkıda bulunan ve dolayısıyla dikkat edilmesi gereken süreçlere işaret etmek için kullanılabilir. YDD sonuçları, tüm emisyonların, kaynak kullanımlarının ve mümkünse bunların coğrafi konumlarının haritalanması ve bu emisyonların, kaynakların çevre üzerindeki olası etkilerini hesaplamak için matematiksel neden/sonuç modellerinden türetilen faktörleri kullanır [17].

YDD hesaplamaları çevresel kaygılara olan dar bir bakış açısını önlemeye yardımcı olabilmektedir [19]:

- İlgili enerji ve malzeme girdileri ile çevresel salınımların bir envanterinin derlenmesi;
- Tanımlanan girdiler ve sürümler ile ilişkili potansiyel etkilerin değerlendirilmesi;

- Daha bilinçli bir karar verilmesine yardımcı olmak için sonuçları yorumlamak.

Aşağıdaki terimlerin tanımı herhangi bir YDD için önemlidir [19].

→ Fonksiyonel (İşlevsel) birim:

YDD'deki fonksiyonel birim, bir ürünün işlevinin nicelikli tanımını ifade eder. Bir fonksiyonel birimin tanımı, YDD'de bir ürün sistemi oluşturmak ve modellemek için gereklidir. Fonksiyonel birim, etki değerlendirmesiyle ilgili tüm hesaplamalar için referans temeli olarak hizmet eden bir ürünün işlevinin nicel bir açıklamasıdır. Bir fonksiyon, incelenen ürünün performans, estetik, teknik kalite, ek hizmetler, maliyetler vb. gibi farklı özelliklerine dayalı olabilir. İşlevsel birim, mümkün olduğunca fiziksel üründen ziyade ürünün işlevleriyle ilgili olmalıdır. Örneğin, “bir yıl boyunca 30000 lümen sağlayan ampuller” yerine “30 lüks ile 10 metrekarelik bir çalışma alanının yıllık aydınlatması”. Bu şekilde, ürün performans süresinin yanı sıra tüm zorunlu özelliklerin ele alınması sağlanır.

→ Sistem Sınırı

Sistem sınırı tanımı, YDD modellemesinde bir diğer önemli unsurdur. Bilimsel kapsam ve sınır tanımı, YDD sonuçlarının doğruluğunu sağlamak için önemlidir. Sistem sınırları, YDD sürecinin bir parçası olarak kabul edilecek veya edilmeyecek tüm süreçleri tanımlar. İdeal olarak, sistem sınırları içinde, işlevsel birim tarafından tanımlanan referans akışları iletmek için gereken tüm birim süreçler olmalıdır. Örneğin bir atık yönetim sistem sınırları atık toplama, taşıma, kaynak geri kazanımı ve düzenli depolama alanlarından oluşmaktadır. YDD çalışmalarının karşılaştırmalı doğası, karşılaştırılan alternatifler için sistem sınırlarının eşdeğer tanımını gerektirir ve ayrıca çalışmada hangi karşılaştırmanın yapıldığına, yani hedef tanımına göre sistem sınırlamalarının yapılmasını gerektirir. Nihai sistem sınırı, teknolojik sistem ve doğa arasındadır. İdeal olarak, bir ürünün işlevi için gerekli olan tüm girdiler ve çıktılar, enerji veya madde akışlarının yukarısında ve aşağısında takip edilmelidir.

→ Çıktılar

Yaşam döngüsü envanteri analizi, sistem sınırları içindeki süreçlere yönelik tüm girdileri ve çıktıları ölçen teknik bir süreçtir. YDD, hem kaynakların kullanımı (girdiler) hem de belirli bir süreç (çıktılar) tarafından yaratılan emisyonların çevre üzerindeki etkilerini analiz eder. Girdiler enerji ve hammaddeler, çıktılar ise hava, su ve toprağa yapılan emisyonlardır; katı atık üretimi; ürün ve ortak ürünler.

Yaşam döngüsü düşüncesi, bir eylemin beşikten mezara olan etkisini dikkate alır ve bu nedenle aşağıdakilere yardımcı olabilir [1]:

- Her yaşam döngüsü aşaması ve katkı süreci için hava, su ve toprağa çevresel salınımları ölçmek;
- Belirli bir ürün veya sürecin çevresel sonuçları hakkında sistematik bir değerlendirme geliştirmek;
- Çeşitli ürünler veya süreçler arasındaki çevresel değişimleri analiz etmek;
- Çevresel ortam ve yaşam döngüsü aşamaları arasındaki çevresel etkilerdeki değişimleri tanımlamak;
- Çeşitli coğrafi düzeylerde çevresel salınımların ve malzeme tüketiminin insan ve ekolojik etkilerini değerlendirmek;
- Belirli bir ürünün veya sürecin tüm yaşam döngüsü veya yaşam döngüsünün seçilen aşamaları boyunca etkilerini tanımlamak;
- Alternatif süreç veya ürünlerin etkilerini karşılaştırmak;
- Alternatif süreçler, ürünler ve malzemeler arasındaki iş birliği hakkında bilgi vermek;
- Çevre sorunları ve tüketici seçimleri hakkında daha bilinçli bir halk yaratmaya yardımcı olmak.

Şekil 3.2. 'de örnek bir YDD çalışması sınırı verilmiştir.



Şekil 3.1 YDA sınırları [5]

YDD'nin bazı önemli faydaları şunlardır [1]:

- Ürünün ve sürecin başından sonuna kadar tüm aşamaları için atık üretimini rapor eder.
- Emisyon esaslarını ciddiyete ve çevreye olan etkilerine göre sıralayarak atık azaltma faaliyetlerinin seçimine yardımcı olur.
- Kurumsal hedeflere ve emisyonların şiddetine göre çevresel etkiyi en aza indirir.
- Fonksiyon birimine ve göreceli etkilere dayalı olarak proses, ürün veya malzeme seçeneklerinin doğrudan karşılaştırılmasına izin verir.
- Kurumsal görüntüleri daha çevre dostu veya yeşil olarak geliştirir.
- Maliyetleri düşürür.

3.2 YDD İlkeleri

Bu ilkeler temeldir ve bir YDD'nin planlanması ve yürütülmesi ile ilgili kararlar için kılavuz olarak kullanılmalıdır.

3.2.1 Yaşam Döngüsü Perspektifi

YDD, bir ürünün hammadde çıkarımı ve elde edilmesinden enerji ve malzeme üretimi ve imalatına, kullanım ömür sonu işlemine ve nihai bertarafına kadar tüm ömrünü göz önünde bulundurur. Böyle bir sistematik genel bakış ve perspektif sayesinde, potansiyel çevresel yükün yaşam döngüsü aşamaları veya bireysel süreçler arasında kayması tanımlanabilir ve muhtemelen önlenabilir (ISO, 2006).

3.2.2 Çevresel Odak

YDD, bir ürün sisteminin çevresel yönlerini ve etkilerini ele alır. Ekonomik ve sosyal yönler ve etkiler, tipik olarak, YDD'nin kapsamı dışındadır. Daha kapsamlı değerlendirmeler için diğer araçlar YDD ile birleştirilebilir (ISO, 2006).

Bağıl Yaklaşım ve Fonksiyonel Birim

YDD, fonksiyonel bir birim etrafında yapılandırılmış göreceli bir yaklaşımdır. Bu fonksiyonel birim, incelenecek ürün sistemini tanımlar (ISO, 2006).

3.2.3 İteratif Yaklaşım

YDD yinelemeli bir tekniktir. Bir YDD'nin tek tek evreleri diğer evrelerin sonuçlarını kullanır. Aşamaların içindeki ve arasındaki yinelemeli yaklaşım, çalışmanın ve rapor edilen sonuçların kapsamlılığına ve tutarlılığına katkıda bulunur (ISO, 2006).

3.2.4 Şeffaflık

YDD'deki doğal karmaşıklık nedeniyle, şeffaflık, sonuçların doğru bir şekilde yorumlanmasını sağlamak için YDD'lerin yürütülmesinde önemli bir yol gösterici ilkedir (ISO, 2006).

3.2.5 Kapsam

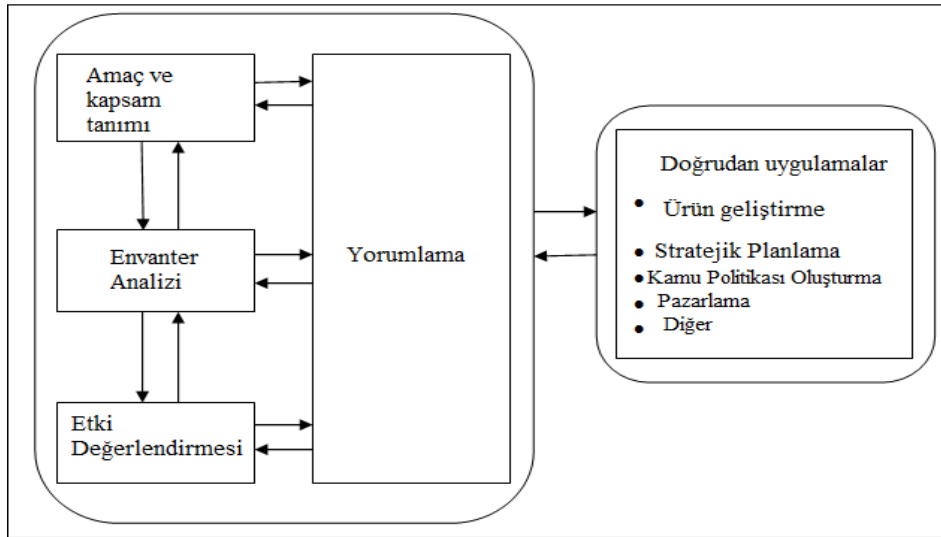
YDD, doğal çevrenin, insan sağlığının ve kaynakların tüm özelliklerini veya yönlerini dikkate alır. Bir çalışmadaki tüm nitelikleri ve yönleri çapraz medya perspektifinde ele alarak potansiyel dengelenmeler tanımlanabilir ve değerlendirilebilir (ISO, 2006).

3.3 YDD Aşamaları

YDD uygulaması dört ayrı aşamada gerçekleşir;

- Hedef ve kapsam tanımı
- Envanter analizi
- Etki değerlendirmesi
- Yorum

Şekil 3.2 'de YDD aşamaları belirtilmiştir.



Şekil 3.2 YDD aşamaları (ISO, 2006) [1]

3.3.1 Amaç ve Kapsam Tanımı

YDD, çalışmanın amacının iyi düşünülmüş ve planlı bir tanımıyla başlar. “Bu çalışma neden yapılır? Hangi soruları cevaplaması amaçlanıyor ve kimler için uygulanıyor?” sorularının cevapları aranır. Hedef tanımı, YDD çalışmasının bağlamını belirler ve değerlendirmenin temel olarak hedef tanımına uygun olarak çerçevelendirildiği ve ana hatlarının çizildiği kapsam tanımının temelini oluşturur [17];

- İşlevsel birimin tanımlanması: Değerlendirmenin gerçekleştirildiği işlev veya hizmetin nicel bir açıklaması ve bir sonraki YDD aşamasında veri toplamayı ölçeklendiren ürün referans akışını belirleme temeli, envanter analizi.
- Ürün sisteminin kapsamını belirleme: Hangi faaliyetlerin ve süreçlerin çalışılan ürünün yaşam döngüsüne ait olduğuna karar verme.
- Değerlendirme parametrelerinin, yani çalışmada değerlendirilecek olan etkilerin seçilmesi.
- Çalışmanın coğrafi, zamansal sınırlarını, ortamlarını ve ürün sistemindeki süreçlerle ilgili teknoloji düzeyini seçmek.
- Çalışmada uygulanacak ilgili perspektife karar verilmesi: “Bir alternatifin diğerine tercih edilmesinin sonucu olarak beklenebilecek etkileri değerlendiren sonuçsal bir çalışma mı yoksa çalışılanla ilişkili etkileri değerlendiren atıfsal bir çalışma mı?” sorularına yanıt bulunur.

3.3.2 Envanter Analizi

Hedef ve kapsam tanımlamasının ardından, envanter analizi; ürün sistemleri için kaynakların, malzemelerin, yarı ürünlerin ve ürünlerin fiziksel girdi akışlarını ve emisyon, atık ve değerli ürünlerin çıktıları hakkında bilgi toplar.

3.3.3 Etki Değerlendirmesi

Bu adımda, envanter analizi sırasında elde edilen girdi ve çıktılarına göre çevresel etkiler hesaplanır [20]. Envanter analizi, küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon ve insan sağlığı üzerine etkiler gibi çevresel etkileri ortaya çıkaran birimlere çevrilmesi gereken farklı bölümlere (hava, su ve arazi) yönelik kullanılan farklı kaynakların ve emisyonların kapsamlı bir listesini sağlar. Avrupa Birliği Ortak Araştırma Merkezi, Uluslararası Referans Yaşam Döngüsü Veri Sistemi (ILCD) Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme yöntemleri el kitabında birkaç etki kategorisi için orta nokta karakterizasyon yöntemleri önermektedir.

Tablo 3.1 ILCD etki kategorileri [21]

ILCD Orta Nokta Kategorileri	
İklim değişikliği	Asitleştirme
Ozon tabakasının seyrelmesi	Karasal ötrofikasyon
İnsan toksisitesi, kanser etkileri	Tatlı su ötrofikasyonu
İnsan toksisitesi, kanser dışı etkiler	Deniz ötrofikasyonu
Partikül madde oluşumu	Tatlı su ekotoksisitesi
İyonlaştırıcı radyasyon (insan sağlığı)	Arazi kullanımı
İyonlaştırıcı radyasyon (ekosistemler)	Su kaynaklarının tükenmesi
Fotokimyasal ozon oluşumu	Maden, fosil ve yenilenebilir kaynak tükenmesi

3.3.4 Yorum

Çalışmanın sonuçları, hedef tanımının bir parçası olarak sorulan sorulara cevap verecek şekilde yorumlanır. Yorum, hem envanter analizinin sonuçlarını hem de etki değerlendirme unsurlarını dikkate alır. Duyarlılık analizi ve belirsizlik analizi, sonuçların geliştirilmesine rehberlik etmek, sonuçların sağlamlığını değerlendirmek ve sonuçları daha da güçlendirmek için daha fazla çalışma için odak noktalarını belirlemek için yorumun bir parçası olarak uygulanır.

3.4 Atık Yönetiminde YDD

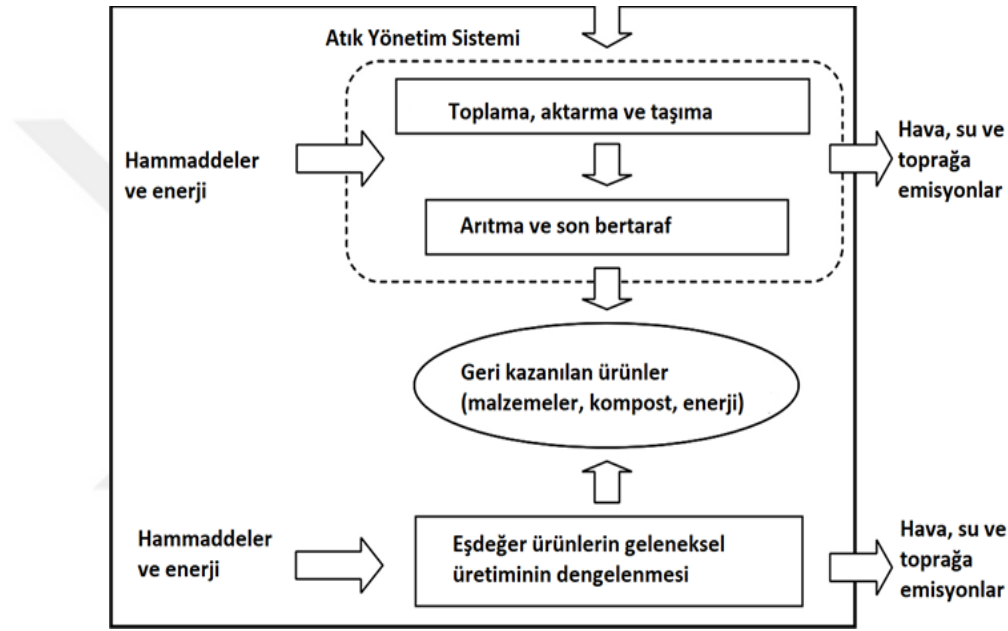
20. yy 'da insanoğlu tarafından büyük aşamalar kaydedilmiş fakat hava, su, toprak ve yer altı zenginlikleri gibi doğal kaynakların bilinçsiz kullanımları sonucunda, küresel ısınma, sera etkisi, ozon tabakasının incelmesi, asit yağmurlarının oluşması, çölleşme ve toprak erozyonu gibi pek çok sorun daha da belirgin hal almıştır. Bu etkilere bağlı olarak “sürdürülebilirlik” kavramı daha da önemli bir hale gelmiştir [5].

AB Atık Çerçeve Direktifi, atık yönetimi için bir öncelik sıralaması tanımlayan atık hiyerarşisini oluşturmuştur. Bu hiyerarşiye göre, atığın önlenmesi tercih edilen seçenektir, ardından yeniden kullanım, malzeme geri dönüşümü, enerji geri kazanımı ve en az tercih edilen alternatif olarak bertaraf edilir. Yine de hiyerarşinin en iyi yolunu temsil etmediği ve bilimsel açıdan sağlam bir şekilde desteklendiği takdirde bundan sapmalara izin verildiği durumlar vardır. Genellikle bu destek, atık yönetimi alternatiflerinin çevresel etkilerini sistematik olarak değerlendiren YDD metodolojisinden elde edilir [20]. Sistemin tüm yaşam döngüsünü dikkate alan bütüncül YDD yaklaşımı, çevresel yüklerin atık yönetim sisteminin bir bölümünden diğerine kayma riskini azaltması ve dolayısıyla sistemin alt optimizasyon riskini azaltması avantajına sahiptir. Bir YDD tarafından sağlanan bilgiler, karar verme süreçlerini desteklemek için ekonomik ve sosyal yönler gibi diğer bilgilerle birlikte kullanılır.

Atık yönetim sistemlerinin YDD'si genellikle karşılaştırmalıdır ve aşağıdaki gibi soruları yanıtlamak için kullanılabilir [20] :

- Herhangi bir kentte kentsel katı atıkların organik fraksiyonunun kompostlanması, anaerobik çürütmeden daha mı iyi?
- Herhangi bir kentin atık yönetim sistemindeki çevresel etkilere en büyük katkıyı hangi parametreler (örneğin, geri dönüşüm oranları, ayırma verimliliği, atık arıtma tesislerinde emisyonlar) sağlıyor?

Şekil 3.3 'de atık yönetiminde YDD sistem sınırları gösterilmiştir. Kesikli çizgi ile çevrelenen kısım atık yönetim sisteminin toplam sistemin sadece bir parçasını oluşturduğunu göstermektedir.



Şekil 3.3 Atık yönetiminin YDD'sinde sistem sınırlarının genel şeması [22]

Katı atık yönetim sistemlerinin modellenmesi çalışmalarına 1970'lerde başlanmış ve 1980'lerde bilgisayar modellerinin geliştirilmesi ile artmıştır [1]. 1980'lerde modeller genellikle ekonomik bir perspektife dayanırken, 1990'larda belediye katı atık yönetim sistemlerinin planlanması için geri dönüşüm ve diğer atık yönetimi yöntemlerini içeren modeller geliştirilmiştir. Atık yönetimi planlamasının önemli bir yönü, atık yönetiminin çevresel etkilerini azaltmak için belirli önlemlerin alınması gereken alanların belirlenmesini sağlamaktır. YDD'ler birçok çalışmada atık bertaraf seçeneklerinin veya yönetim senaryolarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi için çevresel bir araç olarak kullanılmıştır [19].

3.4.1 Atık Yönetiminde YDD Modelleri

YDD atık yönetimi için farklı durumlarda tekrarlanan kullanım için tasarlanmış bir dizi model geliştirilmiştir. Bu modellerin bazıları ticari olarak kullanılabilirken, diğerleri yalnızca araştırmacılar tarafından kullanılabilir. Tüm modeller YDD çerçevesinde geliştirilir, ancak modellerin geliştirildiği ülkelerin hedeflerindeki, hedeflenen kullanıcılarındaki veya atık yönetimi politikasındaki farklılıklar nedeniyle modeller kapsam, ayrıntı düzeyi ve bazı metodolojik konularda farklılık gösterebilir. Bu modellerden bazılarından bahsedilmiştir [22].

3.4.1.1 Entegre Atık Yönetimi-2

Entegre atık yönetimi-2 (IWM-2), bu türdeki en eski modellerden biri olan Procter ve Gamble tarafından 1995 yılında piyasaya sürülen IWM-1'in güncellenmiş versiyonudur. Procter ve Gamble'ın bazı ürünleri ve paketlerinin çoğu katı atık akışına girmektedir. Atık yönetim sistemlerini anlamak, şirketin çevresel etkileri azaltılmış ürünler ve paketler geliştirmesini sağlar. IWM-2 modelinin genel amacı, belirli bir atık yönetim sisteminin maliyetlerini ve çevresel yüklerini olabildiğince doğru bir şekilde tahmin etmektir.

3.4.1.2 IWM Kanada

IWM model, Kanada'da Çevre Kanada ve iki endüstri birliği olan Çevre ve Plastik Endüstrisi Konseyi (EPIC) ve Geri Dönüşümü Destekleyen Şirketler (CSR) (EPIC ve CSR, 2000) ortaklığında geliştirilmiştir. Model bir Excel platformu üzerine kuruludur ve bir Visual Basic arayüzü ile çalışır. IWM modelinin amacı, Kanadalı belediyelere mevcut katı veya önerilen atık yönetim sistemlerinin çeşitli unsurlarının çevresel ve ekonomik performansını entegre katı atık yönetimi amacına yönelik olarak değerlendirmelerini sağlayan bir araç sağlamaktır.

3.4.1.3 ORWARE Modeli

ORWARE, Matlab ve Excel'de uygulanır. Modelin ticari bir sürümü yoktur ve sadece araştırmacılar veya araştırmacılarla yakın iş birliği içinde olan başkaları tarafından kullanılabilir.

3.4.1.4 WISARD

WISARD ilk olarak 1999 yılında Ecobilan tarafından Fransa'daki Eco-Emballages ve İngiltere ve Galler Çevre Ajansı adına geliştirilmiştir. WISARD'ın amacı, karar vericilerin alternatif atık yönetimi senaryolarını değerlendirmelerine yardımcı olmak için belediye katı atıklarının toplanması ve işlenmesinin çevresel etkilerinin ölçülmesini kolaylaştırmaktır.

3.4.1.5 ReCiPe modeli

ReCiPe, bir YDA'da etki değerlendirmesi için bir yöntemdir. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi, emisyonları ve kaynakları, karakterizasyon faktörleri olarak adlandırılan sınırlı sayıda çevresel etki puanına çevirerek YDD çalışmalarının yorumlanmasını destekler.

3.4.2 Atık Yönetiminde YDD Çalışmalarına Örnekler

Eskişehir kenti için 2008 yılında yapılan bir çalışmada optimum kentsel katı atık yönetim stratejisini belirlemek için YDD yöntemi kullanılmıştır [23]. Eskişehir, günde yaklaşık 750 ton atık üreten Türkiye'nin gelişmekte olan şehirlerinden biridir. Bu şehirde etkili bir kentsel atık yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır, çünkü üretilen kentsel atık için biyogaz yakalaması vb. sistemler yoktur. Bu nedenle, mevcut atık yönetim sistemine alternatif olarak beş farklı senaryo geliştirilmiştir. Bu senaryolarda atıkların toplanması ve taşınması, bir malzeme geri kazanım tesisi (MRF), geri dönüşüm, kompostlama, yakma ve toprak doldurma süreçleri dikkate alınmıştır. S1, bazı iyileştirmeler içeren mevcut atık yönetimi sistemidir. Bu senaryoda, sisteme bir MRF ve depolama sahası eklenmiştir. S2'de, S1'e iyileştirme olarak %50 verimliliğe sahip bir kaynak ayırma sistemi eklenmiştir. S3' te biyolojik olarak parçalanabilir fraksiyonun geri kazanılmasını vurgulamaktadır. Sistemin akışı, geri dönüştürülebilir malzemeler için S2'ye benzerken, MRF'den gelen organik kısım (%77) kompost tesisine taşınır. S4'te sisteme kompost tesisi yerine yakma işlemi eklenmiştir. S5'te, tüm evsel atığın yakma tesisine gönderildiği düşünülmüştür.

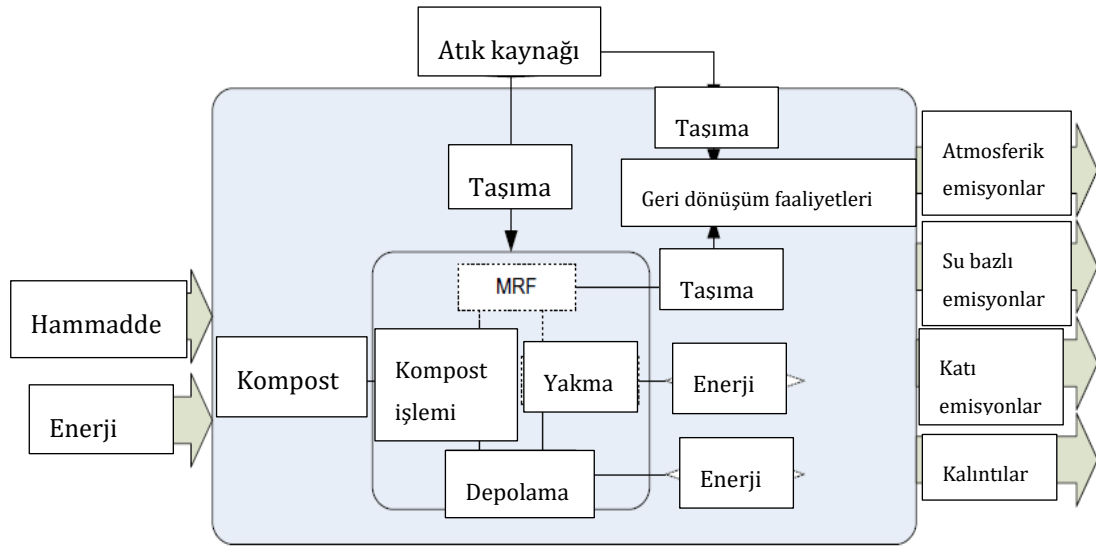
SimaPro7 kütüphaneleri, yaşam döngüsü envanteri için veritabanı elde etmek amacıyla kullanılmıştır. İşlevsel birim olarak Eskişehir'in bir ton belediye katı atığı seçilmiştir. Alternatif senaryolar CML 2000 yöntemi ile karşılaştırılmış ve bu karşılaştırmalar abiyotik tükenmesi, küresel ısınma, insan toksisitesi, asitleşme, ötrofikasyon ve

fotokimyasal ozon incelmesi etkileri bakımından gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalara ve duyarlılık analizlerine göre, kompostlama senaryosu, daha çevre dostu bir alternatif olarak bulunmuştur. Bu çalışmada atık yönetimi alternatifleri sadece çevresel bir bakış açısıyla araştırılmıştır. Çalışma için gerekli olan kentsel atık içeriği Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Eskişehir kentsel atık kompozisyonu

Bileşen	Kompozisyon (%)
Kağıt-karton	10,07
Metal	1,26
Cam	2,49
Plastik	5,62
Gıda	67,04
Kül	3,87
Diğer	9,65
Toplam	100,00

Çalışma sistemi yerleşim yerlerinden kentsel katı atık toplanması ile başlar ve atık taşıma, atık arıtma alternatifleri (geri dönüşüm, kompostlama ve yakma) ve atıkların düzenli olarak depolanmasını içerir. Şekil 3.4.’de sistem sınırları gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Eskişehir YDD çalışması sistem sınırları

Tablo 3.3'te karakterizasyon sonuçları görünmektedir. Tabloda gösterildiği gibi, her etki kategorisi için araştırılan sonuçlar: Abiyotik tükenmesi: S5 diğer senaryolardan daha yüksektir; S2, S3 ve S4, geri dönüşüm prosesinde hammadde kullanımından kaçınıldığından daha düşüktür. Küresel ısınma: Atık depolama senaryoları (S1 ve S2) için metan en önemli etkidir. S4 ve S5 için küresel ısınma etkisi çoğunlukla CO₂'den kaynaklanmaktadır. S3, bu etki kategorisi için en iyi senaryodur. İnsan toksisitesi: S5, %100 katkı ile azot oksit nedeniyle en yüksek insan toksisite etkisine sahiptir. Bu çalışma, kompostlama senaryosu S3'ün daha çevre dostu olduğunu göstermektedir.

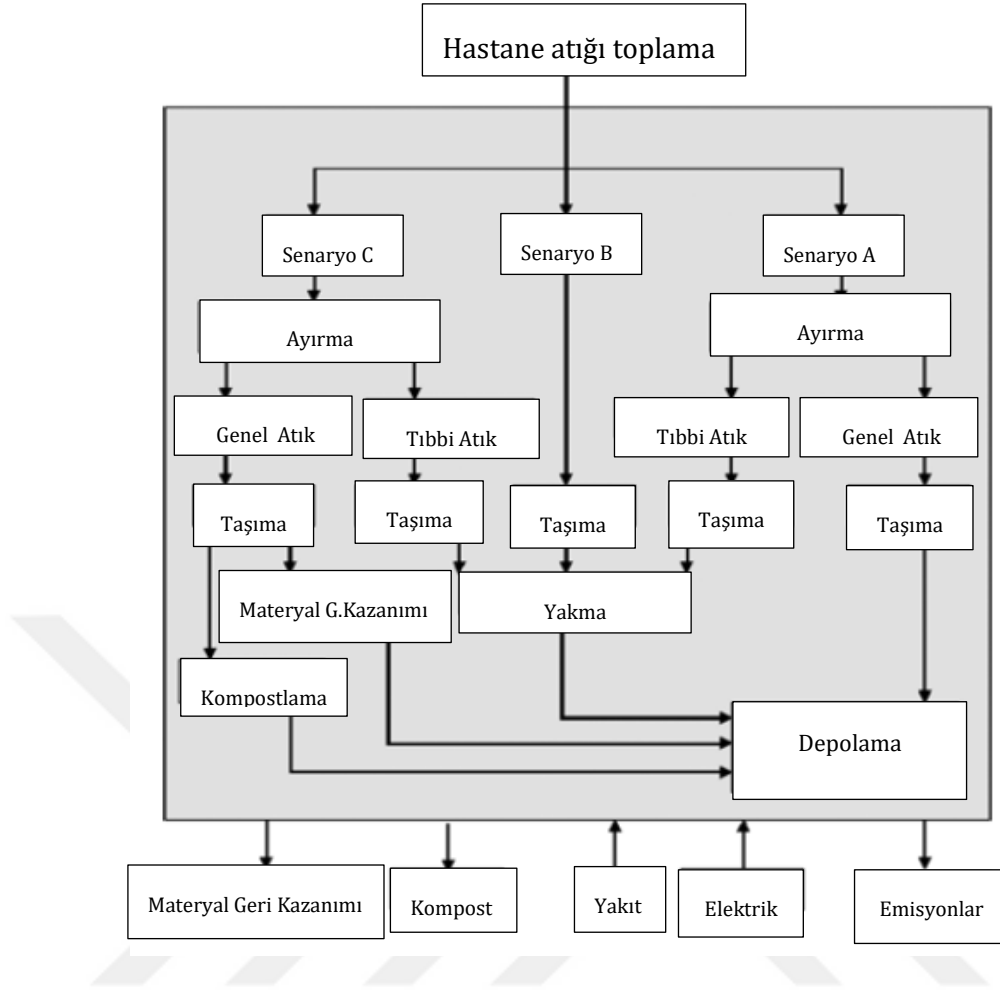
Tablo 3.3 Eskişehir YDD karakterizasyon sonuçları

Senaryolar	S1	S2	S3	S4	S5
Abiyotik tükenme (kg Sb eşd/ton atık)	-0,437	-1,11	-1,08	-1,15	-0,16
Küresel ısınma (GWP100) (kg CO ₂ eşd/ton atık)	6990	6950	1360	1370	1510

Tablo 3.3 Eskişehir YDD karakterizasyon sonuçları (devamı)

İnsan toksisitesi (kg 1.4-DB eşd/ton atık)	-135	-271	-269	-182	91,9
Asidifikasyon (kg SO ₂ eşd/ton atık)	43,6	42,6	41,4	36,7	38,3
Ötrofikasyon (kg PO ₄ ⁻³ eşd/ton atık)	37,9	37,8	9,13	9,89	9,98
Fotokimyasal oksidasyon (kg C ₂ H ₄ /ton atık)	1,63	1,57	-0,0857	2,06	2,14

Diğer bir çalışma Pakistan'da, yaşam döngüsü analizi yaklaşımını kullanarak hastane atık yönetimi senaryolarının çevresel yönlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır [2]. Bu çalışma için Pakistan'ın büyük bir şehrindeki en büyük hastanede anket gerçekleştirilmiştir. Hastane, atıklarını kategoriye göre ölçmek için Kasım 2014'ten Ocak 2015'e kadar ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Çalışmanın fonksiyonel ünitesi bir ton tek kullanımlık katı hastane atığı olarak seçilmiştir. Sistem sınırları hastane katı atıklarının taşınmasını ve bunların arazi doldurma, yakma, kompostlama ve malzeme geri dönüşüm yöntemleri ile işlenmesini ve bertaraf edilmesini içermektedir. Bu yöntemler sera gazı emisyonlarına göre değerlendirilmiştir. YDD, sera gazı (GHG) emisyonları için farklı atık bertaraf senaryolarının değerlendirilmesine yardımcı olabilecek kullanışlı bir tekniktir. Düzenli depolama ve yakma en kötü nihai bertaraf alternatifleri iken, kompostlama ve malzeme geri kazanımı emisyonlarda tasarruf sağlamıştır. Değerlendirilen senaryolar arasında en iyi çözüm olarak entegre bir sistem (kompostlama, yakma ve malzeme geri dönüşümü) bulunmuştur. Bu çalışma paydaşlar tarafından entegre bir hastane atık yönetimi planının oluşturulması için kullanılabilir. Şekil 3.5 'de çalışma sistem sınırları gösterilmiştir.



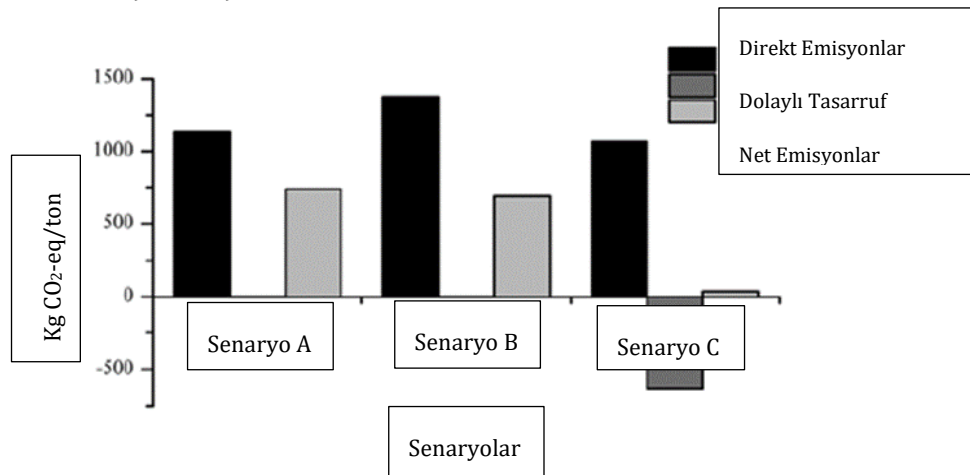
Şekil 3.5 Pakistan YDD için sistem sınırları

Tablo 3.4 genel ve tıbbi atık maddeleri, bunların bileşenlerini göstermektedir. Tabloda, 'diğer' ürünler kategorisi meyve kabukları, mutfak atıkları, bahçe atıkları, vb. içerir.

Tablo 3.4 Pakistan hastane atık bileşenleri

Atık tipi		Plas- tik	Kağ- ıt	Cam	Teks- til	Metal	Pato- lojik	Diğ- er	Top- lam
Tıbbi	Enfek- siyöz	35,77	46,74	46,7	545,0 1	33,97	46,2 1		754,4
	Kesici- ler	34,98							34,98
Genel		162,9 7	99,34	51,1 8				424, 54	738,0 3
Toplam		233,7 2	146,0 8	97,8 8	545,0 1	33,97	46,2 1	424, 54	1527, 41

Şekil 3.6 yukarıda açıklanan üç senaryo için sera gazı emisyonlarını göstermektedir. Senaryo A, 1134,00 kg CO₂ eşd./ ton doğrudan GHG emisyonu ve 737,51 kg CO₂ eşd. / ton net emisyonla sonuçlanmıştır. Senaryo B, 1374,86 kg CO₂ eşd./ ton doğrudan GHG emisyonu ve 688,46 kg CO₂ eşd. / ton net emisyonla sonuçlanmıştır. Son olarak, Senaryo C, kompostlama ve malzeme geri kazanımı ile tasarruf nedeniyle 1062,59 kg CO₂ eşd. / ton doğrudan GHG emisyonu ve sadece 35,98 kg CO₂ eşd. / ton net emisyon ile sonuçlanmıştır.

**Şekil 3.6** Pakistan YDD sonuçları

Bangladeş'te mevcut atık yönetimi senaryolarına dayanarak bir ön yaşam döngüsü değerlendirme çalışması yapılmıştır [24]. Bu ön yaşam döngüsü değerlendirme çalışması Chittagong şehrinde tıbbi atıklarının yönetimi üzerine yürütülmüştür. Mevcut tıbbi atık yönetimi sistemi için, bir önceki senaryo ile birlikte önceki verilere dayanarak üç senaryo geliştirilmiştir. Her senaryonun hesaplanan tüm değerleri yaşam döngüsü değerlendirme veritabanına konulmuştur. Daha sonra toplanan veriler, sağlık atık yönetiminden küresel ısınma, insan toksisitesi, tatlı su sucul ekotoksitesitesi ve karasal ekotoksitesite potansiyelini hesaplamak için SimaPro 7 kullanılarak analiz edilmiştir. Tıbbi atıklarının açık yakılması ve yakılmasının esas olarak küresel ısınma ve insan toksitesite potansiyeline katkıda bulunduğu bulunmuştur. Sağlık atıklarının dumping (atık depolama) ile bertaraf edilmesi esas olarak tatlı su sucul ekotoksitesitesine ve karasal ekotoksitesite potansiyeline katkıda bulunmuştur. Önerilen senaryo, her kategori için özel ve yerel devlet sağlık atık yönetimi sistemlerinden çok daha düşük etkiler göstermiştir. Tıbbi atıkların %30 enerji geri kazanımı ile yakılması, tüm etki kategorileri için en düşük çevresel etkileri gösterirken, dioksin emisyonları enerji geri kazanımı olmadan insan toksitesitesine yaklaşık %10 katkıda bulunmuştur.

2019 yılında Pakistan'ın Swath Bölgesi'ndeki hastane atık yönetimi uygulamalarının çevresel etkilerini değerlendirmek için tasarlanmış bir çalışma yapılmıştır [25]. Bu amaçla, mevcut ve alternatif hastane katı atık bertarafı uygulamalarının farklı etkilerinin tahmini için bir YDD uygulanmıştır. Mevcut alternatif uygulamaları (Senaryo A ve Senaryo B) açıklamak için iki senaryo kullanılır, ya yakmaya ya da herhangi bir toplanan malzeme sınıflandırması olmaksızın hastane atıklarının doğrudan arazi doldurulmasına yollandığı varsayılır. Piroliz ve kimyasal dezenfeksiyon kullanımını içeren Senaryo C, bu alandaki mevcut uluslararası tavsiyelere göre güncel bir alternatif olarak kabul edilmektedir. Standartlaştırılmış YDD uygulamalarına göre sistemin ve işlevsel birimin sınırı tanımladıktan sonra, sekiz etki göz önünde bulundurularak bir yaşam döngüsü etki analizi gerçekleştirilmiştir. Kategoriler; insan toksitesitesi, tatlı su eko-toksitesitesi, deniz suyu eko-toksitesitesi, karasal eko-toksitesite, asitleşme potansiyeli, iklim değişikliği, ötrofikasyon ve fotokimyasal oksidasyondur. Mevcut uygulamalar (Senaryo A ve Senaryo B) tüm kategoriler için en kötüsü olmuştur. Özellikle, hepsinin en büyük etkisi, yakma işleminden üretilen insan toksitesitesi için kaydedilmiştir.

Tersine, Senaryo C'nin (alternatif güncel uygulamalar) daha düşük etkiler yaratacağı gözlemlenmiştir. Ayrıntılı olarak, en yüksek değer pirolize bağlı olarak deniz suyu ekotoksitesitesi için kaydedilmiştir. Piroliz işleminden enerji geri kazanılabileceği ve bu da çevre için fayda sağlayacağı belirlenmiştir.

2009 yılında Hollanda'da yapılan bir çalışma, ortalama bileşime sahip belirli tıbbi atıklar için iki baskın teknolojinin çevresel performanslarını, bir tür yakma teknolojisi olarak tehlikeli atık yakma ve bir tür yakma dışı teknoloji olarak depolama sahası ile buhar otoklav sterilizasyonu karşılaştırmaktadır [26]. Buhar otoklav sterilizasyonuna ilişkin veriler, tesis içi operasyon raporundan elde edilirken, atık düzenli depolama sahası ve atık depolama sahası için envanter modelleri kullanılmıştır. Arka plan verileri Ecoinvent veritabanından alınmıştır. Karşılaştırmalı YDD beş alternatif için gerçekleştirilmiştir: %0, %15 ve %30 enerji geri kazanım verimliliğine sahip yakma ve %0 ve %10 enerji geri kazanım verimliliğine sahip sterilizasyon alternatifleri oluşturulmuştur. Sonuçla, %30 enerji geri kazanım verimliliğine sahip yakma, tatlı su ekotoksitesitesi hariç tüm etki kategorileri için en düşük çevresel etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Ötrofikasyonla ilgili olarak, yakma dışı arıtmalar, yakma işlemlerinden yaklaşık yedi kat daha fazla etkiye sahip olmuştur. Biyokütle, plastik, kauçuk malzemelerin yüksek içeriği ve daha düşük kül içeriği nedeniyle tıbbi atığın yüksek ısı değeri, yakma işlemlerinin tercih edilmesiyle sonuçlanmıştır. Yakma ve yakma olmayan işlemler arasındaki büyük ötrofikasyon farkı, farklı N elementi dönüşümlerinden kaynaklanmaktadır. Yaşam döngüsü perspektifinden bakıldığında, enerji geri kazanımı ile yakmanın düzenli depolamadan daha iyi olduğunu belirten geleneksel atık hiyerarşisi, tıbbi atıklar için de geçerlidir. Tıbbi atık hiyerarşisini entegre etmek ve bir tıbbi atık çerçevesi oluşturmak, bir yaşam döngüsü yaklaşımına dayalı olarak daha geniş teknolojilerin daha fazla araştırılmasını gerektirmektedir.

2017 yılında Türkiye'nin Aksaray ili için en iyi kentsel katı atık yönetimi stratejisini belirlemek amacıyla YDD yöntemi kullanılmıştır. Mevcut atık yönetim sistemine alternatif olarak dört farklı senaryo geliştirilmiş ve en iyi çevresel çözüm için değerlendirilmiştir. %75 düzenli depolama- %25 kompostlama senaryosu, insan sağlığı ve çevresel etki açısından en iyi sonuçları sağlamıştır. Mevcut kentsel katı

atık tesisinden kaynaklanan emisyonlar, metan ve karbondioksit emisyonları için tahmin edilmiştir. 2017 yılındaki yıllık emisyonlar CO₂ ve CH₄ için sırasıyla 8674 ve 3161 ton olarak hesaplanmıştır. Bu emisyonların tahmini yer seviyesindeki konsantrasyonları CO₂ ve CH₄ için sırasıyla 30 ve 50 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Modellenen CO₂ ve CH₄ konsantrasyonları CO₂ (eşd.) belirlenmiştir. Toplam ısıma zorlaması 0.021 W/m² olarak hesaplanmıştır [27].



4.1 Amaç ve Kapsam Tanımı

Tezin amacı 2020 ‘de başlayan koronavirüs salgını ile beraber Türkiye’de en çok etkilenen şehirlerden biri olan İstanbul’un tıbbi atıkları yakma gibi daha net giderim yönteminin şu an kullanılan bertaraf metotlarına göre (sterilizasyon ve yakma) avantajları var mı, varsa neler olduğunu araştırmaktır. Çalışmada 2 durum ele alınacaktır; 1. durumda İstanbul için mevcut tıbbi atık bertaraf yöntemlerini “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi” ile değerlendirmek, 2. durum (senaryo) olarak İstanbul tıbbi atıklarının sadece yakma ile bertaraf edilmesini YDD ile değerlendirmektir. Bu çalışmayla İstanbul tıbbi atıkları bertarafı sırasında oluşan çevresel etkiler, bu etkilerin insan sağlığı üzerindeki katkısı gibi analizler yapılacaktır ve gelecekteki araştırmalara yardımcı olması sağlanacaktır.

Çalışmanın kapsamı 2019 yılında toplanan İstanbul tıbbi atıklarının, tıbbi atık sterilizasyon tesisi ve tıbbi atık yakma tesislerinde bertarafıdır. Çalışmada bertaraf tesislerine kadar olan taşımacılık kısmı ve bertaraftan sonraki süreç ele alınmamıştır. Çünkü bu kısımlar bertaraftan bağımsız olarak sabittir.

4.2 Envanter Analizi

Yaşam döngüsü analizi gerçekleştirmek için amaç ve kapsam tanımından sonra envanter analizinin yapılması gerekmektedir.

4.2.1 İstanbul Tıbbi Atıkların Yönetimi ve Tıbbi Atıkların Karakterizasyonu

İstanbul’da 2019 yılında 29.065 ton/yıl tıbbi atık üretilmiştir [13]. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Atık Yönetimi Müdürlüğü verilerine göre 2019 yılı için 29.065 ton/yıl tıbbi atığın %22 ‘si yani 6394 ton/yıl (patolojik ve enfeksiyöz atıklar) yakma tesisine, %78 ‘i yani 22.671 ton/yıl (enfeksiyöz ve kesici-delici atıklar) sterilizasyon tesisine gönderilmektedir [14].



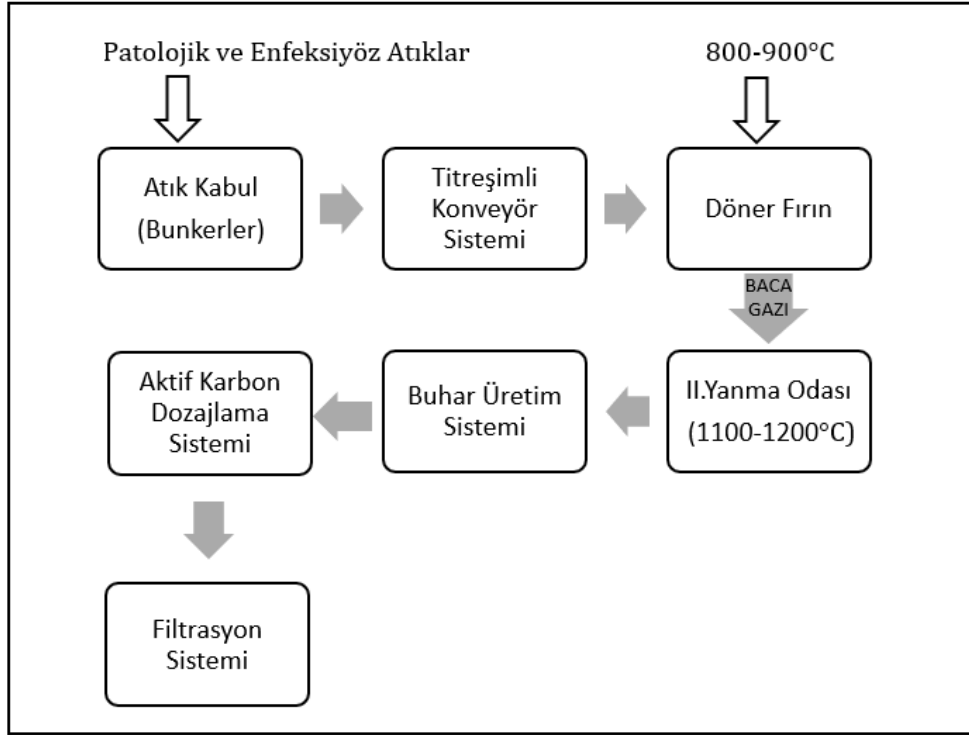
Şekil 4.1 İstanbul’da tıbbi atıkların bertarafı [28]

İstanbul genelinde toplanan bütün tıbbi atıklar Büyükşehir Belediyesi tarafından bertaraf edilmektedir. Tıbbi atıkların bir kısmı Odayeri Tıbbi Atık Yakma Tesisi’nde yakılarak bertaraf edilmekte, diğer kısmı ise İBB Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi’nde sterilize edilmekte ve hacimce %60-70 oranında azaltılarak nihai olarak düzenli depolama sahasında bertaraf edilmektedir [28].

İSTAÇ tarafından İstanbul genelinde tıbbi atıklarının alındığı 20 yatak ve üstü yaklaşık 254 sağlık kuruluşu ve 8.000 tıbbi atık noktasına hizmet verilmektedir. Patolojik atıklar diğer enfekte atıklardan ayrı toplanmakta ve yakılarak bertaraf edilmektedir.

Tıbbi Atık Yakma Tesisi, alanında Türkiye’nin ilk tesisi olarak, 1995 yılından itibaren önemli bir çevre koruma misyonuyla İstanbul’a hizmet vermeye devam etmektedir. Özel lisanslı tıbbi atık toplama araçlarıyla taşınan kimyasalla işlem görmüş patolojik atıklar ve tıbbi atıklar; tesiste bulunan ünitelerde 800 – 900°C sıcaklıkta yakılmakta ve hacimsel olarak %95, kütsel olarak ise %75 oranında azaltılmaktadır. Kapasitesi 24 ton/gün olan tesis, bertaraf işlemi sırasında ortaya çıkan termal enerji ile yaklaşık olarak 500 kW elektrik üretimi gerçekleştirebilmektedir. Yanma sonucu oluşan gazlar arıtma ünitelerinde arıtılarak kontrol altına alınmakta ve baca üzerinde bulunan emisyon ölçüm sistemi ile sürekli izlenmektedir [29].

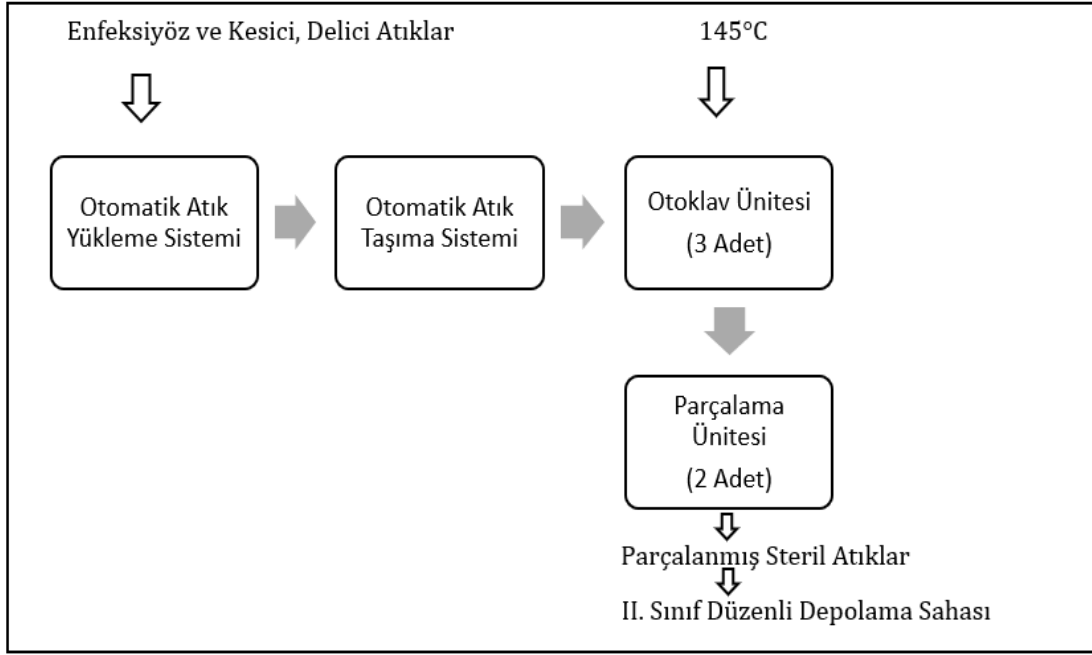
Şekil 4.2’de İstanbul tıbbi atık yakma tesisi akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Tıbbi atık yakma tesisi akış şeması

2013 yılında devreye alınan Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi, İstanbul genelinde toplanan tıbbi atıkların büyük çoğunluğunun sterilize edilerek zararsız hale getirilmesini sağlamaktadır. Sahip olduğu 108 ton/ gün kapasitesi ile dünyanın sayılı tesisleri arasında yer almaktadır. Tesise gelen tıbbi atıklar, her birinin kapasitesi 1,5 ton/saat olan 3 adet Otoklav ile sterilize edilmektedir. Her sterilizasyon işlemi sürekli kontrol edilmekte ve enfeksiyon riskinin kaldırıldığından emin olunmaktadır. Nihai olarak sterilize edilmiş tıbbi atıklar, özel tasarlanmış atık taşıma araçları ile II. Sınıf Düzenli Depolama Sahasına taşınarak bertaraf edilmektedir [29].

Şekil 4.3’de İstanbul tıbbi atık sterilizasyon tesisine ait akış şeması verilmiştir.



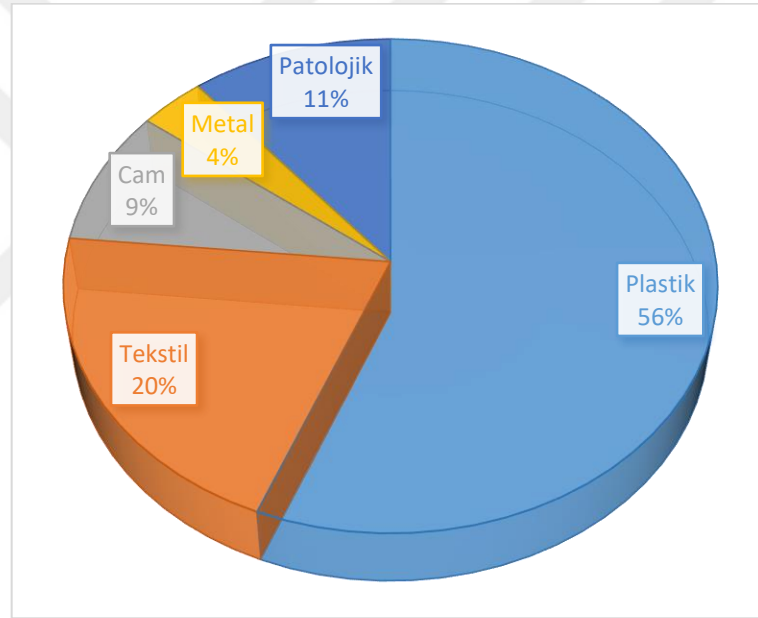
Şekil 4.3 İstanbul tıbbi atık sterilizasyon tesisi akış şeması

Bu atıkların yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) için karakterizasyonu gerekmektedir, ancak İstanbul için böyle bir kaynak mevcut olmadığından literatürden yapılan bir çalışmaya göre İran'ın Tebriz şehrinde yapılan tıbbi atık karakterizasyonu bu çalışmada baz alınmıştır. Sadece sterilizasyon ve yakma işlemine girecek, yazılımda kullanılacak atık karakterizasyonu hesaplanmıştır. Yakma işlemine giren atık miktarı toplam atığın %22'si olduğu için, bunun yarısının patolojik atık diğer yarısının enfeksiyöz atık olarak varsayılmış ve buna göre hesaplanmıştır. Sağlık kuruluşlarından oluşan yiyecek ve kâğıt-karton atıkları, tehlikesiz atık grubuna girdiği için evsel katı atık düzenli depolama sahasına gönderilmektedir. Sterilizasyon yöntemi ile bertarafı sağlanacak tıbbi atıklar; enfeksiyon etkisi olan ve kesici-delici olan atıklardır. Herhangi bir kimyasal bulaşmış patolojik atıklar, genotoksik atıklar, radyoaktif atıklar ve basınçlı kaplar içeren atıklar sterilizasyon yöntemi ile bertaraf edilemez [8].

Tablo 4.1 Referans tıbbi atık karakterizasyon oranları [30]

Karakterizasyon	Oran (%)
Plastik	63
Tekstil	23
Cam	10
Metal	4

Şekil 4.1' de belirlenen yüzdeler oranlara göre hesaplanan İstanbul için tıbbi atık karakterizasyon dağılımı pasta grafiğiyle gösterilmiştir.



Şekil 4.4 İstanbul tıbbi atık sterilizasyon ve yakma tesisine gönderilen atık yüzdeleri

Tablo 4.2'te belirlenen yüzdeler göre tıbbi atık karakterizasyonu ton/yıl cinsinden hesaplanmıştır.

Tablo 4.2 İstanbul tıbbi atık karakterizasyonu

Atık Kompozisyonu	%	İstanbul 2019 yılına göre oranlar(ton/yıl)
Plastik	56,07	16296,75
Tekstil	20,47	5950
Cam	8,9	2586,79
Metal	3,56	1034,71
Patolojik	11	3197,15

Yaşam döngüsü analizi için bertaraf tesislerine giden atık miktarı ve karakterizasyonu ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Tablo 4.3'te tıbbi atık sterilizasyon tesisine giden atık yüzdelerine göre ton/yıl cinsinden atık miktarları belirlenmiştir. Sterilizasyon tesisine enfeksiyöz ve kesici, delici atıklar gittiğinden kategoriler plastik, tekstil, cam ve metal olmak üzere ayrılmıştır.

Tablo 4.3 İstanbul tıbbi atık sterilizasyon tesisine giden atık karakterizasyonu ve miktarı

Sterilizasyona giden atık karakterizasyonu	%	Miktarı (ton/yıl)
Plastik	48,37	14058,74
Tekstil	17,96	5220,07
Cam	8,90	2586,79
Metal	2,77	805,10

Tıbbi atık yakma tesisine enfeksiyöz ve patolojik atıklar gitmektedir. Bu atıklar plastik, tekstil, metal ve patolojik olarak ayrılmaktadır. Tablo 4.4 'te yakma tesisine

giden atık miktarı ve karakterizasyonu ton/yıl cinsinden yüzdelere göre hesaplanmıştır.

Tablo 4.4 İstanbul tıbbi atık yakma tesisine giden atık karakterizasyonu ve miktarı

Yakmaya giden atık karakterizasyonu	%	Miktarı (ton/yıl)
Plastik	7,7	2238,01
Tekstil	2,86	831,00
Metal	0,44	127,89
Patolojik	11	3197,15

4.3 YDD için Etki Değerlendirmesi

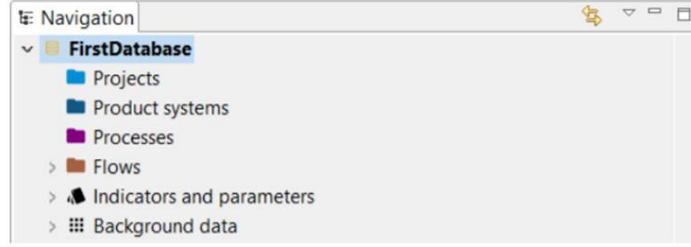
Bu çalışmada yaşam döngüsü analizini gerçekleştirmek için openLCA programının 1.10 sürümü, ELCD 3.2. veritabanı kullanılmıştır. Etki analizini gerçekleştirmek için ise CML-IA metodu kullanılmıştır. CML-IA Hollanda'daki Leiden Üniversitesi Çevre Bilimi Merkezi tarafından geliştirilen bir YDD metodolojisidir.

4.3.1 OpenLCA Kullanımı Hakkında Genel Bilgiler

openLCA, YDD ve sürdürülebilirlik değerlendirme için geliştirilmiş açık kaynaklı bir yazılımdır [7]. GreenDelta şirketi tarafından 2006'dan beri geliştirilmiştir. Açık kaynaklı yazılım olarak, lisans ücreti olmaksızın ücretsiz olarak temin edilebilmektedir.

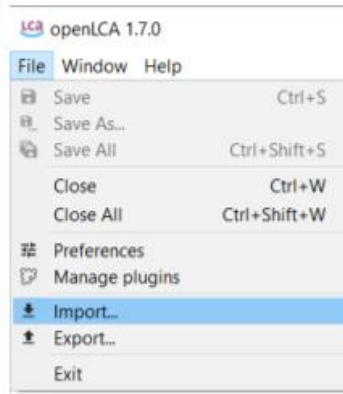
openLCA Nexus (<https://nexus.openlca.org>), YDD verileri için çevrimiçi bir havuzdur. Dünyadaki önemli YDD veri sağlayıcıları tarafından sunulan verileri bir araya toplamaktadır [7]. Bu veriler yazılıma basit bir şekilde aktarılabilir. OpenLCA ilk kez başlatıldığında, herhangi bir veri içermemektedir. Sol tarafta boş bir gezinti alanı ve sağ tarafta, "Editör" denen bölümde karşılaştıra sayfasını görülür.

Yazılım ilk açıldığında herhangi bir veri tabanı içermediğinden boş görünecektir ancak Şekil 4.5’de olduğu gibi veritabanı eklendikten sonra gezinme penceresi değişecektir.

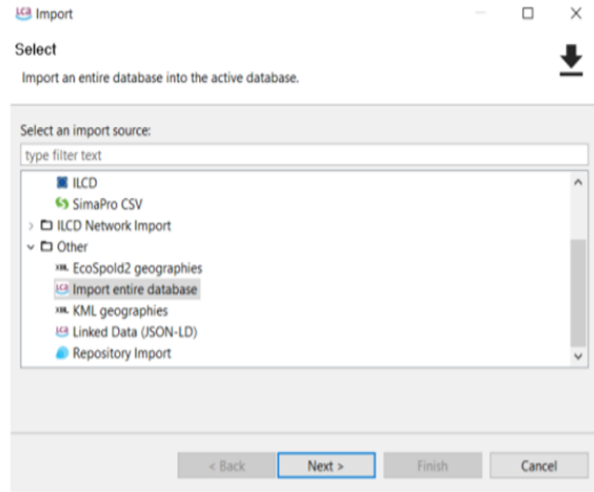


Şekil 4.5 Gezinme penceresi

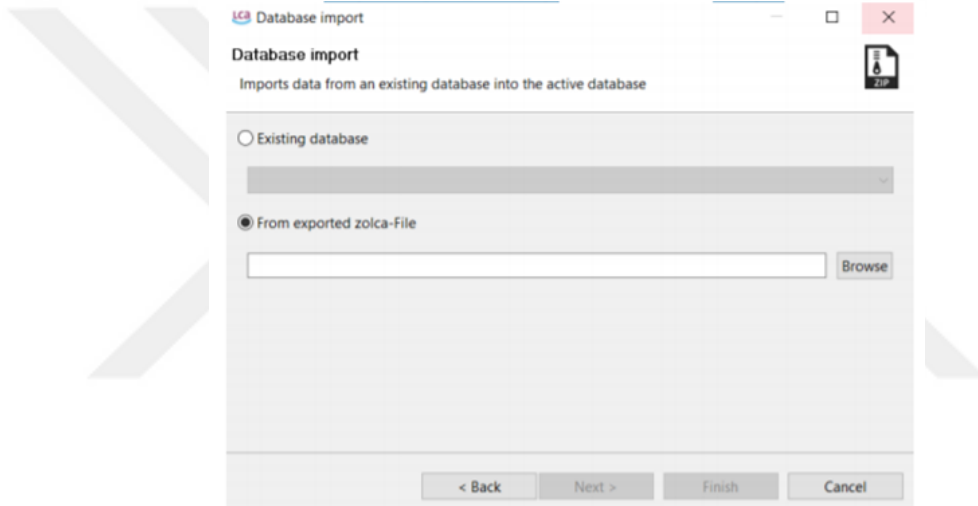
Bilgisayara bir zolca dosyası kaydedildiğinde, doğrudan openLCA'ya aktarılabilir. Şekil 4.6’da görüldüğü üzere dışa aktarılan zolca dosyasından veritabanı seçilebilmektedir.



(a)



(b)

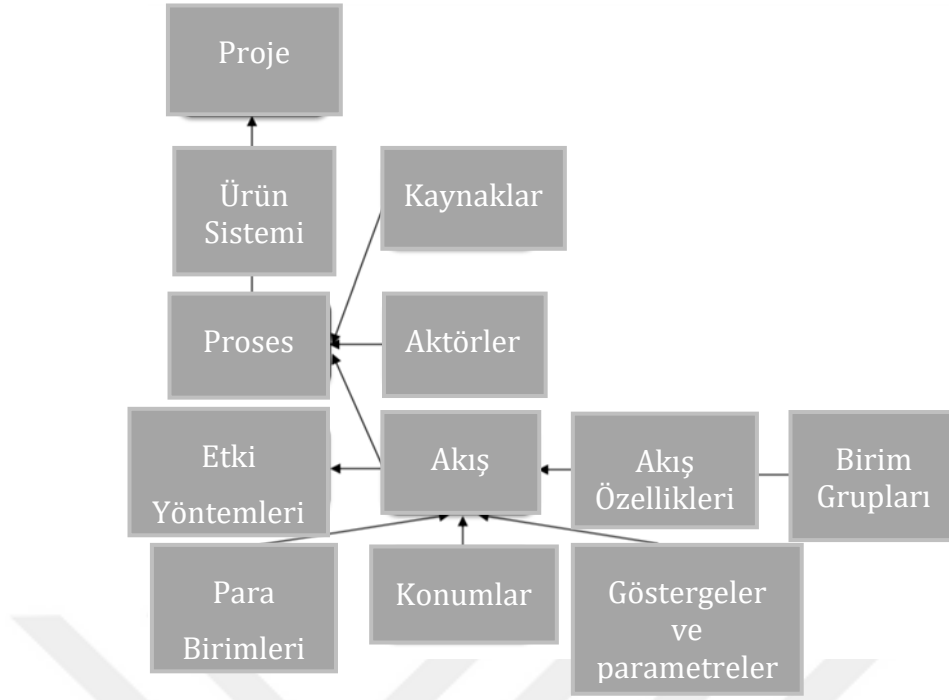


(c)

Şekil 4.6 Mevcut zolca veritabanını içe aktarma

Bu adımlar gerçekleştirildikten sonra veritabanı açılır. Veritabanları farklı formatlar halinde de içe aktarılabilmektedir.

Veritabanları içeriğinde Şekil 4.7’de görülen bölümler vardır.

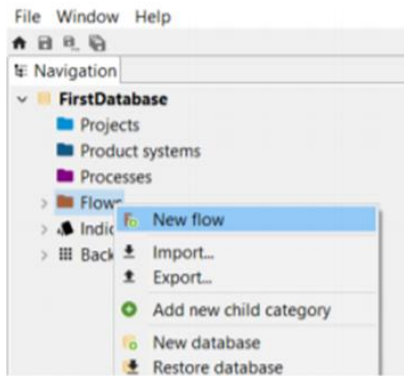


Şekil 4.7 Veritabanı yapısına genel bakış

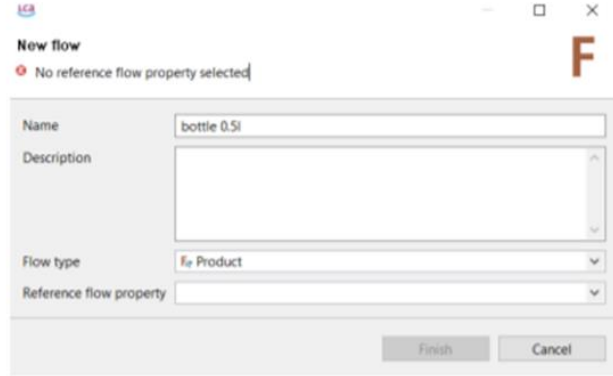
OpenLCA'daki veritabanları aşağıdaki öğeleri içerir:

- Aktörler: veri sağlayan veya modelleri değiştiren kişiler
- Para birimleri: maliyet akışlara atanabilir ve Yaşam Döngüsü Maliyetlemesi gerçekleştirilebilir
- Konumlar: bölgeselleştirilmiş YDD için önemlidir
- Kaynaklar: referanslı literatür
- Birim grupları: ör. alan birimleri m², ft² vb.
- Akış özellikleri: örneğin uzunluk, kütle vb.
- Akışlar: ürünler
- Prosesler: ürünlerin üretim aşamaları ya da başkalaştırmaları
- Etki yöntemleri: programa yüklenen etki değerlendirme metodları
- Ürün sistemleri: proseslerin toplamı
- Projeler: ürün sistemlerinin kıyaslanması için oluşturulan tasarıdır
- Göstergeler ve parametreler: akışların özellikleri

Şekil 4.8' de görüldüğü üzere akış tipi, referans akış özelliği seçilerek akış oluşturulabilmektedir.



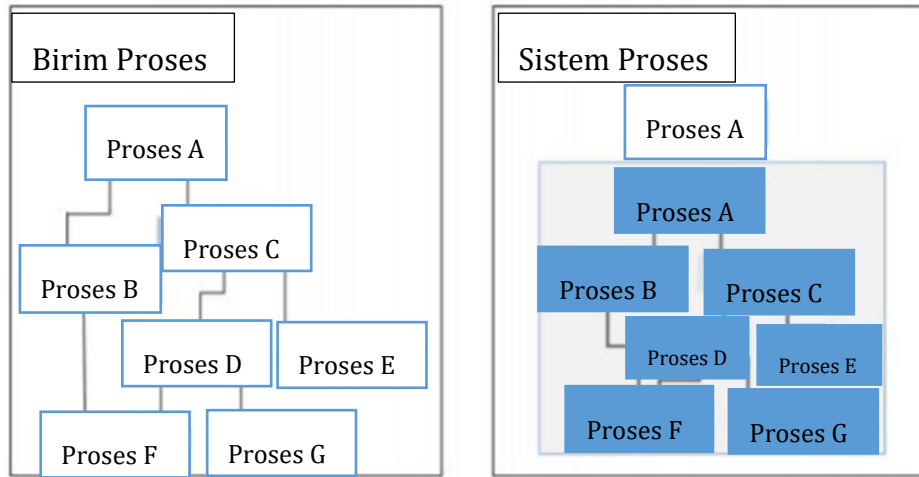
(a)



(b)

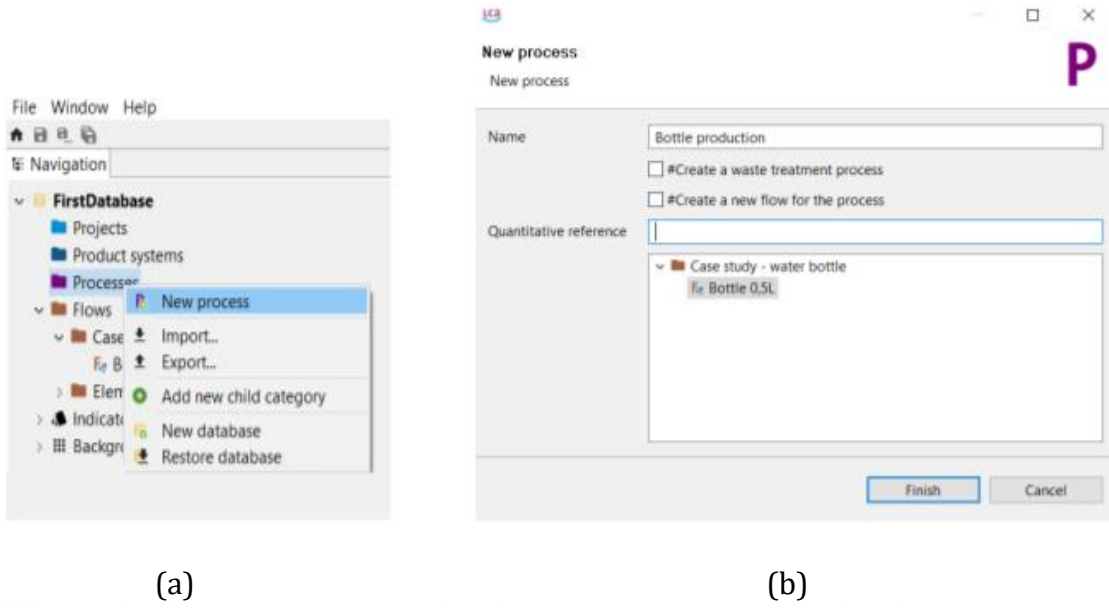
Şekil 4.8 Yeni akış oluşturmak

Girdilerin çıktılarına dönüştüğü aktivitelere proses denilmektedir. Proses "birim prosesler" veya "sistem prosesleri" olabilir. Şekil 4.9'un sol kısmında her çerçeve bir birim prosesini ifade etmektedir. Sağ kısımda her birim prosesin toplamının bir sistem prosesini oluşturduğunu görülmektedir.



Şekil 4.9 Birim proses ve sistem prosesi farkı

Şekil 4.10 'da yeni proses oluşturmanın basamakları gösterilmiştir. Nicel bir referans seçilerek proses oluşturulabilmektedir. Akışlar nicel bir referans yerine geçebilmektedir.



Şekil 4.10 Yeni bir proses oluşturma

ISO 14040'ta olduğu gibi, bir ürünün yaşam döngüsü modeline ürün sistemi denir. Ürün sistemi yaratmanın iki seçeneği mevcuttur. İlk olarak akış ve proses oluşturma basamaklarındaki gibi "Ürün sistemleri" klasöründen manuel olarak ürün sistemi oluşturmaktır. İkinci seçenek ise mevcut bir prosesin genel bilgiler kısmından ürün sistemi oluşturmaktır.

Şekil 4.11 Ürün sistemi yaratma, 1. Adım

Şekil 4.12'de görüldüğü üzere iki seçenekte de sonraki adım olarak aynı pencere açılacaktır. Referans proses seçilerek ürün sistemi oluşturulabilmektedir.

New product system
Creates a new product system

Name: Chair Production

Reference process:

- Carpet (GK 33, LC 1), production mix, at producer, technology mix, 1,60 kg/r
- Carpet (GK 33, LC 2-3), production mix, at producer, technology mix, 2,11 kg/r
- Carpet (GK 33, LC 4), production mix, at producer, technology mix, 2,44 kg/r
- Chair Production
- Corkboard, 1m2, 4 mm (EN15804 A1-A3), production mix, at plant, technolog
- Corkboard, 1m2, 4 mm (EN15804 A1-A3), production mix, at plant, technolog
- Corkboard, 1m2, 6 mm (EN15804 A1-A3), production mix, at plant, technolog
- Corkboard, 1m2, 6 mm (EN15804 A1-A3), production mix, at plant, technolog
- Corkboard, 1m2, 8 mm (EN15804 A1-A3), production mix, at plant, technolog
- Corkboard, 1m2, 8 mm (EN15804 A1-A3), production mix, at plant, technolog
- Cotton - fabric (based on US cotton yarn, conventional), production mix, at p

☒ Auto-link processes

☐ Check multi-provider links (experimental)

Provider linking

☐ Ignore default providers

☒ Prefer default providers

☐ Only link default providers

Preferred process type

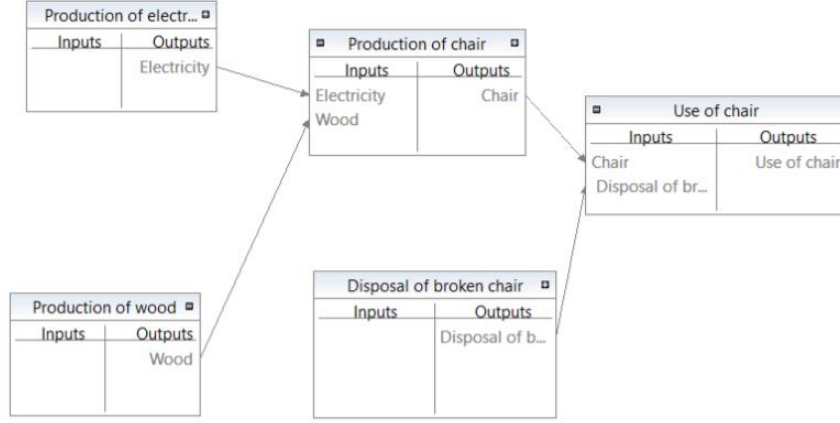
☐ Unit process

☒ System process

☐ Cut-off

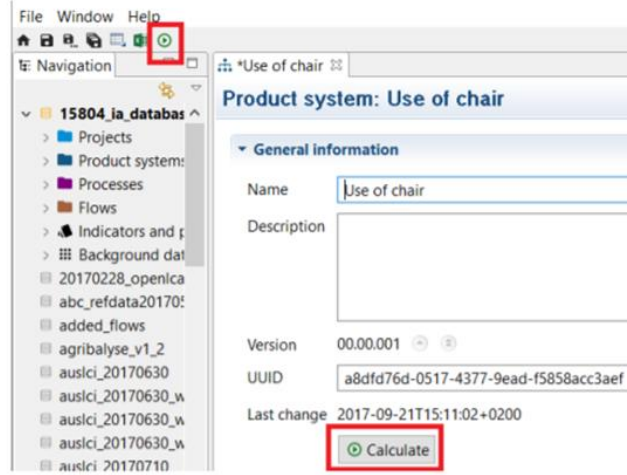
Şekil 4.12 Ürün sistemi yaratma, 2. Adım

Ürün sistemi oluşturmak için seçilen referans proses sistemin son prosesidir. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi ürün sisteminin şeması, birbiriyle etkileşim halinde olan prosesleri göstermektedir. Bu şemadaki prosesler düzenlenebilmekte veya silinebilmektedir. Ürün sisteminin hesaplamasına sadece bağlantılı prosesler katkıda bulunmaktadır.



Şekil 4.13 Ürün sistemi şeması

Şekil 4.14'de görüldüğü üzere ürün sisteminin genel bilgiler sekmesinden "Hesapla" seçeneği veya sol üst köşedeki "sonuçları hesapla" seçeneği seçilerek hesaplama yapılmaktadır.



Şekil 4.14 Bir ürün sisteminin hesaplanması, 1. adım

Etkinleştirilen veritabanınızda bulunan yöntemler listesinden istenilen etki değerlendirme yöntemini seçilir (hiçbir yöntem listelenmemişse, önce bir veya daha fazla yöntemi veritabanına aktarılması veya yeni bir yöntem oluşturmak gerekir). Şekil 4.15'te görüldüğü üzere normalizasyon ve ağırlıklandırma seti seçilebilmektedir. Normalizasyon, veri fazlalığını azaltan ve istenmeyen özellikleri ortadan kaldıran bir veritabanı tasarım tekniğidir.

LCa Calculation properties

Calculation properties
Please select the properties for the calculation

Allocation method: None

Impact assessment method: CML 2001

Normalization and weighting set:

Calculation type: ☐ Quick results ☒ Analysis ☐ Regionalized LCIA ☐ Monte Carlo Simulation

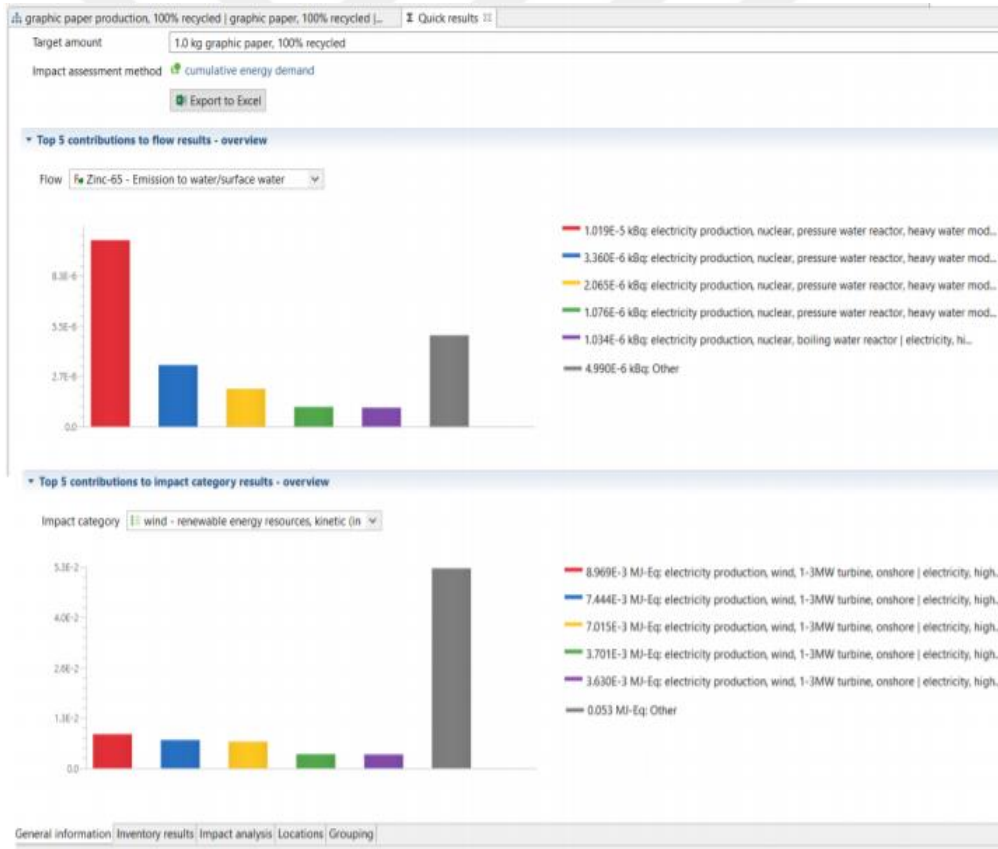
☒ Include cost calculation

☐ Assess data quality

< Back Next > Finish Cancel

Şekil 4.15 Ürün sistemini hesaplama, 2. adım

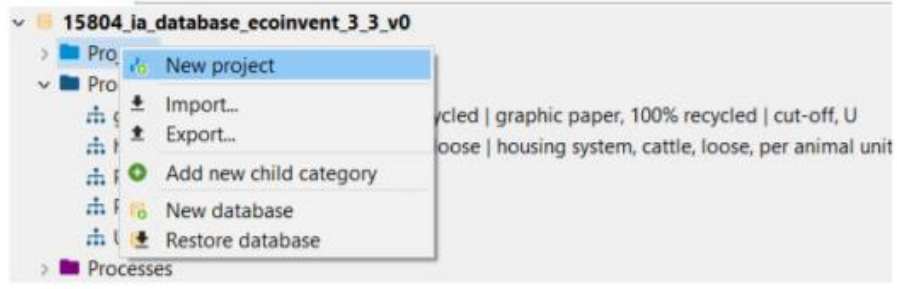
Şekil 4.16 'da görüldüğü gibi hesapla denildiğinde sonuç analizi oluşacaktır.



Şekil 4.16 Sonuç analizi penceresi

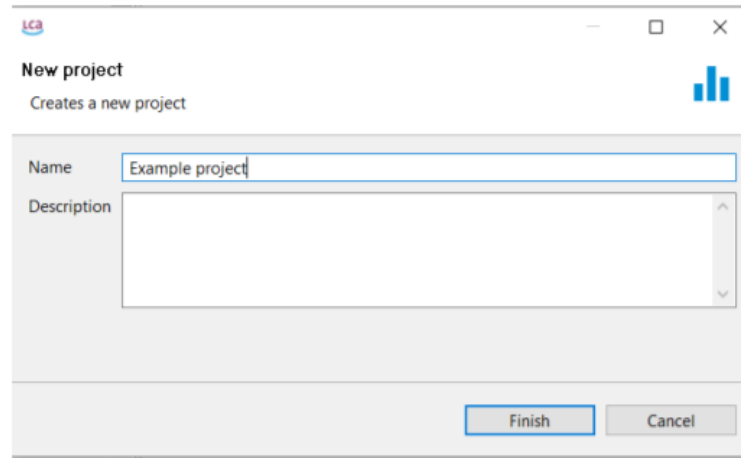
Şekil 4.16'ya göre sonuçlara katkıda bulunan ilk 5 proses veya akış görünmektedir.

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de yeni bir projenin oluşturulma adımları gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Yeni bir proje yaratma, 1. adım

Yeni proje adlandırılır ve bir açıklama eklenir (Şekil 4.18):



Şekil 4.18 Yeni bir proje yaratma, 2. adım

Yeni proje Editör'de açılacaktır. "Genel bilgiler" bölümünde proje ve açıklama için bir isim yazılabilmektedir. Yazılımda hesaplamanın tamamlanması için "Rapor" seçeneği kullanılır. "LCIA Yöntemi" bölümünde, hesaplama yönteminin yanı sıra, varsa, normalleştirme ve ağırlıklandırma seti seçilir. Ayrıca, Şekil 4.19'da görüldüğü gibi raporda görüntülenmesini istenilen etki kategorilerini seçme seçeneğini de vardır.

LCIA Method

LCIA Method: cumulative energy demand

Normalization and weighting set:

Impact category	Display	Label in report	Description
Lower Heating Values - wind - renewable e...	☒	Lower Heating Values - wind...	
nuclear - non-renewable energy resources, ...	☐	nuclear - non-renewable ene...	
primary forest - non-renewable energy res...	☒	primary forest - non-renewa...	
solar - renewable energy resources, solar, c...	☒	solar - renewable energy res...	
water - renewable energy resources, poten...	☐	water - renewable energy re...	
wind - renewable energy resources, kinetic ...	☒	wind - renewable energy res...	

Şekil 4.19 Proje oluşturulması

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi oluşturulan ürün sistemleri seçilerek karşılaştırılması sağlanmaktadır.

Product systems

Filter:

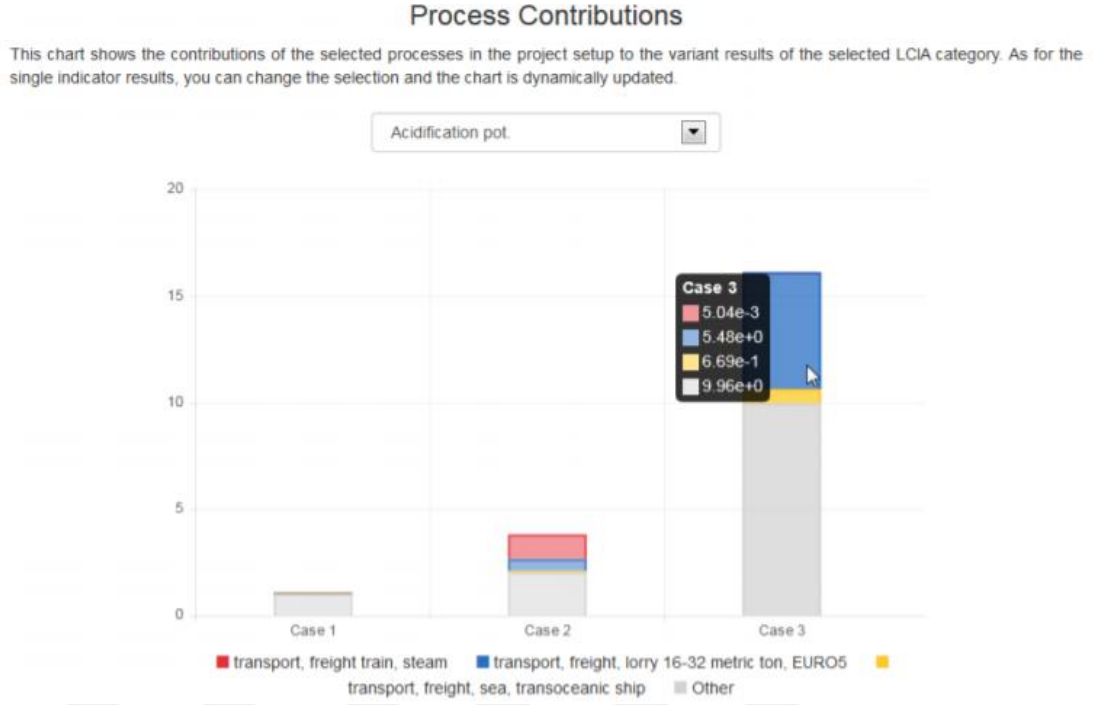
Content:

- Beverage carton converting, converting mix, at plant, Converting, beverag
- Liquid Packaging Board (LPB) production, production mix, at plant, produ
- Waste water treatment, at waste water treatment plant, industrial waste w

OK Cancel

Şekil 4.20 Bir projeye ürün sistemleri ekleme

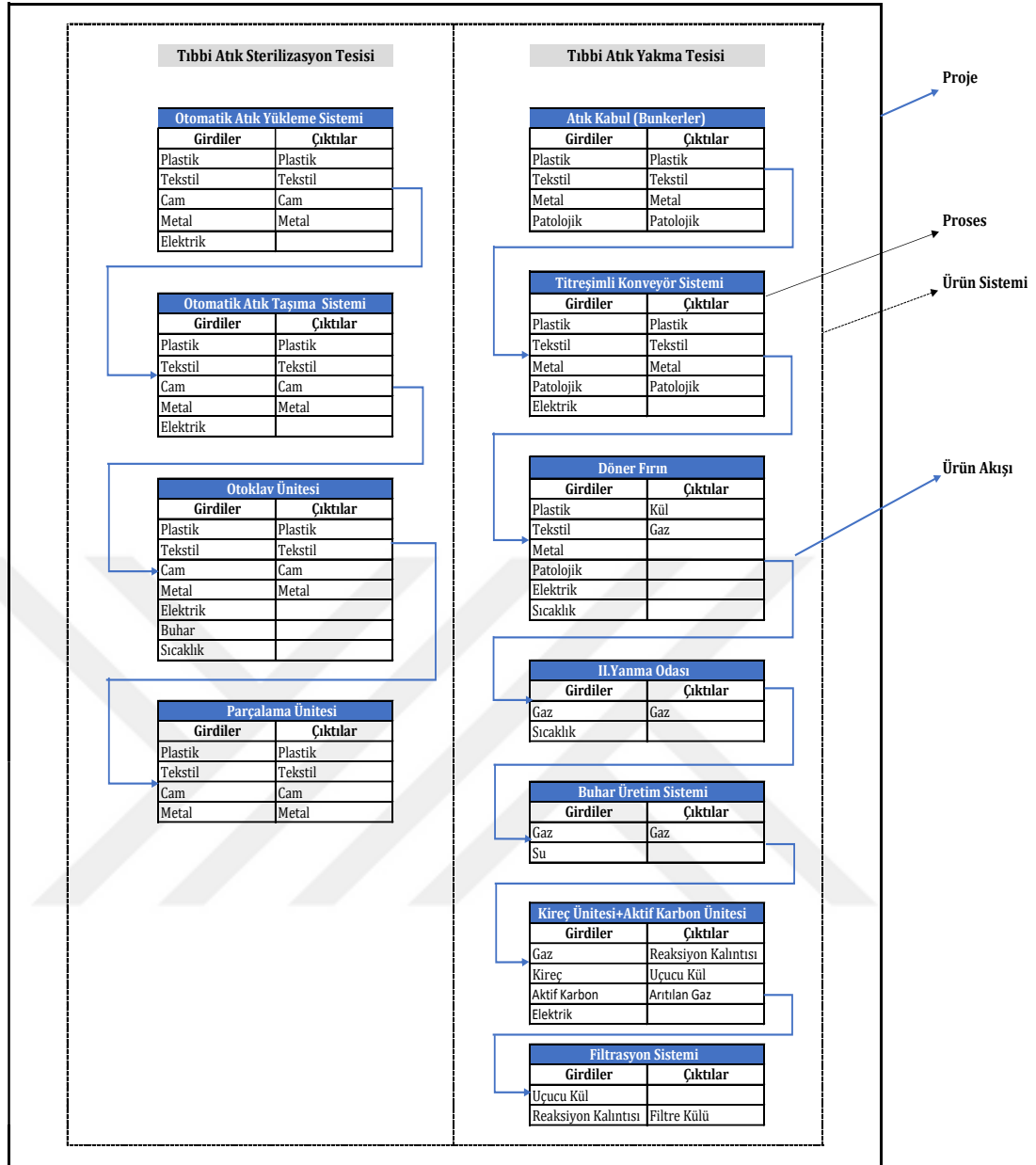
Şekil 4.21 ‘de görüldüğü gibi ürün sistemleri eklendikten sonra rapor olarak ürün sistemlerinin karşılaştırılması görünmektedir.



Şekil 4.21 Proje kurulumu, proses katkıları sonuç örneği

4.3.2 OpenLCA Programına Çalışmanın Envanter Verilerinin Girilmesi

İstanbul ili tıbbi atıklarının bertarafının yaşam döngüsü analizi için amaç ve kapsam tanımı yapılır, envanter verileri toplanır, daha sonra bu bilgiler YDD yapılacak programa girilir ve etki değerlendirmesi hesaplanır. 1. durumda İstanbul tıbbi atıklarının mevcut bertaraf sisteminin etki değerlendirmesi, 2. durumda senaryo olarak değerlendirilen tıbbi atıkların sadece yakma ile bertarafı sonucu oluşacak etki değerlendirmesidir. Senaryo için bütün tıbbi atıklar yakma tesisine gidecek, sistemde herhangi bir değişiklik olmayacaktır. Şekil 4.22’de 1. durum için sistem sınırları gösterilmiş, proseslerde kullanılan girdiler ve çıktılar belirlenmiştir.



Şekil 4.22 Mevcut İstanbul tıbbi atık sterilizasyon ve yakma tesisi sistem sınırları
 Senaryo için kullanılacak envanter verileri Tablo 4.5'te ton/yıl cinsinden gösterilmiştir.

Tablo 4.5 İstanbul tıbbi atık yakma tesisine giden atık karakterizasyonu ve miktarı (Senaryo)

Atık Kompozisyonu	%	İstanbul 2019 yılına göre oranlar(ton/yıl)
Plastik	56,07	16296,75
Tekstil	20,47	5950
Cam	8,9	2586,79
Metal	3,56	1034,71
Patolojik	11	3197,15

Tıbbi atık yakma tesisinde döner fırından oluşan kirletici emisyonlar vardır. Kirletici emisyonların openLCA yazılımına veriler girilmeden hesaplanması gerekmektedir. Bu emisyonlar Tablo 4.6'da bulunan EPA verilerine göre mevcut ve senaryo için hesaplanmıştır.

Tablo 4.6 Tıbbi atık yakma döner fırın makinesi kriter kirleticiler ve asit gazlar için emisyon faktörleri (EPA) [31]

Kirletici	Sprey Kurutucu/Karbon enjeksiyonu/ Kumaş Filtre	
	lb/ton	kg/Mg
Karbon monoksit	4,99 E-02	2,50 E-02
Nitrojen oksit	4,91 E+00	2,45 E+00
Sülfür dioksit	3,00 E-01	1,50 E-01
PM	7,56 E-02	3,78 E-02
TOK	5,05 E-02	2,53 E-02
HCL	3,57 E-01	1,79 E-01
HF	0	0

Tablo 4.6 Tıbbi atık yakma döner fırın makinesi kriter kirleticiler ve asit gazlar için emisyon faktörleri (EPA) (devamı)

HBr	1,90 E-02	9,48 E-03
Sülfürik Asit	0	0

Kütleli emisyonlar için hesaplama metodolojisi denklem 1’de gösterilmiştir.

$$Emisyon = Emisyon\ faktörü \times kapasite \quad (4.1)$$

Tablo 4.6’ye göre hesaplanan emisyon verileri Tablo 4.7’de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 EPA verilerine göre hesaplanan emisyon verileri

	Mevcut Yakma Prosesi	Senaryo Yakma Prosesi
Kirletici	<i>kg/ton</i>	<i>kg/ton</i>
Karbon monoksit	15,985	726,63
Nitrojen oksit	15665,3	71209,25
Sülfür dioksit	959,1	4359,75
PM	241,6932	1098,66
TOK	161,7682	735,34
HCL	1144,526	5202,64
HF	0	0
HBr	60,61512	275,54
Sülfürik Asit	0	0

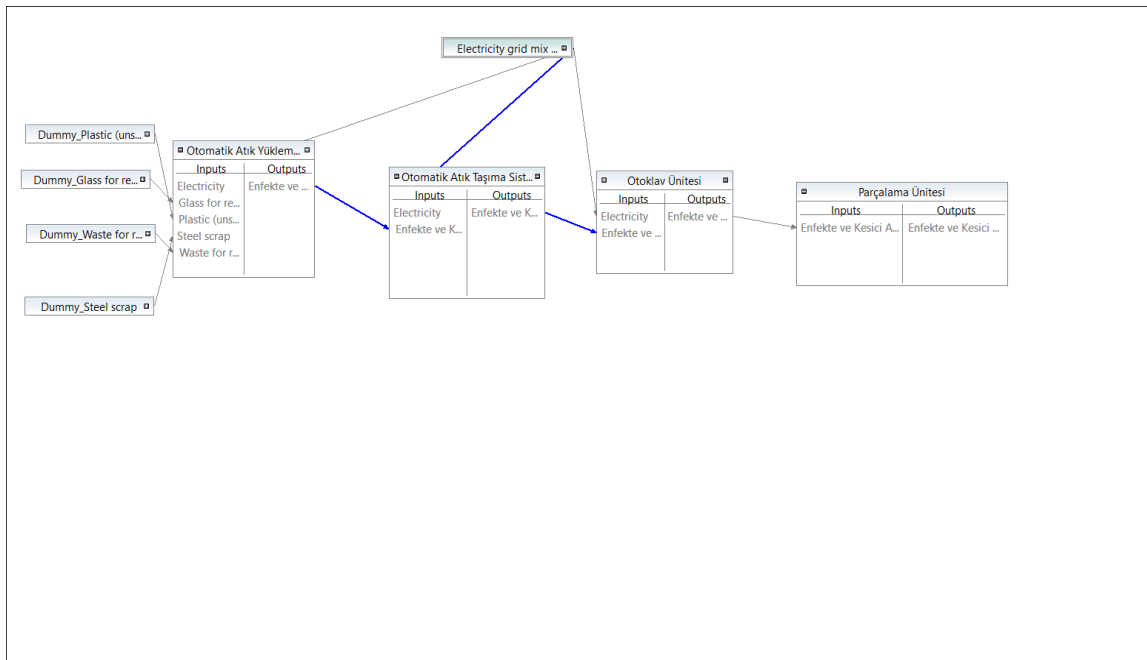
Tüm veriler hesaplandıktan sonra proseslerin girdi ve çıktı akışları programa tek tek girilir. Programda olmayan akışlar manuel olarak oluşturulur ve proseslere aktarılır. Şekil 4.23’te görüldüğü gibi tıbbi atık sterilizasyon tesisi için ilk adım olan

[illegible]

4.2.3 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi otomatik atık yükleme prosesi i

[illegible]

Şekil 4.27’de görüldüğü gibi tüm proseslerin girdi ve çıktı akışları programa girildikten sonra tıbbi atık sterilizasyon tesisinin model grafiği oluşturulur.



57

Tıbbi atık sterilizasyon tesisi verileri programa girildikten sonra tıbbi atık yakma tesisi verileri aynı aşamalarla programa girilmiştir. Şekil 4.28’de tıbbi atık yakma tesisinin ilk aşaması olan atık kabulün girdi ve çıktıları görülmektedir.

Inputs/Outputs: Atık Kabul (Bunkerler)									
Inputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided waste	Provider	Data quality e...	Description
F ₂ Plastic (unspecified)	Production residues in life cy...	2238.00500	t		none				
F ₂ Steel scrap	Production residues in life cy...	127.88600	t		none				
F ₂ Waste (solid)	Production residues in life cy...	3197.15000	t		none				
F ₂ Waste for recovery (unspecific)	Production residues in life cy...	831.00000	t		none				
Outputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided prod...	Provider	Data quality e...	Description
F ₂ Patolojik ve Enfekte Atıklar	Tıbbi Atık Yakma	6394.00000	t		none				

Şekil 4.28 Tıbbi atık yakma tesisi atık kabul prosesi akışlar (1. adım)

Şekil 4.29’da atık kabul prosesinin çıktı akışının referans girdi akışı olarak titreşimli konveyör sisteminde mevcut olduğu görülmektedir.

Inputs/Outputs: Titreşimli Konveyör Sistemi									
Inputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided waste	Provider	Data quality e...	Description
F ₂ Electricity	Energy carriers and technolo...	47.00000	kWh		none		P Electricity ...		
F ₂ Patolojik ve Enfekte Atıklar	Tıbbi Atık Yakma	6394.00000	t		none				
Outputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided prod...	Provider	Data quality e...	Description
F ₂ Patolojik ve Enfekte Atıklar,Konveyö...	Tıbbi Atık Yakma	6394.00000	t		none				

Şekil 4.29 Tıbbi atık yakma tesisi titreşimli konveyör prosesi için akışlar (2. adım)

[illegible]

Şekil 4.31’de II. yanma odası prosesi için girdi ve çıktı akışları görülmektedir. Bu proseste döner fırından oluşan kirletici emisyonların arıtılmasına başlanmıştır.

[illegible]

59

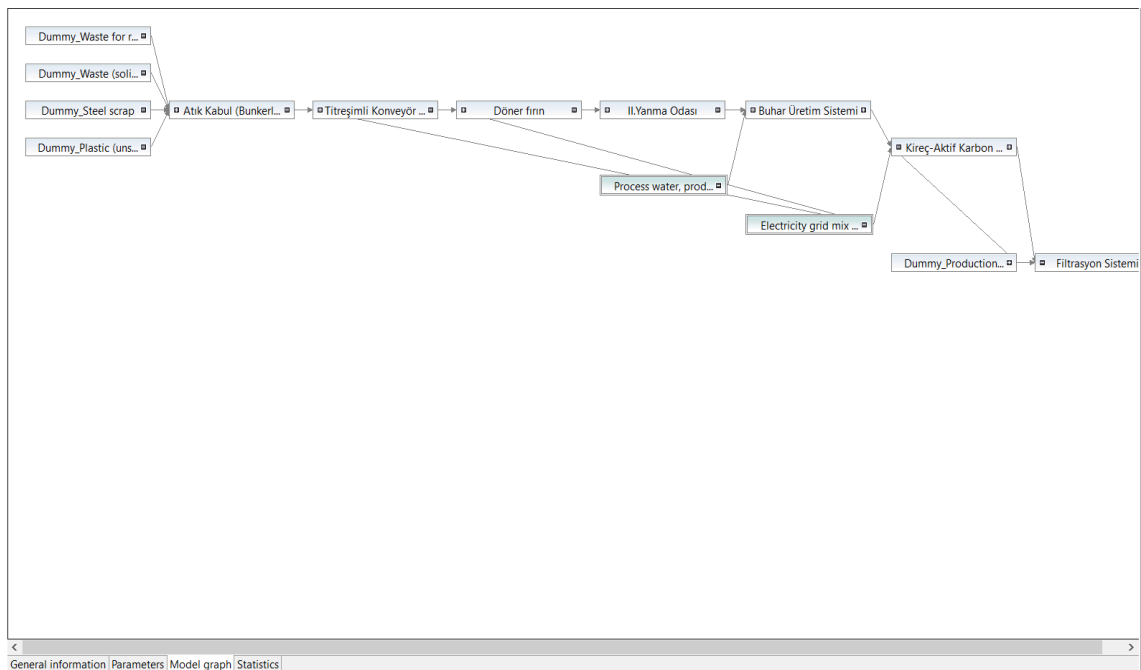
[illegible]

Şekil 4.33'te buhar üretim sisteminden oluşan çıktı akışı kireç-aktif karbon prosesinde girdi akışı olarak kullanılmıştır.

Şekil 4.33 Tıbbi atık yakma kireç-aktif karbon prosesi için akışlar (6. adım)

[illegible]

Tüm prosesler programa girildikten sonra model grafiği oluşturulur. Şekil 4.35'te mevcut tıbbi atık yakma tesisinin model grafiği görülmektedir.



61

1. durum için yani mevcut tıbbi atık sterilizasyon ve yakma tesisi verileri programa girildikten sonra 2. durum (senaryo) için veriler programa girilir. Şekil 4.36'ta görüldüğü gibi mevcut tıbbi atık yakma tesisi için sadece girdiler değişmiştir, tesis prosesleri aynı kalmıştır.

Inputs/Outputs: Atık Kabul 2									
Inputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided waste	Provider	Data quality e...	Description
F ₂ Glass for recovery (shards)	Production residues in life cycl...	2586.78500	t		none				
F ₂ Plastic (unspecified)	Production residues in life cycl...	1.62967E4	t		none				
F ₂ Steel scrap	Production residues in life cycl...	1034.71400	t		none				
F ₂ Waste (solid)	Production residues in life cycl...	3197.15000	t		none				
F ₂ Waste for recovery (unspecific)	Production residues in life cycl...	5950.00000	t		none				
Outputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided prod...	Provider	Data quality e...	Description
F ₂ Patolojik ve Enfekte Atıklar	Tıbbi Atık Yakma	29.06500	t		none				

Şekil 4.36 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) atık kabul prosesi akışlar (1. adım)
Şekil 4.37'de titreşimli konveyör sisteminin girdi ve çıktı akışları gösterilmiştir.

Inputs/Outputs: Titreşimli Konveyör Sistemi 2									
Inputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided waste	Provider	Data quality e...	Description
F ₂ Electricity	Energy carriers and technolog...	47.00000	kWh						
F ₂ Patolojik ve Enfekte Atıklar	Tıbbi Atık Yakma	29.06500	t		none				
Outputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided prod...	Provider	Data quality e...	Description
F ₂ Patolojik ve Enfekte Atıklar,Konveyör...	Tıbbi Atık Yakma	29.06500	t		none				

Şekil 4.37 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) titreşimli konveyör prosesi için akışlar (2.adım)

Şekil 4.48'de programda titreşimli konveyörün çıktı akışları döner fırın prosesine girdi akışı olarak girilmiştir.

World 2000 normalizasyon ve ağırlıklandırma seti kullanılarak iki tesis etki kategorileri bakımından karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.44'te bu projenin kurulması için programda açılan sayfa ve karşılaştırılacak tesisler ürün sistemleri kategorisi altında sıralanmıştır. Tüm veriler girildikten sonra rapor seçeneğine basılır.

Project setup: Mevcut Sterilizasyon ve Yakma Karşılaştırma

General Information

Name: Mevcut Sterilizasyon ve Yakma Karşılaştırma

Description:

Version: 00.00.002

UUID: c9f7af39-20e9-4662-a36b-e6d58c06a06e

Last change: 2021-01-15T01:07:21+0300

[Report](#)

LCIA Method

LCIA Method: CML-IA baseline

Normalization and weighting set: World 2000

Impact category	Display	Label in report	Description
Global warming (GWP100a)	☒	Global warming (GWP100a)	
Human toxicity	☒	Human toxicity	
Marine aquatic ecotoxicity	☒	Marine aquatic ecotoxicity	
Ozone layer depletion (ODP)	☒	Ozone layer depletion (ODP)	
Photochemical oxidation	☒	Photochemical oxidation	
Terrestrial ecotoxicity	☒	Terrestrial ecotoxicity	

Compared product systems

Name	Product system	Display	Allocation method	Flow	Amount	Unit	Description
STERİLİZASYON	Tıbbi Atık Sterilizasy...	☒	None	F ₂ Enfekte ve Kesici Deli...	22671.0	t	
YAKMA	TIBBİ ATIK YAKMA	☒	None	F ₂ Filter ash	2281.1234	kg	

Project setup | Report sections

Şekil 4.44 Mevcut tıbbi atık sterilizasyon ve tıbbi atık yakma tesisleri karşılaştırma projesi kurulumu

2. durum tıbbi atık yakma tesisi için etki analizleri hesaplandıktan sonra mevcut tıbbi atık yakma tesisi yani 1. durum ile karşılaştırılması için programda proje oluşturulması gerekmektedir.

Şekil 4.45'e göre 1. durum (mevcut) tıbbi atık yakma tesisi ve 2. durum (senaryo) tıbbi atık yakma tesisi için CML-IA etki metodu, World 2000 normalizasyon ve ağırlıklandırma seti seçilerek karşılaştırma raporu oluşturulur.

Project setup: Mevcut Tıbbi Atık Yakma ve Senaryo Tıbbi Atık Yakma

General Information

Name: Mevcut Tıbbi Atık Yakma ve Senaryo Tıbbi Atık Yakma

Description:

Version: 00.00.001

UUID: 355d9457-050a-40b2-b1f7-e41f0926dc81

Last change: 2021-01-15T16:44:15+0300

[Report](#)

LCIA Method

LCIA Method: CML-IA baseline

Normalization and weighting set: World 2000

Impact category	Display	Label in report	Description
Abiotic depletion	☒	Abiotic depletion	
Abiotic depletion (fossil fuels)	☒	Abiotic depletion (fossil fuels)	
Acidification	☒	Acidification	
Eutrophication	☒	Eutrophication	
Fresh water aquatic ecotox.	☒	Fresh water aquatic ecotox.	
Global warming (GWP100a)	☒	Global warming (GWP100a)	

Compared product systems

Name	Product system	Display	Allocation method	Flow	Amount	Unit	Description
MEVCUT	TIBBİ ATIK YAKMA	☒	None	Filter ash	2281.1234	kg	
SENARYO	SENARYO TIBBİ ATIK ...	☒	None	Filter ash	10450.9747	kg	

Project setup | Report sections

Şekil 4.45 Mevcut tıbbi atık yakma ve senaryo tıbbi atık yakma tesisleri karşılaştırma projesi kurulumu

İstanbul ili mevcut tıbbi atık sterilizasyon ve yakma tesisi için akışlar proseslere girdi ve çıktı olarak girildikten sonra CML-IA etki analizi metodu kullanılarak sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 5.1 'de CML-IA'da mevcut olan etki kategorileri görülmektedir.

Tablo 5.1 CML-IA etki analizi metodunun sahip olduğu etki kategorileri ve birimleri

İsim	Referans birimi
Abiyotik tükenme	kg Sb eq
Abiyotik tükenme (fosil yakıtlar)	MJ
Asitleştirme	kg SO ₂ eq
Ötrofikasyon	kg PO ₄ eq
Tatlı su sucul ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq
Küresel ısınma (GWP100a)	kg CO ₂ eq
İnsan toksisitesi	kg 1,4-DB eq
Deniz suyu ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq
Ozon tabakası seyrelmesi (ODP)	kg CFC-11 eq
Fotokimyasal oksidasyon	kg C ₂ H ₄ eq
Karasal ekotoksitesite	kg 1,4-DB eq

Tablo 5.2 'de tıbbi atık sterilizasyon tesisinin etki analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 5.2 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi etki analizi sonuçları

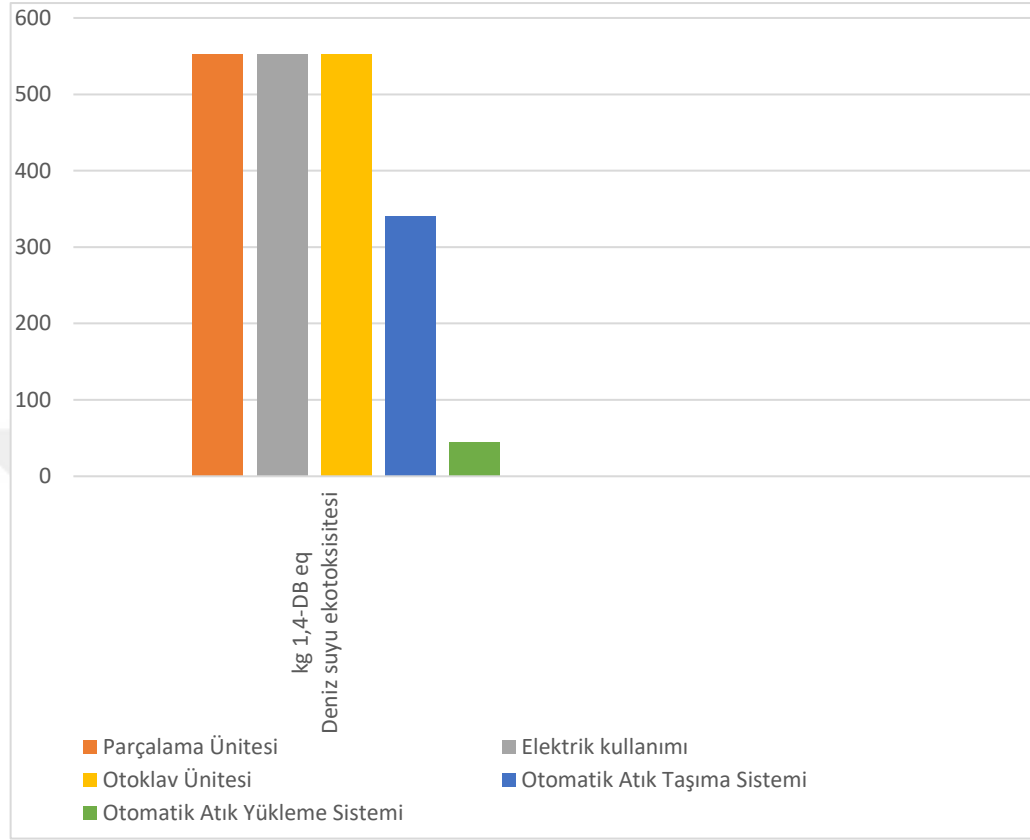
Etki kategorisi	Referans Birimi	Sonuç
Deniz suyu ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eq	552,75
Küresel ısınma (GWP100a)	kg CO ₂ eq	3,32
İnsan toksisitesi	kg 1,4-DB eq	0,10
Asitleştirme	kg SO ₂ eq	0,01
Tatlı su sucul ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eq	0,003
Karasal ekotoksisite	kg 1,4-DB eq	0,002
Ötrofikasyon	kg PO ₄ --- eq	0,001
Fotokimyasal oksidasyon	kg C ₂ H ₄ eq	0,001
Abiyotik tükenme	kg Sb eq	1,424E-06
Ozon tabakası seyrelmesi (ODP)	kg CFC-11 eq	5,22E-09
Abiyotik tükenme (fosil yakıtlar)	MJ	0

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere deniz suyu ekotoksisitesine katkı sağlayan tesisteki elektrik kullanımıdır.



Şekil 5.1 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi deniz suyu etki kategorisi sonucuna en çok katkı sağlayanlar

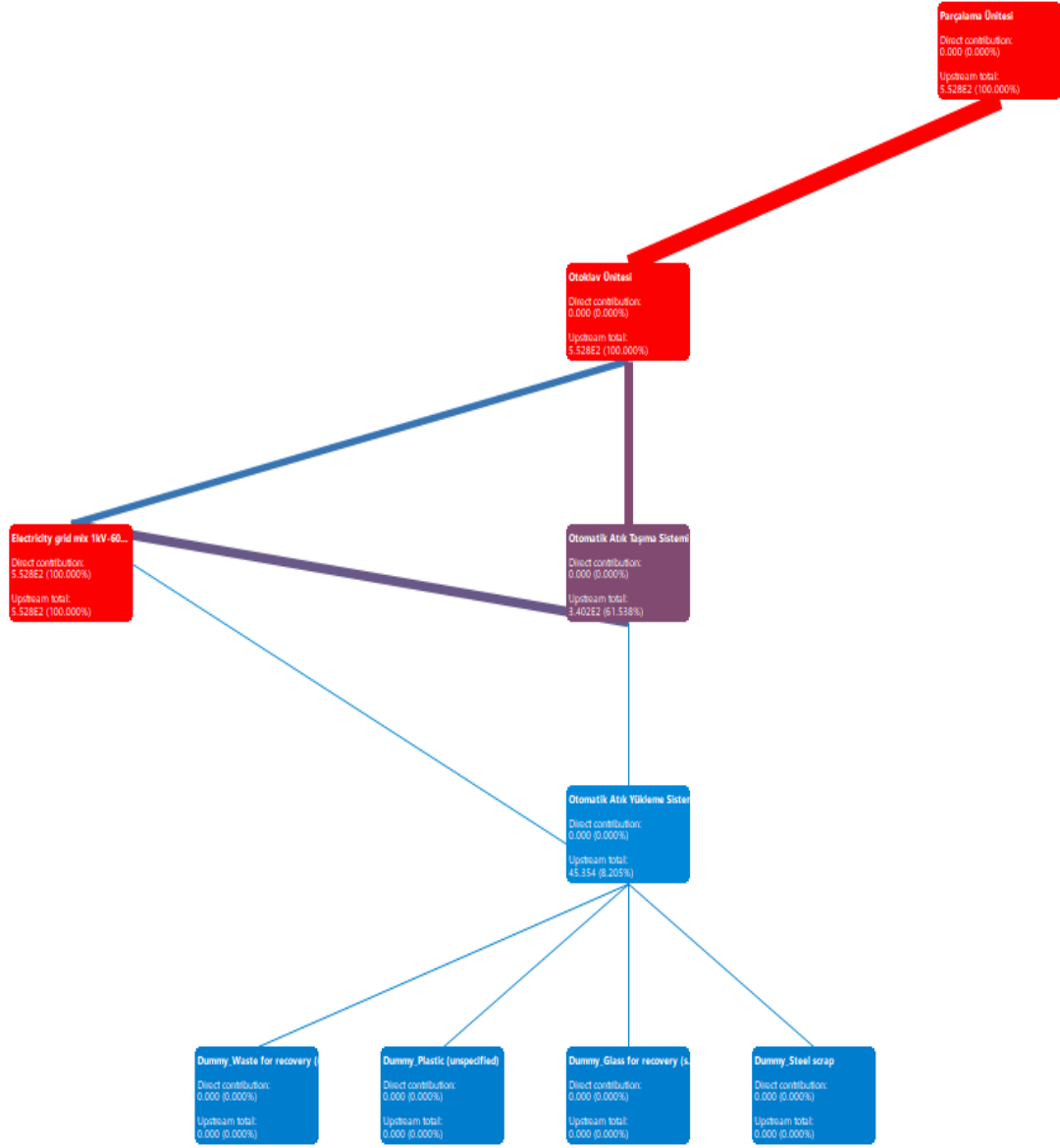
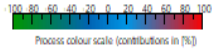
Şekil 5.2’de görüldüğü gibi katkı ağacı seçeneğinden tıbbi atık sterilizasyon tesisi için deniz suyu ekotoksitesitesi etki kategorisine hangi proses ve akışların katkı sağladığı görülmektedir.



Şekil 5.2 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi deniz suyu ekotoksitesitesi etki kategorisine katkı sağlayanlar

Sankey diyagramı, yaşam döngüsü değerlendirmesinde en çok katkı sağlayan proses ve akışların renklere göre dağılımının gösterildiği grafikdir. Kırmızı renge doğru gidildikçe katkı yüzdesi artmaktadır. Şekil 5.3’te tıbbi atık sterilizasyon tesisi için Sankey diyagramı görülmektedir. Bu diyagrama göre deniz suyu ekotoksitesitesine en çok katkı sağlayanlar elektrik kullanımı, otoklav ünitesi ve parçalama ünitesidir.

Product system: Tıbbi Atık Sterilizasyon İşlemi
Impact category: Marine aquatic ecotoxicity
Don't show < 0.000%



Şekil 5.3 Tıbbi atık sterilizasyon tesisinin sankey diyagramı

Tıbbi atık sterilizasyon tesisi bulgularından sonra mevcut tıbbi atık yakma tesisinin etki analizi hesaplanmıştır ve mevcut durum için hesaplamalar tamamlanmıştır.

Tablo 5.3 'te mevcut tıbbi atık yakma tesisi için CML-IA referans metoduna göre etki analizi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5.3 Tıbbi atık yakma tesisi (mevcut) etki analizi sonuçları

Etki kategorisi	Referans Birimi	Sonuç
İnsan toksisitesi	kg 1,4-DB eq	37603,33
Deniz suyu ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eq	21455,15
Asitleştirme	kg SO ₂ eq	15665,90
Ötrofikasyon	kg PO ₄ --- eq	4073,07
Fotokimyasal oksidasyon	kg C ₂ H ₄ eq	438,66
Küresel ısınma (GWP100a)	kg CO ₂ eq	215,51
Tatlı su sucul ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eq	0,45
Karasal ekotoksisite	kg 1,4-DB eq	0,14
Abiyotik tükenme	kg Sb eq	9,21E-05
Ozon tabakası seyrelmesi (ODP)	kg CFC-11 eq	2,05E-05
Abiyotik tükenme (fosil yakıtlar)	MJ	0

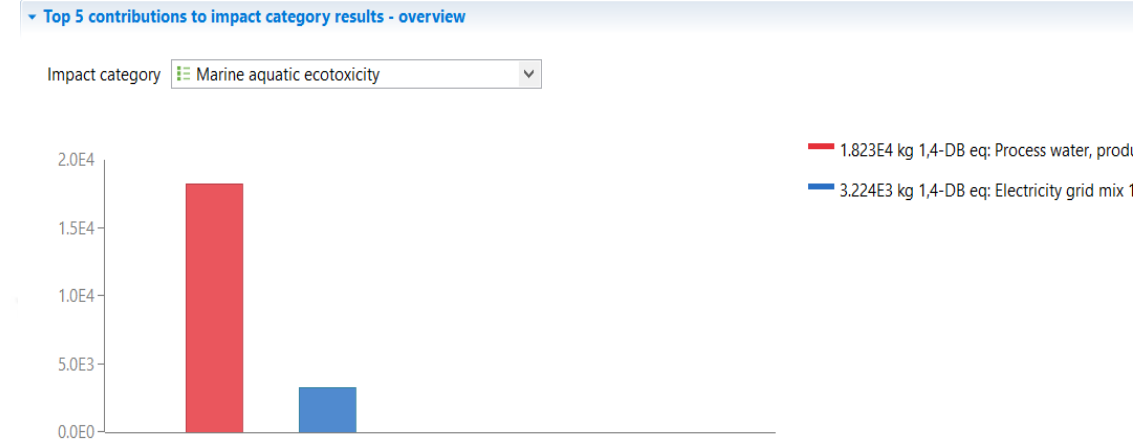
Şekil 5.4 'de insan toksisitesi etki kategorisi sonucuna en çok katkı sağlayan proses ve akışlar gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Tıbbi atık yakma tesisi (mevcut) insan toksisitesi etki kategorisi sonucuna en çok katkı sağlayanlar

Şekil 5.4'e göre mevcut tıbbi atık yakma tesisinde insan ekotoksitesine en çok katkı sağlayanlar sırasıyla II. yanma odası, döner fırın, proses suyu kullanımı ve son olarak elektrik kullanımıdır.

Şekil 5.5'te mevcut tıbbi atık yakma tesisi için deniz suyu ekotoksitesi etki kategorisine en çok katkı sağlayanlar gösterilmiştir.

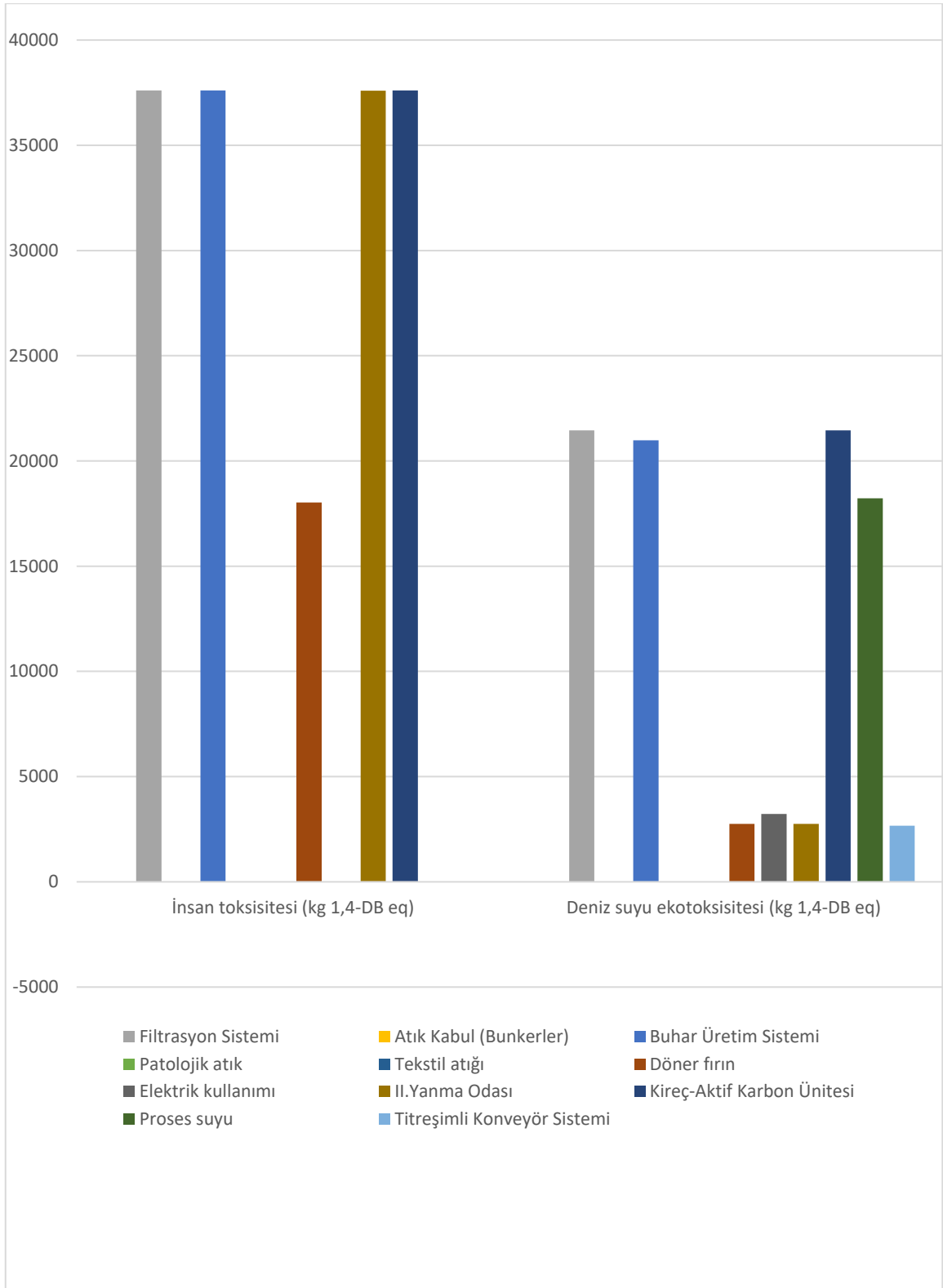


Şekil 5.5 Tıbbi atık yakma tesisi (mevcut) için deniz suyu ekotoksitesi etki kategorisine en çok katkı sağlayanlar

Şekil 5.5'e göre tıbbi atık yakma tesisinde deniz suyu ekotoksitesine en çok katkı sağlayanlar sırasıyla proses suyu kullanımı ve elektrik kullanımı olmuştur.

Diğer grafikler openLCA'dan incelendiğinde asitleştirme ve ötrofikasyon için en çok katkı II. yanma odası ve döner fırın tarafından, fotokimyasal oksidasyon için sırasıyla II. yanma odası, proses suyu kullanımı, elektrik kullanımı ve döner fırından kaynaklanmıştır.

Şekil 5.6 'de insan toksisitesi ve deniz suyu ekotoksitesi etki kategorisi için katkı sağlayan proses ve akışlar sütun grafiği olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Tıbbi atık yakma tesisi (mevcut) insan toksisitesi ve deniz suyu ekotoksisitesi etki kategorilerine katkı sağlayanlar

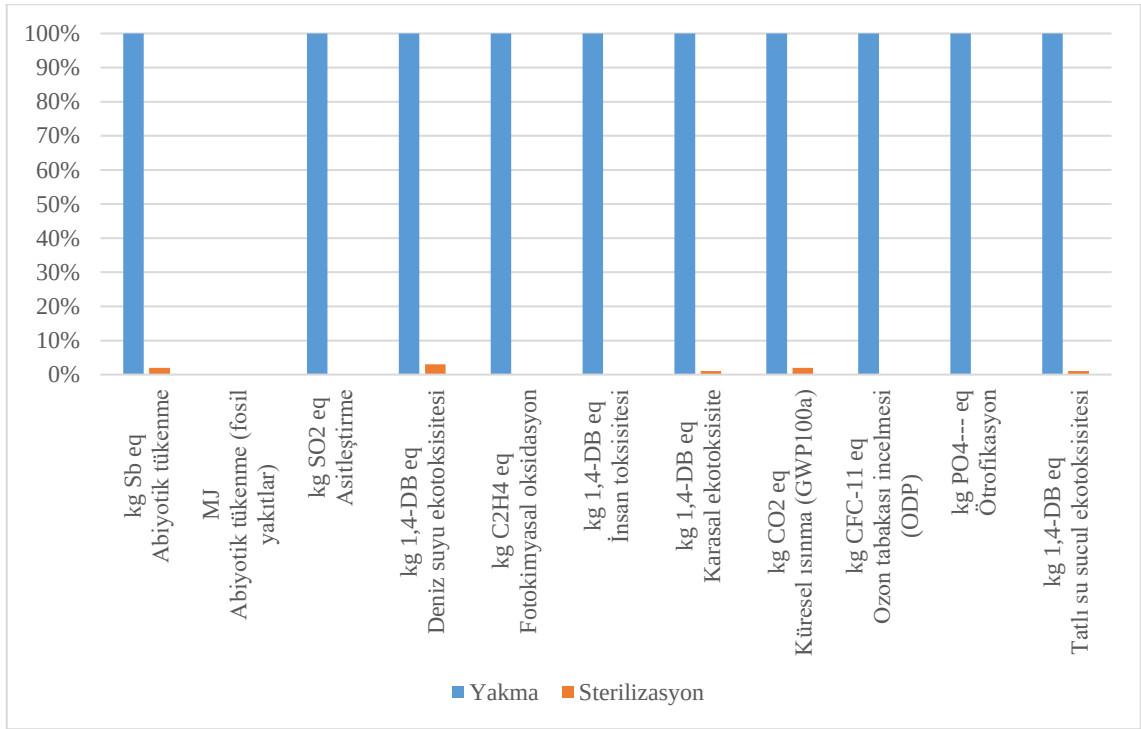
Tablo 5.4' te proje kurulumunun ardından karşılaştırılan etki kategorileri görülmektedir.

Tablo 5.4 Mevcut tıbbi atık sterilizasyon tesisi ve tıbbi atık yakma tesisi etki kategorileri karşılaştırması

Etki kategorisi	Referans Birimi	Yakma	Sterilizasyon
Abiyotik tükenme	kg Sb eq	9,21E-05	1,42E-06
Abiyotik tükenme (fosil yakıtlar)	MJ	0	0
Asitleştirme	kg SO ₂ eq	15665,90	0,01
Ötrofikasyon	kg PO ₄ eq	4073,07	0,001
Tatlı su sucul ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	0,45	0,003
Küresel ısınma (GWP100a)	kg CO ₂ eq	215,51	3,32
İnsan toksisitesi	kg 1,4-DB eq	37603,33	0,10
Deniz suyu ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	21455,15	552,75
Ozon tabakası seyrelmesi (ODP)	kg CFC-11 eq	2,05E-05	5,22E-09
Fotokimyasal oksidasyon	kg C ₂ H ₄ eq	4,39E+02	0,001
Karasal ekotoksitesite	kg 1,4-DB eq	1,37E-01	0,002

Tablo 5.4'e göre bütün etki kategorileri için tıbbi atık yakma tesisinin etkisinin tıbbi atık sterilizasyon tesisinden fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 5.7'de mevcut tıbbi atık sterilizasyon ve tıbbi atık yakma tesisi için göreceli sonuçlar gösterilmiştir. Her etki kategorisi için yakma tesisi abiyotik tükenme (fosil yakıtlar) hariç %100 etki sağlamıştır. Sterilizasyon tesisi deniz suyu ekotoksitesitesine %3, abiyotik tükenmeye %2, küresel ısınmaya %2, karasal ekotoksitesiteye %1, tatlı su sucul ekotoksitesitesine %1 etki sağlamıştır.



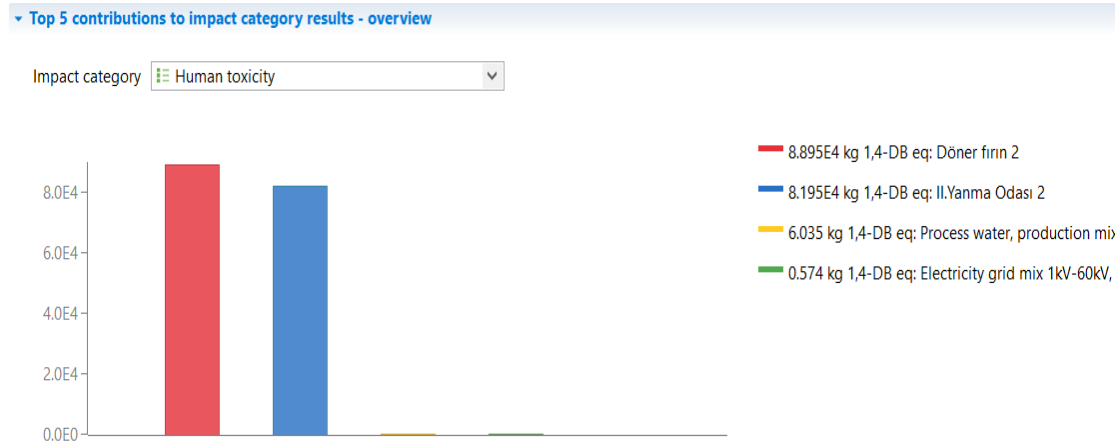
Şekil 5.7 Mevcut tıbbi atık sterilizasyon tesisi ve tıbbi atık yakma tesisi göreceli sonuçlar grafiği

Tablo 5.5'te mevcut tıbbi atık sterilizasyon ve tıbbi atık yakma tesisi yerine senaryo olarak adlandırdığımız tıbbi atıklar için sadece yakma tesisi kullanılması durumunda oluşan etki analizi sonuçları görülmektedir. Sonuçlar CML-IA metoduna göre hesaplanmıştır.

Tablo 5.5 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) etki analizi sonuçları

Etki kategorisi	Referans Birimi	Sonuç
İnsan toksisitesi	kg 1,4-DB eq	170908,8
Asitleştirme	kg SO ₂ eq	71209,85
Deniz suyu ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eq	21455,15
Ötrofikasyon	kg PO ₄ eq	18514,49
Fotokimyasal oksidasyon	kg C ₂ H ₄ eq	1993,89
Küresel ısınma (GWP100a)	kg CO ₂ eq	215,51
Tatlı su sucul ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eq	0,45
Karasal ekotoksisite	kg 1,4-DB eq	0,14
Abiyotik tükenme	kg Sb eq	9,21E-05
Ozon tabakası seyrelmesi (ODP)	kg CFC-11 eq	2,05E-05
Abiyotik tükenme (fosil yakıtlar)	MJ	0

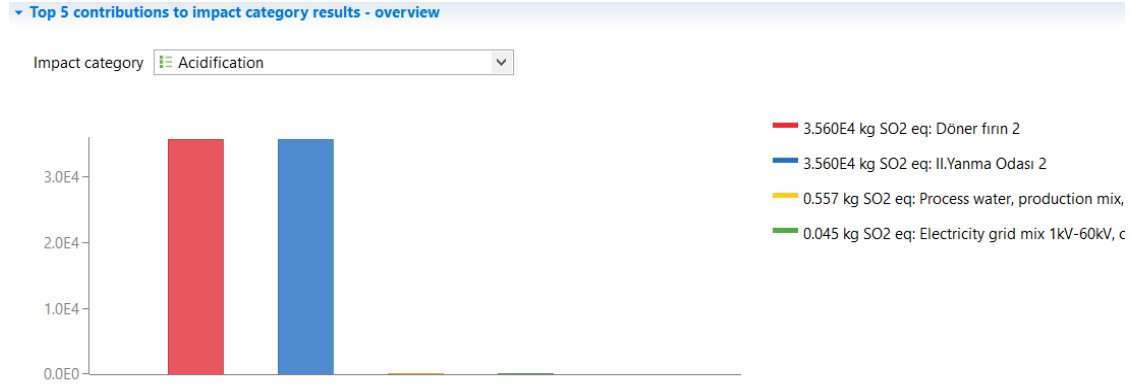
Şekil 5.8’de senaryo tıbbi atık yakma tesisi insan toksisitesi etki kategorisine en çok katkı sağlayanlar openLCA programında gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) insan toksisitesi etki kategorisine en çok katkı sağlayanlar

Şekil 5.8'e göre en çok katkı sağlayanlar sırasıyla döner fırın, II. yanma odası, proses suyu kullanımı ve elektrik kullanımı olmuştur.

Şekil 5.9'a göre senaryo tıbbi atık yakma tesisi asitleştirme etki kategorisi için en çok katkı sağlayanlar gösterilmiştir.

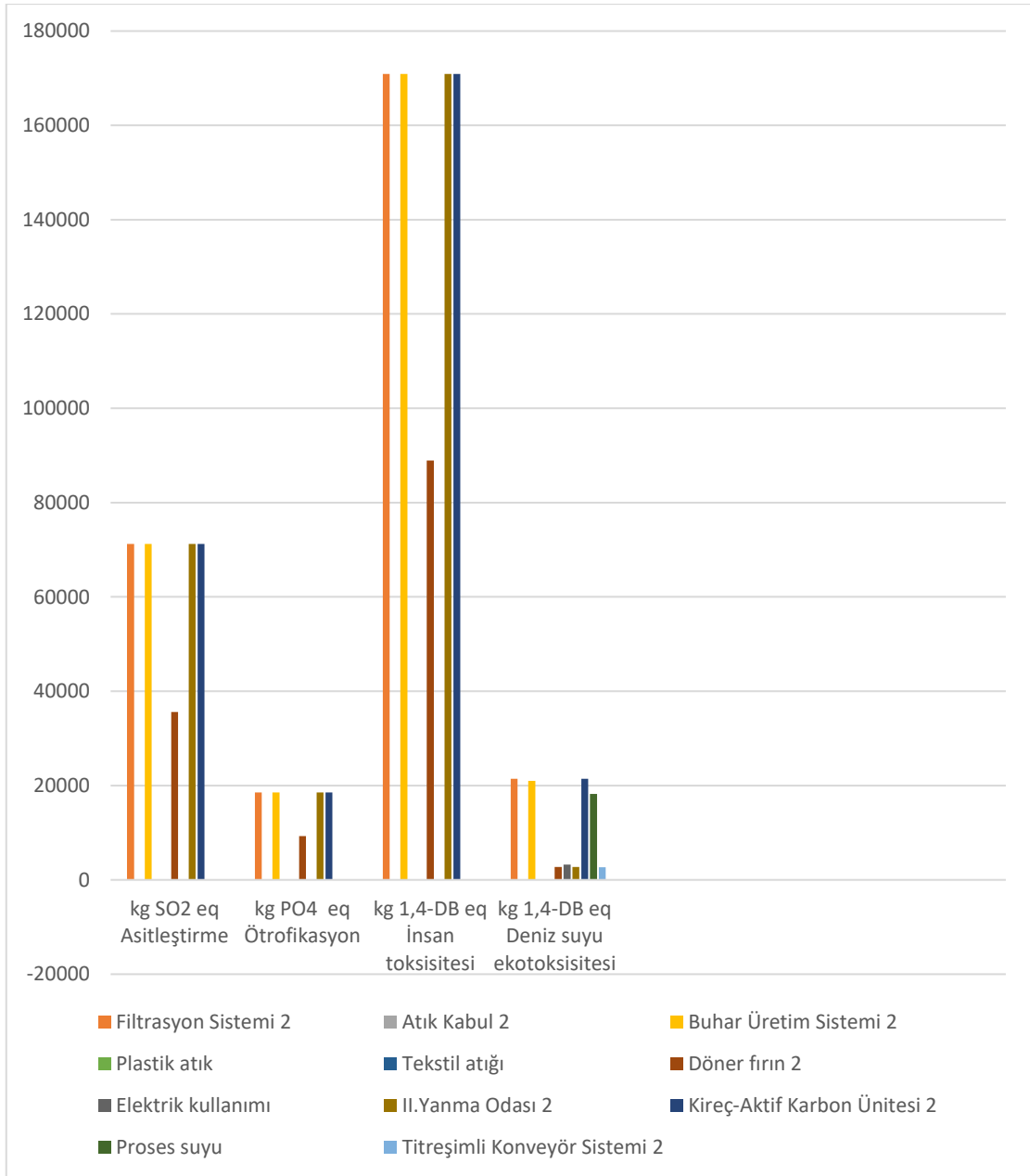


Şekil 5.9 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) asitleştirme etki kategorisine en çok katkı sağlayanlar

Şekil 5.9'e göre senaryo tıbbi atık yakma tesisi asitleştirme etki kategorisine en çok döner fırın ve II. yanma odası katkı sağlamıştır.

Diğer etki kategorileri için programdan incelenen sonuçlara göre sırasıyla deniz suyu ekotoksitesine proses suyu kullanımı ve elektrik kullanımı, ötrofikasyona döner fırın, II. yanma odası eşit olarak, fotokimyasal oksidasyona en çok II. yanma odası olmak üzere sırasıyla döner fırın, proses suyu kullanımı ve elektrik kullanımı, küresel ısınmaya proses suyu ve elektrik kullanımı, tatlı su sucul ekotoksitesi, karasal ekotoksite, abiyotik tükenme ve ozon tabakası incelmesine sırasıyla proses suyu ve elektrik kullanımı katkı sağlamıştır.

Şekil 5.10'da bazı etki kategorileri için katkı sağlayan proses ve akışların sütun grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Tıbbi atık yakma tesisi (senaryo) etki kategorilerine katkı sağlayanlar grafiği

Tablo 5.6'da 1. durum (mevcut) ve 2. durum (senaryo) için tıbbi atık yakma tesisi etki kategorileri analiz sonuçları karşılaştırması görülmektedir.

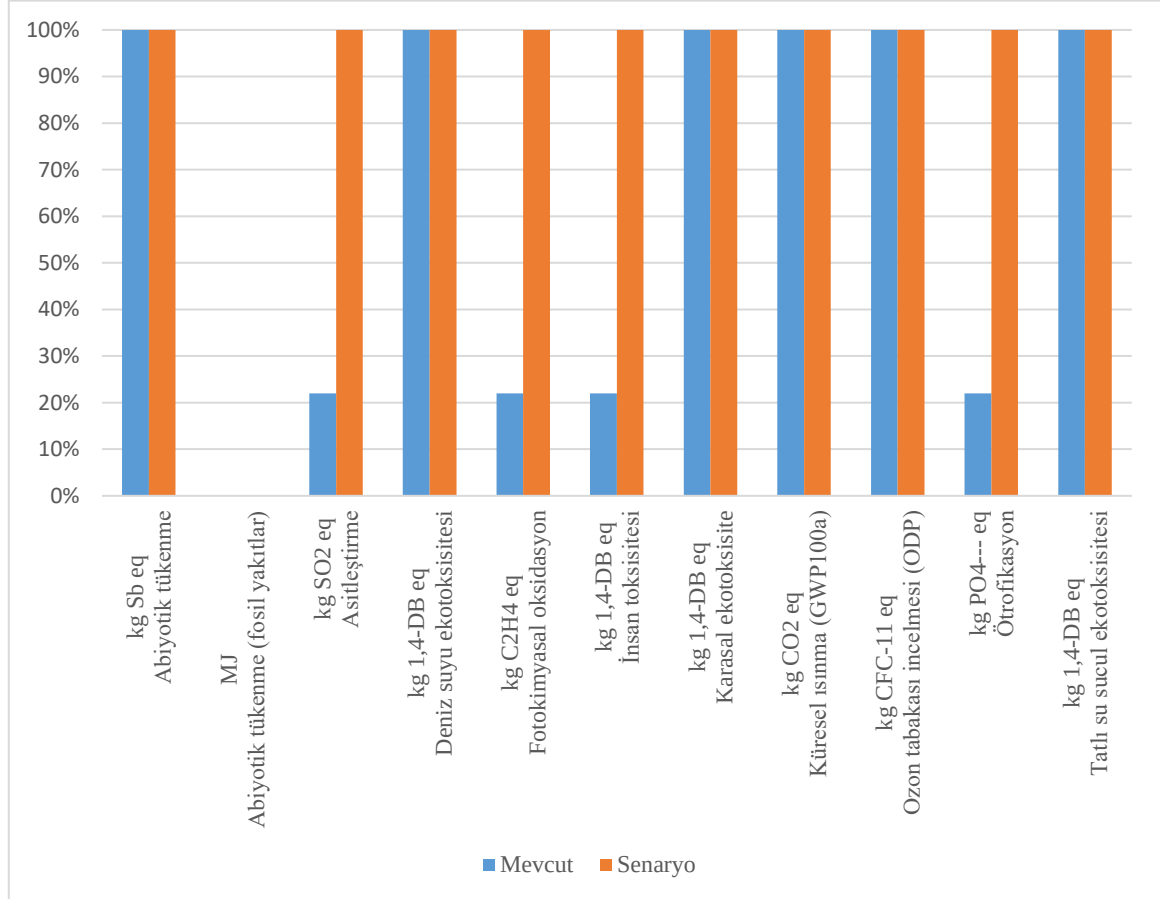
Tablo 5.6 Mevcut tıbbi atık yakma tesisi ve senaryo tıbbi atık yakma tesisi etki kategorileri karşılaştırması

Etki kategorisi	Referans Birimi	Mevcut Yakma Tesisi	Senaryo Yakma Tesisi
Abiyotik tükenme	kg Sb eq	9,21E-05	9,21E-05
Abiyotik tükenme (fosil yakıtlar)	MJ	0	0
Asitleştirme	kg SO ₂ eq	15665,90	71209,85
Deniz suyu ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	21455,15	21455,15
Fotokimyasal oksidasyon	kg C ₂ H ₄ eq	4,39E+02	1993,89
İnsan toksisitesi	kg 1,4-DB eq	37603,33	170908,81
Karasal ekotoksiste	kg 1,4-DB eq	1,37E-01	0,14
Küresel ısınma (GWP100a)	kg CO ₂ eq	215,51	215,51
Ozon tabakası seyrelmesi (ODP)	kg CFC-11 eq	2,05E-05	2,05E-05
Ötrofikasyon	kg PO ₄ eq	4073,07	18514,50
Tatlı su sucul ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	0,45	0,45

Tablo 5.6' ya göre abiyotik tükenme, tatlı su sucul ekotoksitesitesi, küresel ısınma, deniz suyu ekotoksitesitesi, ozon tabakası incelmeleri ve karasal ekotoksiste etki

kategorileri için sonuçlar aynı kalmıştır ancak 2. durum için asitleştirme, ötrofikasyon, insan toksisitesi, fotokimyasal oksidasyon etki kategorilerinde artış görülmektedir.

Şekil 5.11’de mevcut tıbbi atık yakma ve senaryo tıbbi atık yakma tesisi için göreceli sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 5.11 Mevcut tıbbi atık yakma ve senaryo tıbbi atık yakma tesisi için göreceli sonuçlar

Şekil 5.11’e katkı oranları göreceli olarak incelendiğinde senaryo abiyotik tükenme (fosil yakıtlar) etki kategorisi hariç tüm kategorilere %100 etki sağlamıştır. Mevcut tesis abiyotik tükenme, deniz suyu ekotoksitesitesi, karasal ekotoksiste, küresel ısınma, ozon tabakası incelmesi ve tatlı su ekotoksitesitesine %100 etki sağlanmıştır. Asitleştirme, fotokimyasal oksidasyon, insan toksisitesi, ötrofikasyon için mevcut tesis %22 etki sağlamıştır. Asitleştirme, fotokimyasal oksidasyon, insan toksisitesi, ötrofikasyon için senaryo tıbbi atık yakma tesisi mevcut tesise göre etki kategorilerine daha çok etki sağlamıştır.

COVID-19 salgını küresel olarak endişe yaratmakta ve tıbbi atık üretiminde artışa yol açmaktadır. Tıbbi atıkların bertarafı, salgının yayılmasını önlemek için acil bir ihtiyaçtır. COVID-19 salgını sırasında oluşan tıbbi atıkların acil bertaraf senaryoları, potansiyel çevresel etkilerini ölçmek için sistematik bir değerlendirme gerektirmektedir [33].

Tüm dünyada çeşitli tıbbi atık bertaraf yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında yakma ve sterilizasyon en yaygın tıbbi atık bertaraf yöntemleridir. Bu çalışmada farklı orta kategorilerde çevresel etkiyi belirlemek için YDD kullanılmıştır. Amacımız, tıbbi atık bertarafı için İstanbul'daki mevcut bertaraf yöntemlerine alternatif bir senaryo gerçekleştirmek olmuştur. Senaryo, tıbbi atıkların sadece yakılarak bertarafı olarak belirlenmiştir.

Sonuçlara göre tıbbi atık sterilizasyon tesisinden oluşan deniz suyu ekotoksitesitesi 552,8 kg 1,4-DB eq, küresel ısınma 3,3 kg CO₂ eq, insan toksisitesi 0,1 kg 1,4-DB eq olarak hesaplanmıştır. Deniz suyu ekotoksitesitesine katkı sağlayan tesisteki elektrik kullanımı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elektrik kullanımı, 552,8 kg 1,4 DB eq ile etki değerlendirme sonuçlarına en çok katkıda bulunan faktör olmuştur.

Mevcut tıbbi atık yakma tesisi için insan toksisitesi 3,8e4 kg 1,4-DB eq, deniz suyu ekotoksitesitesi 2,1e4 kg 1,4-DB eq, asitleştirme 1,6e4 kg SO₂ eq olarak ölçülmüştür. Yakmanın her bir etki analizinin kütle değerleri, sterilizasyondan çok daha yüksek kalmıştır. İnsan toksisite katkı sağlayanlar, ikinci yanma odası, döner fırın, proses suyu ve elektrik kullanımından sırasıyla 1,95e4, 1,80e4, 6,04 ve 0,57 kg 1,4-DB eq olarak hesaplanmıştır. Deniz suyu ekotoksitesitesine katkıda bulunanlar, proses suyu ve elektrik kullanımı için sırasıyla 1,82e4 ve 3,22e3 kg 1,4-DB eq olarak hesaplanmıştır. Oluşan kalıcı organik kirleticiler bu ünite aracılığıyla baca gazından uzaklaştırıldığından, atık yakmada ikinci yanma odası sistemin hayati bir parçasıdır [34]. İkinci yanma odası ve döner fırın etki değerlendirmesi sonuçlarına en çok

katkıda bulunanlar olmuştur. Mevcut bertaraf tesisleri için sonuçlar kıyaslandığında yakmanın çevresel etkisi, sterilizasyon sürecine göre daha yüksek kalmıştır.

Senaryo tıbbi atık yakma tesisi için insan toksisitesi 1,7e5 kg 1,4-DB eq, asitleştirme 7,1e4 kg SO₂ eq, deniz suyu ekotoksitesitesi 2,1e4 kg 1,4-DB eq olarak hesaplanmıştır. İnsan toksisitesine en çok katkı sağlayanlar sırasıyla döner fırın, II. yanma odası, proses suyu kullanımı ve elektrik kullanımı olmuştur. Senaryo ve mevcut yakma tesisi karşılaştırıldığında abiyotik tükenme, tatlı su sucul ekotoksitesitesi, küresel ısınma, deniz suyu ekotoksitesitesi, ozon tabakası incilmesi ve karasal ekotoksitesite etki kategorileri için sonuçlar aynı kalmıştır ancak senaryo için asitleştirme, ötrofikasyon, insan toksisitesi, fotokimyasal oksidasyon etki kategorilerinde artış görülmektedir.

6.1 Tartışma

Pakistan'da yapılan çalışmaya göre mevcut tıbbi atık bertaraf yöntemini yani yakma ve tıbbi atıkların sınıflandırma yapılmaksızın depolanmasının (Senaryo A ve Senaryo B) YDD ile hesaplanması için iki senaryo kullanılmıştır [25]. Piroliz ve kimyasal dezenfeksiyon kullanımını içeren Senaryo C, alternatif olarak kabul edilmiştir. Mevcut uygulamalar (Senaryo A ve Senaryo B) tüm kategoriler için en kötüsü olmuştur. Özellikle, mevcut yöntemlerden en büyük etki yakma işleminden üretilen insan toksisitesi için oluşmuştur. İnsan toksisitesi ve deniz suyu ekotoksitesitesi, seçilen tüm arıtma süreçleri için en yüksek etkiye sahip kategoriler olarak bulunmuştur. Senaryo C'nin (alternatif güncel uygulamalar) daha düşük etkiler yaratacağı gözlemlenmiştir. Daha ayrıntılı olarak, yakma durumunda en yüksek etki insan toksisitesi, ardından deniz suyu ekotoksitesitesi, tatlı su ekotoksitesitesi, karasal ekotoksitesite, iklim değişikliği, asitleşme potansiyeli, ötrofikasyon ve fotokimyasal oksidasyon üzerine olmuştur. Depolama durumunda, deniz suyu ekotoksitesitesi en yüksek etkiye sahiptir ve bunu iklim değişikliği, fotokimyasal oksidasyon, ötrofikasyon, insan toksisitesi, asitleşme potansiyeli, tatlı su ekotoksitesitesi, karasal ekotoksitesite izlemektedir [25]. Sterilizasyon ile ilgili olarak, hastane atıklarının otoklavlanması en uygun teknoloji olarak kabul edilir. Ancak yakmaya göre maliyetlerinin daha yüksek olacağı görülmektedir [25]. Bu yüzden, büyük miktarda bulaşıcı atık sterilizasyon teknolojisi ile bertaraf edilemez. Ayrıca, cıva, kemoterapi bakımından elde edilen bileşikler ve malzemeler, uçucu organik bileşikler, yarı uçucu organik bileşikler ve radyoaktif atıklar gibi bazı

kimyasallar ve bulaşıcı maddeler otoklavlama ile arıtilamaz [35]. Pakistan örneği ile çalışmamızı karşılaştırdığımızda yakma için her ikisinde en yüksek çıkan çevresel etki insan toksisitesi ve deniz suyu ekotoksisitesi olmuştur. Pakistan örneğinde 7,5e-5 kg 1,4-DB eq insan toksisitesi, 1,53e-3 kg 1,4-DB eq deniz suyu ekotoksisitesi hesaplanmıştır, bizim çalışmamızda mevcut yakma tesisinin insan toksisitesi 3.8e4 kg 1,4-DB eq, deniz suyu ekotoksisitesi 2,1e4 kg 1,4-DB eq hesaplanmıştır. Pakistan'ın Swat ilçesini inceleyen bu çalışmaya göre İstanbul için bulunan sonuçlar, nüfusa ve toplam tıbbi atık miktarına göre oranlandığında uygun bulunmuştur.

Çin'de COVID-19 salgını sırasında oluşan tıbbi atıkların bertarafı için yapılan çalışmada üç hareketli bertaraf senaryosunun çevresel etkileri ve temel faktörleri (yani yakma bertaraf aracı, hareketli buhar ve mikrodalga sterilizasyon ekipmanı, ardından kentsel katı atık ile birlikte yakma) yaşam döngüsü değerlendirme yaklaşımı ile ölçülmüştür [33]. Ayrıca, üç adet hareketli atık bertaraf ve iki birlikte yakma senaryosunun çevresel etkileri, sistem sınırları genişletilerek yaşam döngüsü değerlendirmesi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kentsel katı atık ile birlikte yakmanın, enerji üretiminin ürettiği çevresel faydalar nedeniyle en düşük çevresel etkiye sahip olduğunu ve yüksek enerji tüketimi nedeniyle tehlikeli atıklarla birlikte yakmanın en yüksek çevresel etki yarattığını göstermektedir. Enerji tüketimi (yani, gazyağı, elektrik ve dizel), üç hareketli bertaraf senaryosu için temel faktörlerdir. Senaryo 1'de yani yakma işleminde, doğrudan emisyonlar, elektrik ve gazyağı çoğu kategoriye ana katkı yapan unsurlardır. Tıbbi atık yakma işlemi sırasında doğrudan emisyonlar, asitleştirme potansiyeli ve solunum inorganiklerine büyük katkı sağlayan asidik gazları (örneğin SO₂) ve partikül maddelerini içermektedir [33]. Senaryo 2'de yani sterilizasyon işleminde, en fazla enerji tüketimi, sterilizasyon için yüksek sıcaklıkta buhar üretmek için dizel tüketen buhar üretim sistemindeki kazandır. Elektrik tüketimi de küresel ısınma, asitleştirme potansiyeli, solunum inorganikleri, iyonlaştırıcı radyasyon-insan sağlığı etkileri, CO₂ ve SO₂ üzerinde önemli bir olumsuz etkiye sahiptir [33]. Bu çalışmanın sonucuna göre, enerji geri kazanımı, atık bertaraf aracı için çevresel etkiyi azaltma seçeneğidir. Hong, geleneksel buhar sterilizasyonu tarafından tüketilen elektriğin ton tıbbi atık bertarafı başına 774,97 kWh olduğunu, hareketli buhar sterilizasyon ekipmanının elektrik tüketiminden çok daha yüksek olduğunu bildirmiştir [33]. Sonuçlar,

elektrik üretimi nedeniyle kentsel katı atıklarla ile birlikte yakmanın en düşük çevresel etkiye sahip olduğunu ve tehlikeli atıklarla birlikte yakmanın en yüksek çevresel etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır [33]. Üç adet hareketli bertaraf senaryosu, COVID-19 salgını sırasında bulaşıcı tıbbi atığın birikmesi ve taşınmasından kaynaklanan enfeksiyon riskini ortadan kaldırabilir. Birlikte yakma tesislerinin, bertaraftan kaynaklanan enfeksiyon riski nedeniyle bulaşıcı tıbbi atıkları bertaraf etmesi önerilmemektedir. Acil bertaraf senaryolarının seçimi için üretilen tıbbi atık miktarı, alan gereksinimleri, yakınlardaki mevcut tesisler ve ekonomik etki dikkate alınmalıdır. İstanbul için yaptığımız çalışmayla kıyaslandığında, her iki çalışmanın yakma senaryosunda üretilen doğrudan emisyonlar ve elektrik kullanımı etki kategorilerine katkıda bulunmuştur. Her iki çalışmada yakma işleminin asitleştirme potansiyeli üzerinde önemli derecede olumsuz etkisi gözlemlenmiştir. Sterilizasyon işlemi açısından incelendiğinde etki kategorilerine katkı sağlayan her iki çalışmada da elektrik kullanımı olmuştur. Sterilizasyon tesisinde elektrik tüketiminin her iki çalışmada küresel ısınma üzerinde önemli etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Çin'de yapılan bir çalışmada, tıbbi atık bertarafı için etkili tekniği belirlemek üzere üç tıbbi atık bertaraf senaryosunun (piroliz, buhar sterilizasyonu ve kimyasal dezenfeksiyon) çevresel ve ekonomik etkileri maliyet bağlantılı bir yaşam döngüsü değerlendirmesi yoluyla ölçülmüştür [36]. Sonuçlar, enerji tüketimindeki farklılıklar nedeniyle buhar sterilizasyonu ve kimyasal dezenfeksiyon senaryolarının sırasıyla en yüksek genel çevresel ve en düşük ekonomik etkileri sergilediğini göstermektedir. Buhar sterilizasyon senaryosu için, enerji (örneğin, elektrik ve dizel), her etki kategorisine en çok katkıyı sağlamıştır [36]. Yaptığımız çalışma ve Çin'deki çalışma kıyaslandığında her ikisinde sterilizasyon için etki kategorilerine en çok katkı sağlayan elektrik kullanımı olmuştur. Çin sterilizasyon senaryosu için en yüksek hesaplanan etki kategorisi küresel ısınma olmuştur. Ancak bizim çalışmamızda sterilizasyon için en yüksek değer deniz suyu ekotoksitesi, ardından küresel ısınma için hesaplanmıştır.

Kuzey İtalya'da (Emilia Romagna Bölgesi), YDD metodolojisinin uygulanmasıyla atık yakma tesislerinin etkilerini değerlendirmek ve yakma sürecindeki en etkili

adımları vurgulamak için çalışma yapılmıştır [37]. Katı kalıntıların ve ağır metal emisyonunun yönetimi, en önemli çevresel endişelere neden olmuştur. Ayrıca, aynı miktarda atık için düzenli depolama alanlarının çevresel etkisiyle yapılan geçici bir karşılaştırma, yakma işleminin çevresel olarak tercih edilebilir olarak kabul edilmesi gerektiğine işaret etmiştir. Solunum yolu hastalıkları üreten kanserojen ve inorganik kirleticiler için en önemli etkiler tespit edilmiştir. Bununla birlikte, enerji üretimi nedeniyle, birçok etki kategorisi için ve kaynak tüketimi için önlenmiş etkiler bulunmuştur. Karşılaştırma yapıldığında, düzenli depolama sahalarıyla bertarafta, insan sağlığı veya ekosistem kalitesi, kaynakların kullanımı açısından daha kötü sonuçlanmıştır. Çalışmamız ile karşılaştırıldığında yakma işlemi için en çok katkının insan toksisitesi etki kategorisi üzerine olduğu görülmektedir.

COVID-19 salgını sırasında enfeksiyon olasılığını azaltmak için ön saflardaki sağlık ve sanitasyon toplulukları tarafından Kişisel Koruyucu Ekipman (KKE) kitlerinin kullanımında büyük artış olmuştur [38]. Potansiyel olarak bulaşıcı olan kullanılmış KKE kitleri, bilimsel olarak ele alınmadığı ve imha edilmediği takdirde insan sağlığı, kara ve deniz ekosistemleri için tehdit oluşturmaktadır. Çin’de yapılan bir çalışmada KKE kitlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi, hem karasal hem de deniz ekosistemleri üzerindeki genel etkileri kapsayan altı çevresel etki kategorisi için iki bertaraf senaryosu altında GaBi sürüm 8.7 kullanılarak gerçekleştirilmiştir [38]. Farklı bertaraf seçeneklerine sahip üç durum dikkate alınmıştır. Bunlardan ikisi, merkezi ve merkezi olmayan yakma, diğeri ise depolamadır. Yakma süreci (merkezi – 3816 kg CO₂ eşdeğeri ve merkezi olmayan – 3813 kg CO₂ eşdeğeri) yüksek küresel ısınma potansiyeli göstermiştir. İnsan toksisitesi potansiyeli için merkezi olmayan yakma 250,3 kg DB eq, merkezi yakma 250,2 kg DB eq olarak hesaplanmıştır. Merkezi olmayan yakmanın hem çevre hem de sağlık açısından KKE’lerin imhası için uygun bir seçenek olduğu bulunmuştur. Çalışmamız ile karşılaştırıldığında yakma için en çok etki insan toksisitesi olarak gözlenirken, Çin’de yapılan çalışmada insan toksisitesi yakma için ikinci sırada gelmiştir. En az uygulanabilir seçenek katı atık sahasına dayalı bertaraf olarak belirlenmiştir. Merkezi yakma fırını, SARS-CoV-2 ile enfekte olabilecek KKE’leri kullanan kişi sayısını arttırmaktadır. Yerel bertaraftan merkezi toplama tesisine kadar, atıkları işleyen çok sayıda insan vardır ve bu nedenle, merkezi olmayan sistemler kurulursa önlenebilecek hastalığa yakalanma

şansı daha yüksektir. Yukarıdakileri göz önünde bulundurarak, YDD etki kategorilerinin merkezi olmayan sistem için de yüksek ayak izi değerleri ürettiğini, dolayısıyla genel etkileri azaltmak için her zaman eldeki sistemleri iyileştirmeye ihtiyaç olduğunu belirtmek önemlidir.

6.2. Sonuç

Çevresel yükü azaltmak için etkili önlemler arasında elektrik tüketim verimliliğinin iyileştirilmesi, kimyasalların kullanımının azaltılması (örneğin sodyum hidroksit, kireç ve klor oksit), temiz enerjinin seçilmesi ve enerji geri kazanımı ile tıbbi atık yakmanın sağlanması yer alır. Kapsamlı çalışmalar enerji geri kazanımının katı atık yakma için genel çevresel yükü azaltmada anahtar faktör olduğunu göstermiştir [36].

Yakma, tıbbi atıkların bertarafı için etkili bir yöntemdir, ancak baca gazı ve kalıntı gibi kirletici maddeler üretmektedir. Yakmadan kaynaklanan kirliliği azaltmak, yakma verimliliğini artırmak ve tıbbi atık yakma işleminin çevresel yükünü değerlendirmek için YDD yönteminin benimsenmesi gerekmektedir. Tasarım aşamasında çevresel tasarım standardının dikkate alınması ve uygun yakma teknolojisinin tasarlanması gerekmektedir. Tıbbi atık bertarafı için uygun yönetim ve yakma koşullarının seçilmesi gerekmektedir.

Çalışmamızda elde ettiğimiz verilere göre, COVID-19 yüksek miktarda tıbbi atık üretmektedir ve bulaş riskinden dolayı tıbbi atıkların net bir şekilde giderilmesi gerekmektedir. Sterilizasyon yöntemi yüksek miktarda atık için etkili bir bertaraf yöntemi olamayacağından bütün tıbbi atıkların yakma ile bertaraf edilmesi salgın sırasında etkili bir yöntem olacaktır. YDD sonuçlarımıza göre yakmanın olumsuz etkileri olsada, elektrik tüketimi verimliliğinin iyileştirilmesiyle, enerji geri kazanımının güçlendirilmesiyle, uygun yakma koşullarıyla tesisin işletilmesi sonucunda salgın sırasında virüsün yok edilmesi için ele alınabilecek alternatif bir senaryo olarak değerlendirilmesi muhtemeldir.

Tıbbi atıkların bertarafı, COVID-19 salgını sırasında ve sonrasında uzun süre tüm ülkelerin karşı karşıya olduğu yaygın ve son derece önemli bir görevdir. Buradaki sonuçlar, tıbbi atık bertaraf yöntemini farklı amaçlarla uygulamak isteyenler için

hızlı bir başvuru kılavuzu olarak kullanılabilir. Firmalar ve kurumlar, burada sunulan sonuçlara göre nihai amaçları için mevcut en iyi yönteme karar verebilirler.



KAYNAKÇA

-
- [1] M. Karaosman, "Analyzing of solid waste management with life cycle assessment (LCA)", Fatih Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans tezi, İstanbul, 2014.
- [2] W. Wang, N. Chaudhry, ve M. Ali, "Application of life cycle assessment for hospital solid waste management: A case study. Pakistan", Air & Waste Management Association, no. 66 , ss. 1012-1018, 2016.
- [3] M. E. Birpınar, M. S. Bilgili ve T. Erdoğan, " Medical Waste Management in Turkey: A case study of Istanbul", Waste Management, no. 29, ss. 445-448, 2009.
- [4] M. Ali ve diğerleri, "Hospital waste management in developing countries: A mini review ", Waste Management & Research, no. 35, ss. 581-592, 2017.
- [5] H.E. Gülşen, G. Koyuncu Türkay ve E. Bezirhan Arıkan, "Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Uygulamalarının Çevre Kalitesi Yönetimine Etkileri", Mersin: ISEM 2014 Sempozyum Kitabı, 2014, ss. 1100-1107.
- [6] <https://www.istac.istanbul/tr/temiz-istanbul/hizmetlerimiz/tibbi-atik-yonetimi> [Alıntı Tarihi: 18.01.2021].
- [7] <https://www.openlca.org/> [Alıntı Tarihi: 18.01.2021].
- [8] <https://atikyonetimi.ibb.gov.tr/uploads/2015/08/Tibbi-Atiklarin-Kontrolu-Yonetmeligi.pdf> [Alıntı Tarihi:10.12.2020].
- [9] A. Ferdowsi, M. Ferdosi ve M.J. Mehrani, "Incineration or Autoclave? A Comparative Study in Isfahan Hospitals Waste Management System (2010)" Materia Socio Medica, no. 25, ss. 48-51, 2013.
- [10]https://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/077to112.pdf [Alıntı Tarihi : 26.01.2021].
- [11]I.A. Al-Khatib, Y.S. Al-Qaroot ve M.S. Ali-Shtayeh, "Management of healthcare waste in circumstances of limited resources: a case study in the hospitals of Nablus city, Palestine", Waste Management & Research, no. 27, ss. 305-312, 2009.
- [12]<https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=33900> [Alıntı Tarihi: 26.01.2021].
- [13]<https://data.ibb.gov.tr/dataset/ilce-yil-ve-atik-turu-bazinda-atik-miktari/resource/50036dfd-aea5-4f06-832f-f7020fdaaa5a> [Alıntı Tarihi: 15.04.2020].
- [14]<https://atikyonetimi.ibb.istanbul/hizmetlerimiz/tibbi-atiklarin-toplanmasi-ve-bertaraf/> [Alıntı Tarihi: 23.03.2020].
- [15]A. Laca ve diğerleri, "Life Cycle Assessment in Biotechnology", Oviedo, Spain: Reference Module in Life Sciences, no. 2, ss. 994-1006, 2019.
- [16]A. Mazzi, "History of LCT. Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making ", Padova, İtalya, ss. 1-19, 2020.

- [17]M. Z. Hauschild, R. K. Rosenbaum ve S. I. Olsen , "Life Cycle Assessment Theory and Practice", Denmark : Springer Nature, ss. 17-60-63, 2018.
- [18]S. Yang ve diğerleri, "Development and applicability of life cycle impact assessment methodologies" Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making, ss. 95-124, 2020.
- [19]A. Elwan ve diğerleri, "Life cycle assessment-based environmental impact comparative analysis of composting and electricity generation from solid waste", Johor Bahru, Malaysia: Energy Procedia, no. 68, ss. 186 – 194, 2015.
- [20]P. Brancoli, ve K. Bolton, "Life Cycle Assessment of Waste Management Systems", Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches, ss. 23-33, 2019.
- [21]European Commission, "ILCD Handbook: Framework and requirements for LCIA models and indicators", ss. 3,2010.
- [22]A. Bjorklund,G. Finnveden ve L. Roth, "Application of LCA in Waste Management", Sweden,Solid Waste Technology & Management, 2011.
- [23]M. Banar, Z. Cokaygil ve A. Ozkan, "Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey", Waste Management, no. 29, ss. 54–62, 2009.
- [24]O. Alam ve A. Mosharraf, "A preliminary life cycle assessment on healthcare waste management in Chittagong City, Bangladesh", International Journal of Environmental Science and Technology, 2019.
- [25]R. Ahmad ve diğerleri," LCA of Hospital Solid Waste Treatment Alternatives in a Developing Country: The Case of District Swat, Pakistan", Sustainability, no.11, ss. 1-20, 2019.
- [26]W. Zhao, E. Voet ve G.Huppes, "Comparative life cycle assessments of incineration and non-incineration treatments for medical waste", The International Journal of Life Cycle Assessment, no. 14, ss. 114-121, 2009.
- [27]A. Y. Çetinkaya, L. Bilgili ve S. L. Kuzu, "Life cycle assessment and greenhouse gas emission evaluation from Aksaray solid waste disposal facility " , Air Quality, Atmosphere & Health, no. 11, ss. 549–558, 2018.
- [28][https://www.istac.istanbul/contents/1318/t%C4%B1bbi%20at%C4%B1klar%C4%B1n%20sterilizasyonu_burcu_revize%20\(14_12_2016\).pdf](https://www.istac.istanbul/contents/1318/t%C4%B1bbi%20at%C4%B1klar%C4%B1n%20sterilizasyonu_burcu_revize%20(14_12_2016).pdf) [Alıntı Tarihi: 15.12.2020]
- [29]https://www.istac.istanbul/contents/3696/faaliyet-raporlari_2018.pdf [Alıntı Tarihi: 16.12.2020]
- [30]H. Taghipour ve M. Mosaferi, "Characterization of medical waste from hospitals in Tabriz, Iran ", Science of The Total Environment, no. 407, ss. 1527 – 1535, 2009,
- [31]<https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/c02s03.pdf> [Alıntı tarihi : 10.02.2021].

- [32]<https://atikyonetimi.ibb.gov.tr/uploads/2015/08/Tibbi-Atiklarin-Kontrolu-Yonetmeligi.pdf> [Alıntı Tarihi: 13.12.2020.]
- [33]H. Zhao, H. Liu, G. Wei, H. Wang,"Comparative life cycle assessment of emergency disposal scenarios for medical waste during the COVID-19 pandemic in China", Waste Management, no. 126, ss. 388-399,2020.
- [34]G. Güneş, A. Saral, Ş. Yıldız ve S. L. Kuzu, "Determination of optimum dose of adsorbent for PCDD/F removal in the flue gas of a medical waste incineration plant," Chem. Eng. Res. Des., no. 104, ss. 695–702, 2015.
- [35]B. K. Lee, M. J. Ellenbecker, M. E. Rafael, " Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical wastes" , Waste Managment, no. 24, ss. 143–151, 2004.
- [36]J. Hong, S. Zhan, Z. Yu, J. Hong, & C. Qi, " Life-cycle environmental and economic assessment of medical waste treatment", Journal of Cleaner Production, no. 174, ss. 65–73, 2018.
- [37]L. Morselli, C. De Robertis, J. Luzi, F. Passarini, & I. Vassura, " Environmental impacts of waste incineration in a regional system (Emilia Romagna, Italy) evaluated from a life cycle perspective", Journal of Hazardous Materials, no. 159(2-3), ss. 505–511, 2008.
- [38]H. Kumar, A. Azad, A. Gupta, J. Sharma, H. Bherwani, N. Kumar Labhsetwar, R. Kumar,"COVID-19 Creating another problem? Sustainable solution for PPE disposal through LCA approach",Environment, Development and Sustainability, 2020.

Makaleler

[1]Ö. Kılıç, S.L. Kuzu, "Comparison of incineration and autoclave methods in the treatment of medical wastes through life cycle assessment: A case study for Istanbul", Environmental Research & Technology ,no. 4(2),2021.

