



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**ET ENTEGRE TESİSLERİNDE ÇEVRESEL ETKİLERİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ ile
DEĞERLENDİRİLMESİ ve SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Nur Seda ŞAHİN

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Yasemin KAYA**

**II. DANIŞMAN
Prof. Dr. İlda VERGİLİ**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği, Doktora Programı

Mart, 2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Nur Seda ŞAHİN tarafından, Prof. Dr. Yasemin KAYA danışmanlığında hazırlanan "Et Entegre Tesislerinde Çevresel Etkilerin Yaşam Döngüsü Analizi ile Değerlendirilmesi ve Sürdürülebilirliğinin İyileştirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 15/03/2024 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

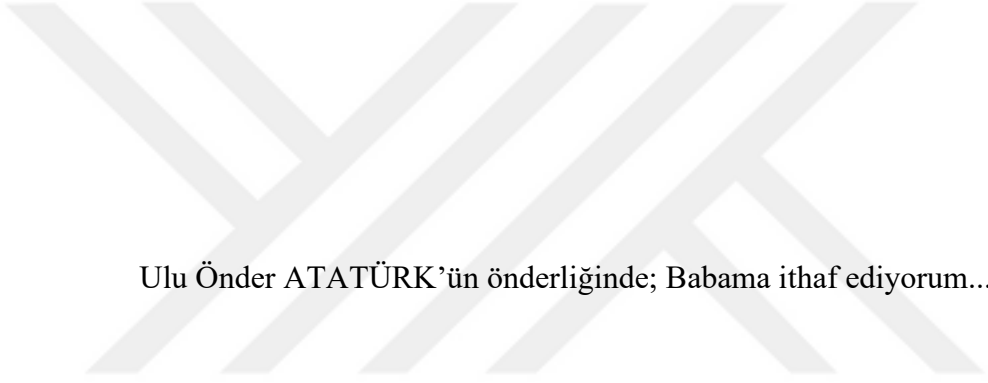
Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Yasemin KAYA	☒
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Burcu ONAT	☒
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Zeren Beril ÖZÇELEP	☒
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Fatma Gülen İSKENDER	☒
	İstanbul Teknik Üniversitesi	Kabul
	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ	☒
	Çanakkale On Sekiz Mart	Kabul
	Üniversitesi	☐ Ret
	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Nur Seda ŞAHİN



Ulu Önder ATATÜRK'ün önderliğinde; Babama ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

**Et Entegre Tesislerinde Çevresel Etkilerin Yaşam Döngüsü Analizi ile Değerlendirilmesi
ve Sürdürülebilirliğinin İyileştirilmesi.**

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon
Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 35203

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitim süresince ve tez konumun belirlenmesinde bana bilgi ve tecrübelerini aktarmakta büyük destek olan saygıdeğer danışman hocalarım Prof.Dr. Yasemin KAYA ve Prof.Dr. İlda VERGİLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Değerli jüri üyelerim; Prof.Dr. Fatma Gülen İSKENDER hocama ve Prof.Dr. Burcu ONAT hocama teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitim sürecim boyunca bilgi ve motivasyon desteklerini esirgemedi bana yardımcı olan ve doktora sürecinde de bana yardımlarını esirgemedi devam ettiren saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ALAGÖZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Doktora sürecim boyunca ders dönemi ve akademik çalışmalarımda kolaylık sağlayan Öğretim Görevlisi olarak çalıştığım kurum; İstanbul Topkapı Üniversitesi ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma alanı olarak belirlediğim tesise ziyaretlerimde; bana sağladığı kolaylıklar ve veri paylaşımı sebebiyle, İbrahim MAZLUM beyefendiye teşekkürlerimi sunarım.

Tüm yaşantım boyunca maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim AİLEME sonsuz şükranlarımı sunarım.

Mart 2024

Nur Seda ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xv
ÖZET	xviii
ABSTRACT	xx
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
2.1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	4
2.1.1. Ekonomik Sürdürülebilirlik.....	6
2.1.2. Sosyal Sürdürülebilirlik.....	6
2.1.3. Çevresel Sürdürülebilirlik	7
2.2. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ	8
2.2.1. Yaşam Döngüsü Analizi Yönteminin Aşamaları	9
2.2.2. Yaşam Döngüsü Analizi'nde Kullanılan Bilgisayar Programları	13
2.3. ET ENTEGRE TESİSLERİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ	13
2.3.1. Et Entegre Tesisleri	13
2.3.2. Kırmızı Et Üretim Süreci	14
2.3.3. Sucuk Üretim Süreci	16
2.3.4. Çevresel Etkileri.....	21
2.4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	22
2.4.1. Literatürde Yer Alan YDA Çalışmaları	23
2.4.2. Domuz Eti Ürünleri.....	24
2.4.3. Tavuk Eti Ürünleri	29

2.4.4. Sığır Eti Ürünleri.....	34
2.4.5. Yapay Et Ürünleri	40
3. YÖNTEM.....	45
3.1. ET ENTEGRE TESİSİNE AİT SUCUK ÜRETİM PROSESİ	45
3.2. SUCUK ÜRETİMİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ UYGULAMASI.....	51
3.2.1. Amaç ve Kapsam	51
3.2.2. Envanter Analizi.....	53
3.2.3. Etki Analizi	58
3.2.4. Hassasiyet Analizi	60
3.2.5. Yorumlama.....	61
3.3. ALTERNATİF SENARYOLARIN OLUŞTURULMASI.....	61
3.3.1. Alternatif Enerji Senaryoları	62
3.3.2. Alternatif Transfer Senaryoları	63
4. BULGULAR	64
4.1. SUCUK ÜRETİMİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	64
4.1.1. Abiyotik Tüketim Potansiyeli (ATP).....	67
4.1.2. Abiyotik Tüketim Potansiyeli-fosil yakıtlar (ATP-fosil).....	71
4.1.3. Küresel Isınma Potansiyeli (KIP).....	76
4.1.4. Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (OTİP).....	80
4.1.5. İnsana Toksisite Potansiyeli (İTP)	85
4.1.6. Tatlı su canlılarına ekotoksisite potansiyeli (TSCEP)	88
4.1.7. Deniz Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (DCEP)	91
4.1.8. Kara Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (KCEP).....	95
4.1.9. Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli (FOP)	98
4.1.10. Asidifikasyon Potansiyeli (AP).....	101
4.1.11. Ötrofikasyon Potansiyeli (ÖP)	104
4.2. ALTERNATİF ENERJİ SENARYOLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	107
4.2.1. ES-1: Jeotermal Enerji	110
4.2.2. ES-2-Rüzgar Enerjisi.....	114
4.2.3. ES-3: Güneş Enerjisi	117
4.2.4. ES-4: Biyogaz Enerjisi	120
4.2.5. ES-5: Soğutucularda Güneş Enerjisi	123
4.2.6. Alternatif enerji senaryolarının toplu değerlendirilmesi	127
4.3. ALTERNATİF TRANSFER SENARYOLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	128

4.3.1. TS-1: Euro-6 araç tipi.....	128
4.3.2. TS-2: Raylı Taşıma	130
4.4. SENARYOLARIN TOPLU DEĞERLENDİRİLMESİ	131
4.4.1. Abiyotik Tüketim Potansiyeli (ATP)	132
4.4.2. Abiyotik Tüketim Potansiyeli-fosil yakıtlar (ATP-fosil)	132
4.4.3. Küresel Isınma Potansiyeli (KIP).....	133
4.4.4. Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (OTİP).....	133
4.4.5. İnsana Toksisite Potansiyeli (İTP)	133
4.4.6. Tatlı Su Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (TSCEP)	134
4.4.7. Deniz Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (DCEP)	134
4.4.8. Kara Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (KCEP).....	134
4.4.9. Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli (FOP)	135
4.4.10. Asidifikasyon Potansiyeli (AP).....	135
4.4.11. Ötrofikasyon Potansiyeli (ÖP)	135
4.5. ENERJİ VE TRANSFER SENARYOLARININ BİRLİKTE UYGULANMASI İLE ELDE EDİLEN BÜTÜNLEŞİK SENARYO	136
4.6. HASSASİYET ANALİZİ.....	139
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	145
KAYNAKLAR.....	151
EKLER	159
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	173
ETİK KURUL İZİN YAZISI	174
KURUM İZNİ YAZILARI.....	175
ÖZGEÇMİŞ	176

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Tipik bir beşikten mezara YDA yaklaşımı.	10
Şekil 2.2: YDA'nın temel aşamaları.	11
Şekil 2.3: Kırmızı et üretim sürecine ait görsel.....	15
Şekil 2.4: Kırmızı et üretim ve akış şeması.....	16
Şekil 2.5: Fermente sucuk üretim sürecine ait görsel.	18
Şekil 2.6: Sucuk üretim süreci akış şeması.	20
Şekil 3.1: Tesis uydu görüntüsü.	45
Şekil 3.2: Faaliyet alanı fotoğrafı.....	46
Şekil 3.3: Tesis vaziyet planı.	46
Şekil 3.4: Et entegre tesisi sucuk üretim prosesi iş akış şeması.....	48
Şekil 3.5: Üretim aşamalarında kullanılan makine/ekipman bilgileri.....	50
Şekil 3.6: Sistem sınırı.	52
Şekil 3.7: SimaPro v9.1.1.7 yazılım programının yapısı.	53
Şekil 3.8: Makine ve ekipmanların elektrik sarfiyatının yüzdesel dağılımı.	55
Şekil 3.9: Duşlama aşamasından sonra süzölmeye ve kurumaya bırakılan sucuk üretimi.	56
Şekil 4.1: Sucuk üretiminin çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.	67
Şekil 4.2: 1 kangal sucuk üretiminin ATP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.	68
Şekil 4.3: 1 kangal sucuk üretiminin ATP-fosil etki kategorisine yüzdesel dağılımı.....	71
Şekil 4.4: 1 kangal sucuk üretiminin KIP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.	76
Şekil 4.5: 1 kangal sucuk üretiminin OTİP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.	81
Şekil 4.6: 1 kangal sucuk üretiminin İTP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.....	85
Şekil 4.7: 1 kangal sucuk üretiminin TSCEP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.....	88

Şekil 4.8: 1 kangal sucuk üretiminin DCEP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.....	92
Şekil 4.9: 1 kangal sucuk üretiminin KCEP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.....	95
Şekil 4.10: 1 kangal sucuk üretiminin FOP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.....	98
Şekil 4.11: 1 kangal sucuk üretiminin AP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.....	101
Şekil 4.12: 1 kangal sucuk üretiminin ÖP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.....	104
Şekil 4.13: Üretim aşamasının MD senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.	108
Şekil 4.14: Üretim aşamasının ES-1 senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.	111
Şekil 4.15: Üretim aşamasının ES-2 senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.	114
Şekil 4.16: Üretim aşamasının ES-3 senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.	117
Şekil 4.17: Üretim aşamasının ES-4 senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.	120
Şekil 4.18: Üretim aşamasının ES-5 senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.	124
Şekil 4.19: Bütünleşik senaryo ile sucuk üretiminin çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.	138
Şekil 4.20: CML-IA, ReCiPe 2016 ve IMPACT 2002+ metotlarıyla elde edilen OTİP sonuçlarının karşılaştırılması.....	141
Şekil 4.21: CML-IA, ReCiPe 2016 ve IMPACT 2002+ metotlarıyla elde edilen ATP-fosil sonuçlarının karşılaştırılması.....	142
Şekil 4.22: CML-IA, ReCiPe 2016 ve IMPACT 2002+ metotlarıyla elde edilen AP sonuçlarının karşılaştırılması.....	142
Şekil 4.23: CML-IA, ReCiPe2016 ve IMPACT 2002+ metotlarıyla elde edilen DCEP sonuçlarının karşılaştırılması.....	143

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: YDA çalışmalarında en sık karşılaşılan etki kategorileri.....	12
Tablo 2.2: Literatürden seçilen domuz eti ürünleri ile ilgili YDA çalışmaları.....	24
Tablo 2.3: Literatürden seçilen tavuk eti ürünleri ile ilgili YDA çalışmaları.....	30
Tablo 2.4: Literatürden seçilen sığır eti ürünleri ile ilgili YDA çalışmaları.	34
Tablo 2.5: Literatürden seçilen yapay et ürünleri ile ilgili YDA çalışmaları.	40
Tablo 3.1: Bir parti sucuk üretimi için hammadde girdileri.	49
Tablo 3.2: Hammaddeler ve transfer mesafeleri.	49
Tablo 3.3: YDA modellemesine ait özet tablosu.....	51
Tablo 3.4: Kesim prosesi-kütle dengesi.	54
Tablo 3.5: Fonksiyonel birim (1 kangal sucuk) başına hammadde ve transfer girdileri.	54
Tablo 3.6: Makine/ekipmanların aylık enerji sarfiyatları (fonksiyonel birim başına).	55
Tablo 3.7: Sucuk üretim proseslerinin fonksiyonel birim başına girdileri.	56
Tablo 3.8: Pazara dağıtım aşamasının fonksiyonel birim başına girdileri.	57
Tablo 3.9: SimaPro Yazılımında Yer Alan Ecoinvent 3/Agri-footprint 5 Veritabanı Seti.	57
Tablo 3.10: Alternatif enerji senaryoları.	62
Tablo 3.11: Alternatif transfer senaryoları.	63
Tablo 4.1: Et entegre tesisinden elde edilen yıllık ortalama birincil veriler.....	64
Tablo 4.2: 1 kangal sucuk üretiminin çevresel etki sonuçları.	66
Tablo 4.3: 1 kangal sucuk üretimi için ATP'ye etki eden faktörler (kg Sb eşd.).....	68
Tablo 4.4: ATP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.	70
Tablo 4.5: 1 kangal sucuk üretimi için ATP-fosil yakıtlara etki eden faktörler (MJ).	72
Tablo 4.6: ATP-fosil etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.....	74

Tablo 4.6. (devam): ATP-fosil etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları...	75
Tablo 4.7: 1 kangal sucuk üretimi için KIP etki eden faktörler (kg CO ₂ eşd.).....	77
Tablo 4.8: KIP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.	78
Tablo 4.8 devamı: KIP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.....	79
Tablo 4.9: 1 kangal sucuk üretimi için OTİP'ye etki eden faktörler (kg CFC-11 eşd.).	81
Tablo 4.10: OTİP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.....	83
Tablo 4.10 devamı: OTİP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.	84
Tablo 4.11: 1 kangal sucuk üretimi için İTP'ye etki eden faktörler (kg 1,4-DB eşd.).	86
Tablo 4.12: İTP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.....	87
Tablo 4.13: 1 kangal sucuk üretimi için TSCEP'ye etki eden faktörler (kg 1,4-DB eşd.).	89
Tablo 4.14: TSCEP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.....	90
Tablo 4.15: 1 kangal sucuk üretimi için DCEP'ye etki eden faktörler (kg 1,4-DB eşd.).	92
Tablo 4.16: DCEP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.	94
Tablo 4.17: 1 kangal sucuk üretimi için KCEP'ye etki eden faktörler (kg 1,4-DB eşd.).	96
Tablo 4.18: KCEP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.	97
Tablo 4.19: 1 kangal sucuk üretimi için FOP'ye etki eden faktörler (kg C ₂ H ₄ eşd.).....	99
Tablo 4.20: FOP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.	100
Tablo 4.21: 1 kangal sucuk üretimi için AP'ye etki eden faktörler (kg SO ₂ eşd.).	102
Tablo 4.22: AP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.....	103
Tablo 4.23: 1 kangal sucuk üretimi için ÖP'ye etki eden faktörler (kg PO ₄ eşd.).	105
Tablo 4.24: ÖP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.....	106
Tablo 4.25: 1 kangal sucuk üretim aşamasının MD çevresel etki sonuçları.	107
Tablo 4.26: CML-IA hesaplama metodu MD üretim aşamalarına göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.	109
Tablo 4.27: 1 kangal sucuk üretim aşamasının ES-1 senaryosuna göre çevresel etki sonuçları.	110
Tablo 4.28: CML-IA hesaplama metodu ES-1 üretim aşamalarına göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.	113

Tablo 4.29: 1 kangal sucuk üretim aşamasının ES-2 senaryosuna göre çevresel etki sonuçları.	114
Tablo 4.30: CML-IA hesaplama metodu ES-2 üretim aşamalarına göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.	116
Tablo 4.31: 1 kangal sucuk üretim aşamasının ES-3 senaryosuna göre çevresel etki sonuçları.	117
Tablo 4.32: CML-IA hesaplama metodu ES-3 üretim aşamalarına göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.	119
Tablo 4.33: 1 kangal sucuk üretim aşamasının ES-4 senaryosuna göre çevresel etki sonuçları.	120
Tablo 4.34: CML-IA hesaplama metodu ES-4 üretim aşamalarına göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.	122
Tablo 4.35: 1 kangal sucuk üretim aşamasının ES-5 senaryosuna göre çevresel etki sonuçları.	123
Tablo 4.36: CML-IA hesaplama metodu ES-5 soğutuculara göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.	126
Tablo 4.37: Enerji senaryoları ile MD'ye göre 1 kangal sucuk üretim aşamasının etki kategorilerinde görülen azalma (%).	127
Tablo 4.38: Et entegre tesisi hammadde transferi ve tüketiciye transfer aşamalarına ait TS-1 senaryosuna ve MD'ye ait çevresel etki değerleri.	128
Tablo 4.39: TS-1 senaryosuna göre hammadde transferi ve pazara dağıtım aşamalarında etki kategorilerinde elde edilen değişimler.	129
Tablo 4.40: Et entegre tesisi hammadde transferi aşamasına ait TS-2 senaryosuna ve MD'ye göre çevresel etki değerleri ve yüzde azalmaları.	130
Tablo 4.41: Mevcut durum ve tüm senaryoların et entegre tesisi sucuk üretimi toplam çevresel etki değerleri.	131
Tablo 4.42: Senaryoların dahil edilmesi ile faaliyetin tamamında toplam etkilerde hesaplanan değişimler.	132
Tablo 4.43: Bütünleşik senaryoya göre 1 kangal sucuk üretiminin çevresel etki sonuçları.	137
Tablo 4.44: Bütünleşik senaryo ile sucuk üretimi ile MD sucuk üretiminde toplam etkilerde hesaplanan azalmalar.	138
Tablo 4.45: Enerji senaryoları ile faaliyetin tamamında toplam etkilerde farklı metotlar ile hesaplanan değişimler.	144

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
BOİ	: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
CFC-10	: Tetraklorometan
CFC-11	: Trikloroflorometan
CFC-113	: Triklorotrifloroetan
CFC-114	: 1,2-Diklorotetrafloroetan
CFS_c	: Kloroflorokarbonlar
CH₃Br	: Metilbromid
CH₄	: Metan
C₂H₂	: Asetilen
C₂H₄	: Etilen
C₂H₆	: Etan
C₅H₁₂	: Pentan
C₆H₆	: Benzen
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
Cu	: Bakır
Halon 1211	: Bromoklorodiflorometan
Halon 1301	: Bromotriflorometan
HF	: Hidrojen florür
HFCFs	: Hidrokloroflorokarbonlar
kha	: Küresel hektar
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
kW	: Kilo watt
kWh	: Kilo watt saat
LC₅₀	: %50 Lethal concentration
MJ	: Mega jull
MW	: Mega watt
µg	: Mikrogram

N	: Azot
NH₃	: Amonyak
NH₄	: Amonyum
NMVOC	: Non-Methane volatile organic compound/ Metan olmayan uçucu organik bileşik
NO	: Azotoksit
NO_x	: Azot oksitler
NO₂	: Azotdioksit
NO₂⁻	: Nitrit
NO₃⁻	: Nitrat
N₂O	: Diazotmonoksit
P	: Fosfor
PM	: Partikül madde
PO₄³⁻	: Fosfat
R-40	: Monoklorometan
Sb	: Antimon
SO₂	: Kükürtdioksit
t	: Ton
tkm	: Tonkilometre
v	: Version

Kısaltmalar

Açıklama

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ABS	: Alkil Benzen Sülfonikasit
AP	: Asidifikasyon Potansiyeli
ATP	: Abiyotik Tüketim Potansiyeli
ATP-fosil	: Abiyotik Tüketim Potansiyeli-fosil yakıtlar
BM	: Birleşmiş Milletler
BN	: Bağlı Nem
COWI	: Consulting Engineers and Planners A.S. / Müşavir Mühendisler ve Planlamacılar Anonim Şirketi
DB	: Diklorobenzen
DCEP	: Deniz Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli

EEA	: Eco Efficiency Analysis / Eko Verimlilik Analizi
EPFL	: İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü-Lozan
ES	: Enerji Senaryosu
Eşd.	: Eşdeğeri
FAO	: Food and Agriculture Organization
FOP	: Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli
IPCC	: The Intergovernmental Panel on Climate Change / Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ISO	:International Organization for Standardization / Uluslararası Standardizasyon Örgütü
İTP	: İnsana Toksisite Potansiyeli
KCEP	: Kara Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli
KIP	: Küresel Isınma Potansiyeli
LHV	: Düşük Isıtma Değeri
MD	: Mevcut Durum
ORAN	: Orta Anadolu Kalkınma Ajansı
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
OTİP	: Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli
ÖP	: Ötrofikasyon Potansiyeli
PE	: Polietilen
PS	: Polistiren
RIVM	: Hollanda Ulusal Halk Sağlığı ve Çevre Enstitüsü
TS	: Transfer Senaryosu
TSCEP	: Tatlı Su Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USEPA	: United States Environmental Protection Agency/ Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü
YDA	: Yaşam Döngüsü Analizi

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ET ENTEGRE TESİSLERİNDE ÇEVRESEL ETKİLERİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ
ile DEĞERLENDİRİLMESİ ve SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Nur Seda ŞAHİN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği, Doktora Programı

Danışman : Prof. Dr. Yasemin KAYA

II. Danışman : Prof. Dr. İlda VERGİLİ

Bu tez çalışmasında Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan bir et entegre tesisinin fermente sucuk üretimi kapsamında çevresel etkilerinin ortaya konarak değerlendirilmesi ve tesisin sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesi ölçülmüştür. Fonksiyonel birimi 1 kangal sucuk (0,5 kg) seçilerek yapılan Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)'nin sistem sınırı, canlı hayvan üreticisinden canlı hayvanın dizel yakıtlı araçlarla transferi ile başlamakta olup karkas etlerin tesise taşınması, üretim aşamaları, paketleme ve pazara dağıtım süreçlerini içermektedir. Çalışmada; abiyotik tüketim potansiyeli (ATP), abiyotik tüketim potansiyeli-fosil yakıtlar (ATP-fosil), küresel ısınma potansiyeli (KIP), ozon tabakası incilmesi potansiyeli (OTİP), insana toksisite potansiyeli (İTP), tatlı su canlılarına ekotoksisite potansiyeli (TSCEP), deniz canlılarına ekotoksisite potansiyeli (DCEP), kara canlılarına ekotoksisite potansiyeli (KCEP), fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli (FOP), asidifikasyon potansiyeli (AP) ve ötrofikasyon potansiyeli (ÖP) etki kategorileri, SimaPro yazılımı ve CML-IA hesaplama metodu ile belirlenmiştir. 11 kategorinin 10'unda en yüksek katkıyı hammadde aşaması ve bu aşamadaki hayvan girdisi oluşturmıştır. Sadece ATP-fosil etki kategorisinde en fazla katkıya sebep olan unsur farklı olup, şebeke elektriği kullanılarak 7/24 yapılan soğutma prosesi bunda etkili olmuştur. Çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik 5 adet enerji senaryosu (jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, biyogaz enerjisi ve fotovoltaik güneş panelleri) ve 2 adet transfer senaryosu (Euro-6 araç tipi ve raylı taşıma) oluşturulmuş ve mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda jeotermal enerjinin, yerel enerji kaynağı özelliği taşıması sebebiyle iyi bir alternatif oluşturduğu görülmüştür. Karayolu taşımacılığına alternatif olarak modelleme sonuçları, raylı taşımacılığa yatırımın önemi ortaya koymuştur. Tüm etkenler

birlikte değerlendirildiğinde mevcut tesiste jeotermal enerjinin kullanılması ile sürdürülebilirlik iyileştirilirken, çevresel emisyonları daha düşük olan Euro-6 transfer aracının kullanılması ile çevresel etkilerin azaltılacağı dşnlmştır. |

Mart 2024 , | 197 | sayfa.

Anahtar kelimeler: | evresel etki, Et entegre tesisi, Sürdürülebilirlik, Yaşam döngüsü analizi |



ABSTRACT

Ph.D. THESIS

Environmental Impact Assessment With Life Cycle Analysis in Meat Integrated Plant and Improving Sustainability

Nur Seda ŞAHİN

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Environmental Engineering Programme

Supervisor : Prof. Dr. Yasemin KAYA

Co-Supervisor: Prof. Dr. İlda VERGİLİ

In this thesis study, the environmental impacts of a meat integrated facility located in Afyonkarahisar Organized Industrial Zone within the scope of fermented sausage production were evaluated and the sustainability of the facility was improved. The functional unit for the life cycle analysis (LCA) was 1 pieces of sausage (0,5 kg) produced. Transportation of the live cattle from the livestock producer with diesel fueled vehicles, production stages, packaging and market distribution processes are inside the system boundary. In the study, the impact categories which included abiotic depletion potential (ADP), abiotic depletion potential-fossil fuels (ADP-fuels), global warming potential (GWP), ozone layer depletion potential (ODP), human toxicity potential (HTP), ecotoxicity potential to freshwater organisms (FAETP), ecotoxicity potential to marine organisms (MAETP), ecotoxicity potential to terrestrial organisms (TETP), photochemical oxidant formation potential (PhOP), acidification potential (AP) and eutrophication potential (EP) were evaluated using by SimaPro software and CML-IA method. In 10 of the 11 categories, the raw material stage with the highest contribution and entering the animal at this stage was created. Only the factor that caused the highest contribution in the ATP-fossil impact category was different, and the cooling process carried out 24/7 using grid electricity was effective in this. To reduce environmental impacts, 5 energy scenarios (geothermal energy, wind energy, solar energy, biogas energy and photovoltaic solar panels) and 2 transfer scenarios (Euro-6 vehicle type and rail transportation) were created and compared with the current situation. As a result of the study, it was seen that geothermal energy is a good alternative because it is a local energy source. Modeling results have revealed the importance

of investing in rail transportation as an alternative to road transportation. When all factors are evaluated together, it is thought that sustainability will be improved by using geothermal energy in the existing facility, while environmental impacts will be reduced by using the Euro-6 transfer vehicle, which has lower environmental emissions. |

March 2024, | 197 | pages.

Keywords: | Environmental impact, Integrated meat plant, Sustainability, Life cycle assessment |



1. GİRİŞ

Gıda endüstrisi dünya ekonomisinde önemli yeri olan sektörlerden biri olup, hem ekonomik verimlilik hem de sürdürülebilir kalkınma hedefleri bu sektörün öncelikleri arasındadır (Perez-Martinez ve diğ., 2018). Dünyada en çok tüketilen gıda ürünlerinin başında, yüksek protein miktarı içermesi sebebiyle, et ve et ürünleri gelmektedir. Et entegre tesislerinde sığır, manda ve inek gibi büyükbaş; koyun, keçi gibi küçükbaş hayvanların kesimlerinden elde edilen et ürünleri veya içeriğinde et bulunan sucuk, sosis, salam, kavurma, et konservesi gibi ürünler elde edilmektedir. Bu ürünlerin üretimi ve tüketimi ülkemizde giderek artmaktadır. Türkiye'nin son on yıllık (2013-2022) kırmızı et üretim tahmin verileri incelendiğinde (TÜİK, 2022a) sürekli bir artış gözlenmiştir. Toplam kırmızı et üretiminin 2013 yılında 1 milyon 99 bin 81 ton (t)'dan 2022 yılında 2 milyon 191 bin 625 tona ulaştığı belirtilmiştir. 2022 yılı verilerine göre kırmızı et üretiminin hayvan türlerindeki dağılımında ise en büyük pay %71,8 oranı ile sığır etine ait olmak üzere; %22,3'ü koyun eti, %5,3'ü keçi eti ve %0,6'sını manda eti oluşturmaktadır (TÜİK, 2022b).

Sürekli artan et üretimi aynı zamanda et entegre tesislerinde ve kırmızı et üretim süreçlerinde ortaya çıkan çevresel etkilere de dikkati çekmektedir. Başta çiftlik, tarım ve gübre aşamaları olmak üzere hayvan yetiştiriciliğinden başlayıp, arazi kullanımı, su kullanımı, elektrik ve doğalgaz kullanımından kaynaklı çeşitli çevresel etkiler meydana gelmektedir. Bu tesislerde mevcut üretim sonucunda hayvan besleme, kesim, üretim, dağıtım, kullanım ve atık bertarafına kadar tedarik zincirindeki tüm çevresel emisyonların ve doğal kaynak tüketiminin bir arada değerlendirilmesi; ürünün/prosesin çevresel etkisinin tam olarak ortaya konmasında önemlidir. Çevresel etkilerin azaltılması ve sürdürülebilirliğin sağlanması için yapılacak uygulamaların sonuçları da aynı şekilde ortaya konmalı ve iyileşme ölçülebilmelidir. Sürdürülebilir çevre için enerji üretimi yaşamın en gerekli temel ihtiyaçlarından biri olup, ısınmada, aydınlatmada, taşımacılıkta, sanayide ve özellikle elektrikli aletlerin kullanımında başta olmak üzere geniş bir alana yayılmıştır. Bu durum dünyada enerji ihtiyacının her yıl giderek artmasına yol açmakta ve fosil kaynakların rezervinin hızlı bir şekilde azalmasına neden olmaktadır. Sürdürülebilirliğin sağlanmasında yenilenemeyen enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş önem arz etmektedir.

Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), sürdürülebilirliği ölçmek ve nicel olarak ortaya koymak için geliştirilen tekniklerden biridir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde küçükbaş hayvanlardan (tavuk, domuz gibi) yetiştiricilik, kesim ve et eldesi için YDA çalışmalarının yapıldığı ancak büyükbaş hayvanlar için (inek/dana/manda gibi) YDA çalışmalarının daha az sayıda olduğu görülmekte ve bunların büyük bir kısmı tarım, çiftlik gibi başlangıç aşamalarını kapsamaktadır. Sucuk, pastırma, sosis ve salam gibi hayvansal kaynaklı kırmızı et ürünleri, ülkemizde en fazla üretilen ve tüketilen hayvansal gıda besinlerinin başında gelmektedir. Özellikle sucuk, Türkiye’de gerek üretimi gerekse tüketimi fazla olan işlenmiş et ürünlerinin başında yer almaktadır. Sucuk üretimi ile ilgili bir YDA çalışmasına ise literatürde henüz karşılaşılmamıştır.

Bu tez çalışması, Türkiye’de bir et entegre tesisinde sucuk üretiminin çevresel etkilerinin belirlenmesi üzerine yapılan ilk detaylı çalışmadır. Tez çalışmasında, işlenmiş bir et ürünü olarak 1 kangal sucuğun üretiminin ve pazara dağıtımının çevresel etkileri YDA metodolojisi ile ortaya koymak ve belirlenen çevresel etkileri azaltmak ve sürdürülebilirliği arttırmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda tesisin mevcut üretiminin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinin ardından bu etkilerin azaltılmasına yönelik alternatif senaryolar oluşturularak tesisin çevresel sürdürülebilirliğindeki iyileştirmeler ölçülmüştür.

YDA çalışması, SimaPro yazılım paketinin 9.1.1.7 sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Et entegre tesisinden sucuk üretimi için hammadde girdileri, transfer mesafeleri, üretim aşamasında sisteme enerji, su ve benzeri (vb.) girdilerin akışları belirlenerek 1 senelik veriler (2020) ile envanter bilgisi oluşturulmuş ve SimaPro yazılımında “Ecoinvent 3” ve “Agri-footprint 5” veritabanları kullanılarak modellenmiştir. Etki analizi aşamasında envanter analizi sırasında tanımlanan olası çevresel emisyonların insan sağlığı ve çevresel değerler ve aynı zamanda doğal kaynak tüketimi üzerindeki etkileri CML-IA hesaplama metoduna göre karakterize edilmiştir. Bu aşamada on bir etki kategorisi araştırılmıştır: Abiyotik tüketim potansiyeli (ATP), abiyotik tüketim potansiyeli-fosil yakıtlar (ATP-fosil), küresel ısınma potansiyeli (KIP), ozon tabakasının incilmesi potansiyeli (OTİP), insana toksisite potansiyeli (İTP), tatlı su canlılarına ekotoksisite potansiyeli (TSCEP), deniz canlılarına ekotoksisite potansiyeli (DCEP), kara canlılarına ekotoksisite potansiyeli (KCEP), fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli (FOP), asidifikasyon potansiyeli (AP) ve ötrofikasyon potansiyeli (ÖP).

Bu çalışmanın kapsamı aşağıdaki 4 aşama çerçevesinde yürütülmüştür;

1. Aşama; 1 kangal sucuk (fonksiyonel birim) üretiminin hammadde transferinden pazara dağıtımına kadar olan tüm süreç için mevcut durumda (MD) çevresel etkileri ortaya konmuştur.

2. Aşama; MD çevresel etkilerinin değerlendirilmesi sonucunda, sürdürülebilirliği iyileştirebilmek amacıyla tesis içerisinde sucuk üretiminde yenilenebilir enerjinin kullanılması ve transferlerde alternatif araçların kullanılmasına karar verilmiş ve bu alternatif senaryoların incelenmesi iki adımda gerçekleştirilmiştir:

A- Tesis içerisinde 1 kangal sucuk üretiminde şebeke enerjisine alternatif olarak jeotermal, rüzgar, güneş ve biyogaz enerjilerinin kullanılması durumunda her bir üretim aşaması için çevresel etkiler belirlenmiş ve şebeke elektriği kullanımına (MD'deki) göre etkiler karşılaştırılmıştır.

B- Hammadde transferinde alternatif kara aracının (Euro 6 tipi), raylı taşımının ve ürünün pazara dağıtımında alternatif kara aracının (Euro 6 tipi) kullanılması durumunda bu aşamalar için çevresel etkileri belirlenmiş ve MD'ye göre bu etkiler karşılaştırılmıştır.

3. Aşama; Senaryoların tüm sürece dahil edilmesi ile tüm proste toplam çevresel etkilerde meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir.

4. Aşama; Bu aşamada ise enerji ve transfer senaryolarının birlikte uygulanması ile elde edilen bütünleşik senaryonun mevcut duruma göre çevresel etkilerinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Son olarak, bu çalışmada kullanılan etki analizi metodunun (CML-IA) sonuçlarının sağlamlığını (robustness) kontrol etmek amacıyla mevcut durum ve enerji senaryolarına ait öne çıkan etki kategorileri (ATP-fosil, OTİP, DCEP ve AP), SimaPro programında farklı iki etki değerlendirme metodu (ReCiPe 2016 Midpoint H ve IMPACT 2002+) ile ayrıca değerlendirilmiş ve karşılaştırma yapılmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirlik kavramı yaşamımızın her alanında günden güne artarak karşımıza çıkmaya devam etmektedir. Çevresel açıdan sürdürülebilirlik, insanların ihtiyaç duyduğu gıda, enerji, su vb. doğal kaynakların verimli; bugünün ve geleceğin ihtiyaç duyacağı şekilde idareli kullanılarak aktarımını da sağlamaktır. Sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk kez 1987 yılında yayınlanan Brundtland Raporu ile uluslararası literatürde yerini almış ve yol haritası planı 1992 yılında Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda ortaya konmuştur. Birleşmiş Milletler (BM) sürdürülebilir kalkınma amaçlarını 2000'li yıllarda daha da yoğunlaştırmıştır (Schaefer ve Crane, 2005).

Sürdürülebilir üretim ve tüketimin amacı, “bugünün ihtiyaçlarının karşılanmasına cevap veren ve daha sürdürülebilir bir yaşam kalitesi sunan; aynı zamanda doğal kaynakların ve zehirli etkisi olan maddelerin kullanımını ve yaşam döngüsü boyunca atık, hizmet veya ürünün gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmayacak şekilde kirletici emisyonlarını en aza indiren hizmetlerin ve ilgili ürünlerin kullanılmasını ifade etmektedir (Yıldırım Söylemez ve diğ., 2016).

Türkiye'nin de dahil olduğu BM, 2030 yılına kadar erişilmesini hedefleyerek çevrenin korunması, iklim krizine karşı önlem alınmasını da içeren sürdürülebilir kalkınma hedefleri ortaya koymuştur. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri (SKH) 17 adet olmak üzere şunlardan oluşmaktadır (BM Türkiye):

SKH 1: Yoksulluğa son: 2030'a kadar ulusal tanımlara göre bütün boyutlarıyla yoksulluk içerisinde yaşayan erkek, kadın ve çocuk oranının en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Temel mal ve hizmetler de dahil edilerek herkes için ulusal açıdan uygun sosyal koruma sistemleri ve önlemlerinin hayata geçirilmesi ve 2030'a kadar yoksul ve kırılgan durumdaki kişiler için önemli ölçüde korunma sağlanması da bu hedef içerisinde yer almaktadır.

SKH 2: Açlığa son: 2030'a kadar açlığın sona erdirilmesi amacı başta olmak üzere, sürdürülebilir gıda üretimi sistemlerinin güvence altına alınması ve üretimi ve üretkenliği artıran, ekosistemlerin sürdürülmesine yardımcı olan, iklim değişikliğine, aşırı hava koşullarına, kuraklığa, sellere ve diğer felaketlere uyum sağlama kapasitesini güçlendiren ve

toprak kalitesini devamlı olarak artıran dayanıklı tarım uygulamalarının hayata geçirilmesi hedeflenmektedir.

SKH 3: Sağlık ve kaliteli yaşam: 2030'a kadar küresel anne ölüm oranının her 100.000 doğumda 70'in altına indirilmesi amaçlanarak, sağlıklı ve kaliteli yaşamın her yaşta güvence altına alınması hedeflenmektedir. Yine zararlı kimyasallardan ve hava, su ve toprak kirliliğinden kaynaklanan hastalıkların ve ölümlerin sayısının büyük ölçüde azaltılması da bu hedef içerisinde yer almaktadır.

SKH 4: Nitelikli eğitim: 2030'a kadar bütün kız ve erkek çocuklarının ücretsiz, hakkaniyetli ve kaliteli bir ilköğretim ve ortaöğretimi tamamlamalarının ve böylece ilgili ve etkili öğrenme çıktılarının elde edilmesinin sağlanması hedeflenmektedir.

SKH 5: Toplumsal cinsiyet eşitliği: Toplumsal cinsiyet eşitliğinin ilerletilmesi ve kadınların ve kız çocuklarının her düzeyde güçlenmeleri için sağlam politikaların ve yasal olarak uygulanabilir mevzuatların kabul edilmesi ve güçlendirilmesi hedeflenmektedir.

SKH 6: Temiz su ve sanitasyon: 2030'a kadar herkesin güvenilir ve erişilebilir içme suyuna evrensel ve eşit biçimde erişiminin güvence altına alınması hedeflenmektedir.

SKH 7: Erişilebilir ve temiz enerji: 2030'a kadar uygun fiyatlı, güvenilir ve modern enerji hizmetlerine evrensel erişimin sağlanması hedeflenmektedir.

SKH 8: İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme: İstikrarlı, kapsayıcı ve sürdürülebilir ekonomik büyümeyi, tam ve üretken istihdamı ve herkes için insana yakışır işlerin desteklenmesi hedeflenmektedir.

SKH 9: Sanayi, yenilikçilik ve altyapı: Dayanıklı altyapıların tesis edilmesi, sürdürülebilir sanayileşmenin desteklenmesi ve yenilikçiliğin güçlendirilmesi hedeflenmektedir.

SKH 10: Eşitsizliklerin azaltılması: Ülkeler içinde ve arasında bulunan eşitsizliklerin azaltılması hedeflenmektedir.

SKH 11: Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar: 2030'a kadar herkes için şehirlerin ve insan yerleşimlerinin kapsayıcı, güvenli, dayanıklı ve sürdürülebilir kılınması hedeflenmektedir.

SKH 12: Sorumlu üretim ve tüketim: 2030'a kadar doğal kaynakların sürdürülebilir yönetiminin ve etkin kullanımının sağlanması hedeflenmektedir. Özellikle en az gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan küçük ada devletleri ve karayla çevrili gelişmekte olan ülkelerde, bu ülkelerin destek programları çerçevesinde herkese modern ve sürdürülebilir enerji hizmetleri sunabilmek için altyapının genişletilmesi ve teknolojinin geliştirilmesi de bu hedef içerisinde yer almaktadır.

SKH 13: İklim eylemi: İklim değişikliğini azaltmak amacıyla etkilerinin azaltılması ve farkındalığın oluşturulması; doğal afetlere karşı dayanıklılığın ve uyumun tüm ülkelerde güçlendirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca iklim değişikliğiyle ilgili önlemlerin ulusal politikalara, stratejilere ve planlara entegre edilmesi ele alınmaktadır.

SKH 14: Sudaki yaşam: 2025'e kadar özellikle karasal kökenli faaliyetlerden kaynaklanan su kirliliği de dâhil deniz kirliliğinin tüm biçimlerinin önlenmesi ve önemli ölçüde azaltılması ile okyanusların, denizlerin ve deniz kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanılması hedeflenmektedir.

SKH 15: Karasal yaşam: 2030'a kadar özellikle karasal ekosistemlerin korunması, iyileştirilmesi ve sürdürülebilir kullanımının desteklenmesi; sürdürülebilir orman yönetiminin sağlanması; çölleşme ile mücadele; arazi bozunumunun durdurulması; biyolojik çeşitlilik kaybının engellenmesi hedeflenmektedir.

SKH 16: Barış, adalet ve güçlü kurumlar: Sürdürülebilir kalkınma için barışçıl ve kapsayıcı toplumların tesis edilmesi, herkes için adalete erişimin sağlanması ve her düzeyde etkili, hesap verebilir ve kapsayıcı kurumların oluşturulması hedeflenmektedir.

SKH 17: Amaçlar için ortaklıklar: Uygulama araçlarının güçlendirilmesi ve sürdürülebilir kalkınma için küresel ortaklığın canlandırılması hedeflenmektedir.

Sürdürülebilir kalkınma kavramı üç boyutta ele alınmaktadır (Gedik, 2020). Finansal/ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik olmak üzere aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır:

2.1.1. Ekonomik Sürdürülebilirlik

Ekonomik sürdürülebilirlik; ekonomik açıdan sürdürülebilir bir sistem oluşturularak mal ve hizmet üretilmesi, tarımsal ve endüstriyel üretimde üretimin artırılarak kaynakların verimli kullanılmasıdır. Üretim ve tüketim sonucu oluşan atıkların meydana getirecek, ekonomik kalkınmanın devamlılığını tehlikeye atacak tüm çevresel risklerin ekonomik sürdürülebilirlik bağlamında değerlendirilmesidir. Ekonomik sürdürülebilirlik ile büyüme ve gelişme, kalkınma, üretkenlik ve ekonomide istikrar hedeflenmektedir.

2.1.2. Sosyal Sürdürülebilirlik

İnsan boyutunu ele alan sosyal sürdürülebilirlik perspektifi, toplumun farklı yönlerini ilgilendiren zorlukları ve eylemleri içermektedir. Sağlıkta, eğitimde, insan haklarında, hizmet ve yerleşme uygulamasında toplumsal eşitliğin ve fırsat eşitliğinin sağlanması ile sürdürülebilirliğin sosyal bileşenleri ele alınmaktadır. Sosyal boyutta sürdürülebilir bir toplum

yaşam kalitesi, eşitlik, toplumsal çeşitlilik, demokratik, şeffaf ve hesap verilebilir yönetim ilkelerinin temel dayanağını oluşturmaktadır. Bu çerçevede sosyal eşitlik ve adalet, çeşitlilik ve demokratik katılım ve güçlendirme, geçim güvenliği ve sosyal refah ile yaşam kalitesi ilkeleri benimsenmektedir. Bu bağlamda özetle; kültürel kimlik, ulaşılabilirlik, adalet, istihdam, eşitlik, güvenlik, eğitim, sağlık ve katılım hedeflenmektedir.

2.1.3. Çevresel sürdürülebilirlik

Çevresel sürdürülebilirlik; çevrenin korunması ve doğal yaşamın devamı için doğal kaynakların ekosisteme zarar vermeden kullanılması ile ilgili bir kavramdır. Endüstriyel faaliyetler ve tüketim sonucunda meydana gelecek kirliliğin önüne geçilmemesi durumunda gelecek nesillerin ihtiyaç duyacağı kaynaklar da tehlikeye girecektir. Kalkınmanın devamlılığı için çevresel boyutta sürdürülebilirlik sağlanarak dünyanın destekleyici ekosistemine gereksiz yük getirmeden insan yaşamının kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanarak doğal kaynakları israf etmeden ve gereksiz yere tüketmeyecek şekilde kullanılması sağlanmalıdır. Bu bağlamda özetle; insanlar için sağlıklı çevre, yenilenebilir doğal kaynakların akılcı bir şekilde kullanılması, yenilenemeyen doğal kaynakların korunması, ekosisteme entegre bir yaşam ve taşıma kapasitesi hedeflenmektedir. Hammadde kullanımı, enerji tüketimi, sera gazı emisyonları, atık yönetimi, biyoçeşitlilik ve tedarik zinciri çevresel sürdürülebilirliğin kapsadığı alanlar arasında yer almaktadır. Bu kapsamda SKH 3, SKH 6, SKH 7, SKH 9, SKH 12, SKH 13 ve SKH 14, çevresel sürdürülebilirliğin iyileştirilmesine işaret eden kalkınma hedefleridir.

Hayvancılık sektörünün toprak, su ve enerji gibi doğal kaynaklara olan ihtiyacının artması ve hava, su ve toprak üzerinde önemli ölçüde çevresel etkilere sahip olması nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik üzerinde önemli oranda negatif katkısı söz konusudur. Sektörün etkileri, çevreye verilen çeşitli emisyonların yanı sıra üretim süreçleriyle ilgili kaynakların tüketiminden de kaynaklanmaktadır. Et, hayvanların besinini ete dönüştürmedeki verimsizliği nedeniyle çevresel etkisi en büyük olan gıda ürünlerinden biridir. Et sektörü aynı zamanda gıda endüstrisinde önde gelen kirleticilerdendir. Et üretim zinciri temelde üç çevresel boyutu etkilemektedir. Bunlar: küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli ve ötrofikasyon potansiyeli açısından iklim değişikliği olup; doğal kaynakların tüketimi (başlıca su ve enerji) ve çeşitli atık ve atık su deşarjları ile çevreyi kirlletmektedir (Djekic, 2015). Yakın gelecekte et üretimi ve tüketiminin daha da artacağının öngörülmesiyle, sürdürülebilir tarımın hayvancılık tedarik zinciri içerisinde uygulanması büyük önem taşımaktadır (McAuliffe ve diğ., 2016).

Son yıllarda şirketler, rakipleri arasında üstünlük sağlamak için uygulamalar veya yöntemler geliştirmeyi hedeflemektedir. Bunu başarmanın bir yolu, şirketlerin daha rekabetçi olmasını sağlayan sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunan prosedürlerin benimsenmesidir (Da Luz ve diğ., 2018). Örneğin, daha sürdürülebilir ürünlere doğru bir hareket, sürdürülebilirliğin önemli bir yönünü oluşturmaktadır (Moreno ve diğ., 2011).

2.2. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de çevre ile ilgili konularda toplumsal duyarlılık giderek artmaktadır. Çevreye olan duyarlılık arttıkça endüstriler, ürünlerinin ve üretimde yer alan proseslerinin çevresel etkilerini değerlendirmeye başlamışlardır. Doğal kaynakların tükenmesi, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi konular hem bilim insanlarınca hem de toplumca dikkat çekmeye başlamıştır. YDA, sürdürülebilirliği ölçmek ve kantitatif etkilerini ortaya koymak için kullanılan bir yöntemdir. Ürün veya prosesin tüm yaşam döngüsünü dikkate alarak ürünlerin çevresel performansını ölçmek için bir araç olarak kullanılmaktadır. Hammaddelerin üretilmesinden, gerekirse malzemelerin geri dönüşümü de dahil olmak üzere ürünlerin nihai bertarafına kadar olan tüm süreci ele alarak analiz etmektedir (Schischke ve Spielmann, 2001).

Sistematik ve standart bir teknoloji olarak YDA, bir proses veya ürünün tasarım ve işletme aşamasında çevresel etkilerini belirlemek amacıyla dört adımdan meydana gelmektedir. Bu adımlar; amaç ve kapsam tanımlama, toplanan envanterlerin analizini yapma, çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve sonuçların yorumlanmasıdır (Abyar, 2020).

Çevrenin korunmasının önemi; üretilen veya tüketilen ürünlerle ilişkili olası etkiler konusunda farkındalığın artması, bu etkileri daha iyi anlamak ve ele almak için yöntemlerin geliştirilmesine olan ilgiyi de arttırmıştır. YDA ile ürünlerin yaşam döngülerinin çeşitli noktalarında çevresel performanslarını iyileştirme fırsatları belirlenmektedir. Ayrıca ürün ve süreç tasarımı veya yeniden tasarım amacıyla ölçüm teknikleri de dahil olmak üzere çevresel performansın ilgili göstergelerinin seçimi ve pazarlama (örneğin; bir eko-etiketleme şeması uygulamak, çevresel bir iddiada bulunmak veya çevresel bir ürün beyanı üretmek) konusunda büyük avantaj sağlamaktadır. Çeşitli sektörlerde yapılan çalışmaların farklı yaklaşımlarla oluşturulması, sektörler arasında kopukluk oluşturacağından çalışmalar standardize edilmiştir. Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO), çevre yönetimine bir tür standardizasyon getirmek amacıyla, ISO tarafından oluşturulan iki YDA standardı bulunmaktadır. Bunlar: ISO 14040 ve ISO 14044'tür (Ceylan, 2014).

İşletmelerin ürün ve faaliyetlerinin çevresel performansını iyileştirmek için sürekli faaliyet gösterdiği durumlarda çevresel etkilere ilişkin bilginin varlığı son derece önemsenmektedir. Çevre politikası, sürdürülebilir üretim ve tüketime geçişi amaçlamakta ve bu farklı şekillerde ve farklı düzeylerde gerçekleşmektedir. Beşikten mezara kadar tüm çevresel etkilerin entegre bir şekilde değerlendirilmesi, gelişmiş ürün ve hizmetlere ulaşmaya ilişkin birçok kararın temelini oluşturmaktadır. Bunun için en yaygın kullanılan değerlendirme aracı Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) metodolojisi, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından belirlenen ve sürdürülebilirlik standartlarından olan ISO14040:2006 ile belgelendirilmektedir. Bu uluslararası standart, YDA analizleri ve yaşam döngüsü envanteri çalışmalarının çerçevesini çizmekle birlikte detaylı biçimde YDA yöntemini veya aşamaları için gerekli yöntemleri tanımlamaktadır. YDA'nın en önemli özelliklerinden biri, üreticilerin tasarımdan atıkların bertaraf edilmesine kadar ürünlerinden kaynaklanan tüm etkilerin sorumluluğunu almalarıdır. Bu sebeple sürdürülebilir üretim/tüketim yaklaşımlarında önemli bir yer tutmaktadır. ISO 14040'ta YDA "bir ürün sisteminin yaşam döngüsü boyunca girdilerinin, çıktılarının ve potansiyel çevresel etkilerinin derlenmesi ve değerlendirilmesi" olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla YDA, ürünlerin çevresel yükünün analizi için etkili ve önemli bir araçtır. Yaşam döngüsünün tüm aşamalarında, kaynakların çıkarılmasından, malzemelerin, ürün parçalarının ve ürünün kendisinin üretimine ve ürünün yeniden kullanım, geri dönüşüm veya nihai imha yoluyla atıldıktan sonra kullanılmasına kadar (dolayısıyla aslında 'beşikten mezara') olan süreci kapsamaktadır (Guinée ve diğ., 2001).

YDA ile sadece çevresel etkilerin hesaplanması değil, olası iyileştirme faaliyetlerinin etkinliğinin, senaryo analizi ve performans ölçütleri ile karşılaştırma yöntemleriyle de değerlendirilebilmektedir. YDA amaç ve kapsam belirlenmesi, envanter analizi ve veri toplanması, etki analizi ve bilgiler ışığında analizlerin yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır (Frischknecht ve diğ., 2007).

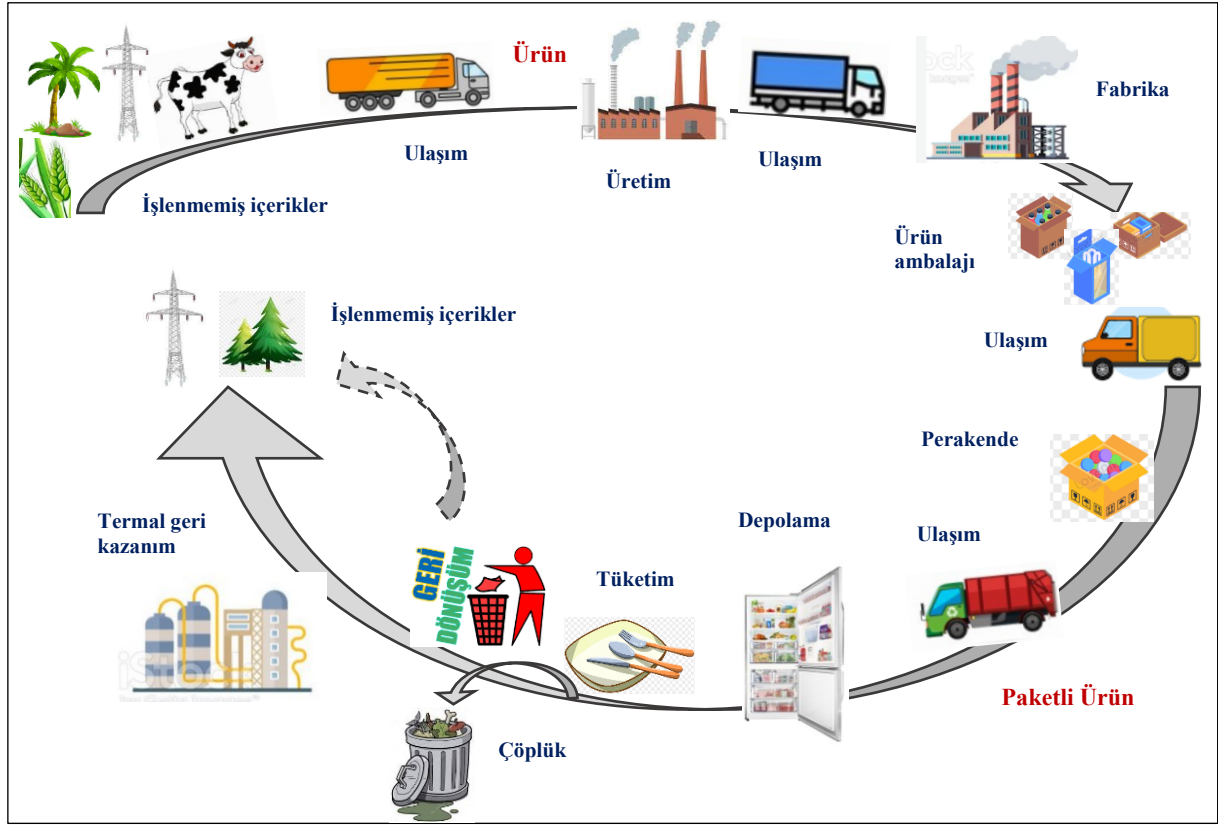
Günümüzde birtakım yazılım programları (SimaPro, Gabi, OpenLCA vb.) aracılığı ile bölge, sektör, şirket veya üretim birimi düzeylerinde YDA yapılması mümkündür.

2.2.1. Yaşam Döngüsü Analizi Yönteminin Aşamaları

YDA bir ürünün (proses/hizmet) oluşumu boyunca üretim, kullanım, kullanım ömrü sonu işleme, geri dönüşüm ve nihai bertaraf yoluyla çevresel boyutları ve potansiyel çevresel etkilerini ele alarak; YDA bu süreçler içerisinde, yaşam döngülerinin çeşitli noktalarında çevresel performanslarını iyileştirme fırsatlarının belirlenmesi, izleme/planlama, öncelikli

hedef belirleme, halihazır ürünün veya sürecin yeniden tasarımı, pazarlaması amacıyla karar verme sürecine yardımcı olmaktadır (ISO 14044).

Şekil 2.1’de tipik bir beşikten mezara yaklaşımı ile ürün/hizmet/proses süreçlerini içeren YDA şeması gösterilmektedir.



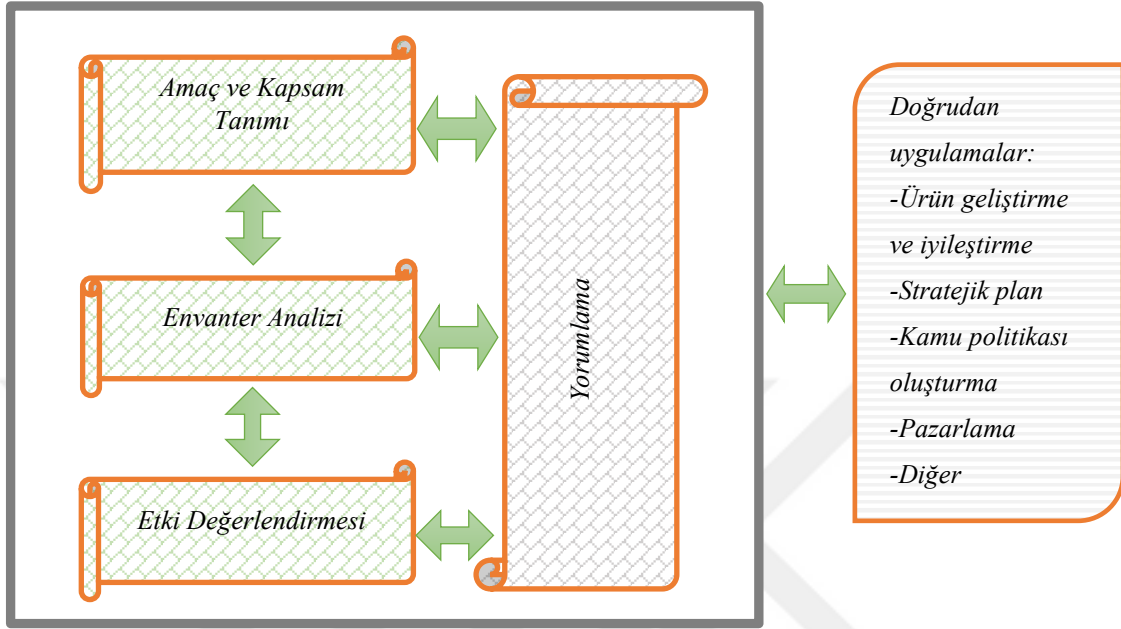
Şekil 2.1: Tipik bir beşikten mezara YDA yaklaşımı.

Matthews ve diğ. (2014)’nin ifadesine göre, “Gerçekte, bizim yaşam sürecimizde kirlilik içermeyen bir dünya elde edilemeyeceğini ancak çevresel problemleri yaşam döngüsü bağlamında düşünerek hedefe ulaşmaya yardımcı olabileceği ve yaşam döngüsünün atık borusunun doğal ortamımızla etkileşime girdiği noktadan daha önceki aşamalarına odaklanan çözümleri belirlenebileceği” belirtilmiştir.

Bir YDA çalışması 4 temel aşamayı barındırmaktadır. Bu aşamalar:

- Çalışmanın amaç ve kapsamının belirlenmesi.
- Hammadde, üretim, enerji, tüm girdi-çıktılar, emisyonlar ve atıklar ile ilgili envanter analizi.
- Tüm elde edilen envanterlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi.
- Çevresel etki değerlendirme ve sonuçların yorumlanması.

Uluslararası Standardizasyon Örgütü'ne göre yaşam döngüsü etki değerlendirmesi çerçevesinin yukarıda tanımlanan dört aşaması Şekil 2.2'de gösterilmektedir (ISO 14040:2006).



Şekil 2.2: YDA'nın temel aşamaları.

YDA'nın amaç ve kapsamın tanımlanması aşamasında ürün/proses veya tüm sürecin veri ihtiyacını karşılamak amacıyla veri toplanması, yaşam döngüsüne ait aşamaları, varsayımları, sistem sınırları ve fonksiyonel birimleri belirlenmektedir. Envanter analizi aşamasında, çalışmanın yer aldığı coğrafi konumu, ulaşım ağı, enerji kaynakları ile ilgili girdi verileri (enerji, su, hammadde vb.) ve proseste kullanılan enerji (örneğin şebeke elektriği, doğalgaz gibi) ile ilgili girdi verileri detaylı bir şekilde belirlenerek; eksik veriler var ise literatür taraması ile tamamlanabilmektedir. Elde edilen tüm bu veriler, fonksiyonel birime dönüştürülerek (örneğin "1 kg ürün" şeklinde) hesaplamaları tamamlanmaktadır.

Çevresel etkilerinin değerlendirilmesi aşamasında, önceki aşamalarda elde edilen envanter verileri kullanılarak yazılım programı ve belirlenen hesaplama metodu yardımıyla etki potansiyelleri ve karakterizasyonu hesaplanmaktadır. Başlıca etki değerlendirme parametreleri şunlardır: Küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyeli, abiyotik tüketim potansiyeli, abiyotik tüketim potansiyeli-fosil yakıtlar, ozon tabakasının incilmesi potansiyeli, insana toksisite potansiyeli, tatlı su canlılarına ekotoksisite potansiyeli, kara canlılarına ekotoksisite potansiyeli, deniz canlılarına ekotoksisite potansiyeli, fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli.

YDA çalışmalarında ürün ya da hizmetler birçok çevresel etki kategorisinde değerlendirilebilmektedir. YDA çalışmalarında karakterizasyon faktörlerine göre en sık karşılaşılan etki kategorileri Tablo 2.1’de gösterilmektedir (USEPA, 2006).

Tablo 2.1: YDA çalışmalarında en sık karşılaşılan etki kategorileri (EPA, 2006).

Etki Kategorisi	YDA Veri Örnekleri (sınıflandırma)	Karakterizasyon Faktörü	Karakterizasyon Faktörünün Açıklaması
Abiyotik kaynakların tükenmesi	Kullanılan mineral miktarı, kullanılan fosil yakıt miktarı.	Kaynak tüketimi potansiyeli.	YDA verisini kullanılan kaynağın miktarına karşın rezervde kalan kaynağın miktarına dönüştürür.
Küresel ısınma	Karbondioksit (CO ₂) , Azotdioksit (NO ₂), Metan (CH ₄), Kloroflorokarbonlar (CFCs), Hidrokloroflorokarbonlar (HFCFs), Metilbromid (CH ₃ Br).	Küresel ısınma potansiyeli.	YDA verisini karbondioksit eşdeğerlerine dönüştürür. Küresel ısınma potansiyelleri 50, 100 veya 500 yıl olabilir.
Stratosferik küresel ozon tüketimi	Kloroflorokarbonlar (CFCs), Hidrokloroflorokarbonlar (HFCFs), Halonlar, Metilbromid (CH ₃ Br).	Ozon tüketimi potansiyeli.	YDA verisini trikloroflorometana (CFC-11) eşdeğerine dönüştürür.
İnsan sağlığı	Havaya, suya ve toprağa yapılan toplam salımlar.	LC ₅₀ *	LC ₅₀ verisini eşdeğerlere dönüştürür; açığa çıkarma ve multimedya modelleme kullanır.
Su zehirliliği	Balıklara olan öldürücü konsantrasyonu raporlanmış zehirli kimyasallar.	LC ₅₀ *	LC ₅₀ verisini eşdeğerlere dönüştürür; açığa çıkarma ve multimedya modelleme kullanır.
Deniz ekosistemine olan zehirli etki	Balıklara olan öldürücü konsantrasyonu raporlanmış zehirli kimyasallar.	LC ₅₀ *	YDA verisini LC ₅₀ eşdeğerine dönüştürür.
Kara ekosistemine olan zehirli etki	Kemirgenlere olan öldürücü derişimi raporlanmış zehirli kimyasallar	LC ₅₀ *	YDA verisini LC ₅₀ eşdeğerine dönüştürür.
Fotokimyasal sis	Metan olmayan hidrokarbon (NMHC)	Fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli	YDA verisini metan eşdeğerine çevirir.
Asidifikasyon	Sülfüroksitler (SO _x), Azotoksitler (NO _x), Hidroklorik asit (HCl), Hidroflorik asit (HF), Amonyak (NH ₄)	Asidifikasyon potansiyeli	YDA verisini hidrojen iyonu eşdeğerine dönüştürür.
Ötrofikasyon	Fosfat (PO ₄ ³⁻), Azotoksit (NO), Azotdioksit (NO ₂), Nitratlar (NO ₃ ⁻), Amonyak (NH ₄).	Ötrofikasyon potansiyeli	YDA verisini fosfat (PO ₄ ³⁻) eşdeğerine dönüştürür.

*LC₅₀ : %50 lethal concentration (öldürücü konsantrasyon)

Sonuçların yorumlanması aşamasında, hesaplama metodu ile elde edilen karakterizasyon değerleri ve potansiyel etkileri, çalışmanın amacına ve kapsamına göre yorumlanmaktadır. Sonuçların belirsizliğini anlamak için önemli girdilerin, çıktıların ve metodolojik seçimler ile hesaplama yöntemlerinin bir değerlendirmesi ve ayrıca duyarlılık kontrolü de yapılabilmektedir (ISO 14044:2006).

2.2.2. Yaşam Döngüsü Analizi’nde Kullanılan Bilgisayar Programları

YDA çalışmalarında, ürün veya sistemin modellemesinde ve modellenen ürün veya sistemin çevresel etkilerinin hesaplanabilmesinde birtakım bilgisayar yazılım paketleri içeren programlar, veri tabanları ve bunların içerisinde yer alan hesaplama metotları kullanılmaktadır. Etki analizi yapabilmek için birçok yazılım türü bulunmaktadır. Bu yazılım programları arasında literatür çalışmalarında en sık rastlanılanları SimaPro, GaBi, Umberto ve OpenLCA’dır. Bunlardan SimaPro ve GaBi, kapalı kaynak kodlu kullanıma ve yüksek lisans fiyatlandırmasına sahip olup genel olarak en yaygın kullanılanlarıdır (Iswara ve diğ., 2020).

Çevresel etki kategorilerinin karakterizasyon değerlerinin hesaplanmasında ise sıkça kullanılan hesaplama yöntemlerinden başlıcaları ise şunlardır: CML, Eco-indicator 99, BRE Ecopoints, IMPACT+ 2002, ReCiPe 2016 Midpoint, TRACI ve LUCAS’tır (Budavari ve diğ., 2011).

2.3. ET ENTEGRE TESİSLERİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

2.3.1. Et Entegre Tesisleri

Dünya nüfusunun sürekli artması, gıda zincirlerinin ve sistemlerinin küreselleşmesi, ticaretin serbestleşmesi, beslenme ihtiyaçları ve tüketicilerin hayvansal protein içeriği yüksek gıdaları tercih etmesi ve bunun yanında kentleşme gibi faktörler, et tüketimindeki artışa neden olan başlıca sebeplerdir. Yakın gelecekte et üretimi ve tüketiminin daha da artacağıının öngörülmesi dikkate alındığında, sürdürülebilir tarımın hayvancılık tedarik zinciri içerisinde uygulanması büyük önem taşımaktadır (McAuliffe ve diğ., 2016).

Hayvansal ürünlerden elde edilen gıdalar, tüketiciler açısından gıda ürünleri içerisinde önemli bir paya sahiptir. Türkiye’de artan nüfus ve yükselen sosyo-ekonomik refah düzeyi hayvansal ürünlere olan talebi her geçen gün artırmaktadır. Türkiye’de kırmızı etin tamamı büyükbaş ve küçükbaş hayvanlardan sağlanmakla birlikte mevcut talebin %88’i sığır etinden karşılanmaktadır (Akın, 2020).

TÜİK 2021 yılı verilerine göre, ülkemizde kırmızı et üretimi 2020 yılında 1 milyon 785 bin 952 ton iken 2021 yılında bir önceki yıla göre %9,3 oranında artış göstererek 1.952.038 tona yükselmiştir. Sığır eti üretimi ise bir önceki yıla oranla %8,9 oranında artış göstererek 1.460.719 ton; koyun eti üretimi %11,7 artış oranı ile 385.933 ton, keçi eti üretimi %4,5 artış oranı ile 94.555 ton; manda eti üretimi %28,6 artış oranı ile 10.831 ton olarak açıklanmıştır (TÜİK, 2022b).

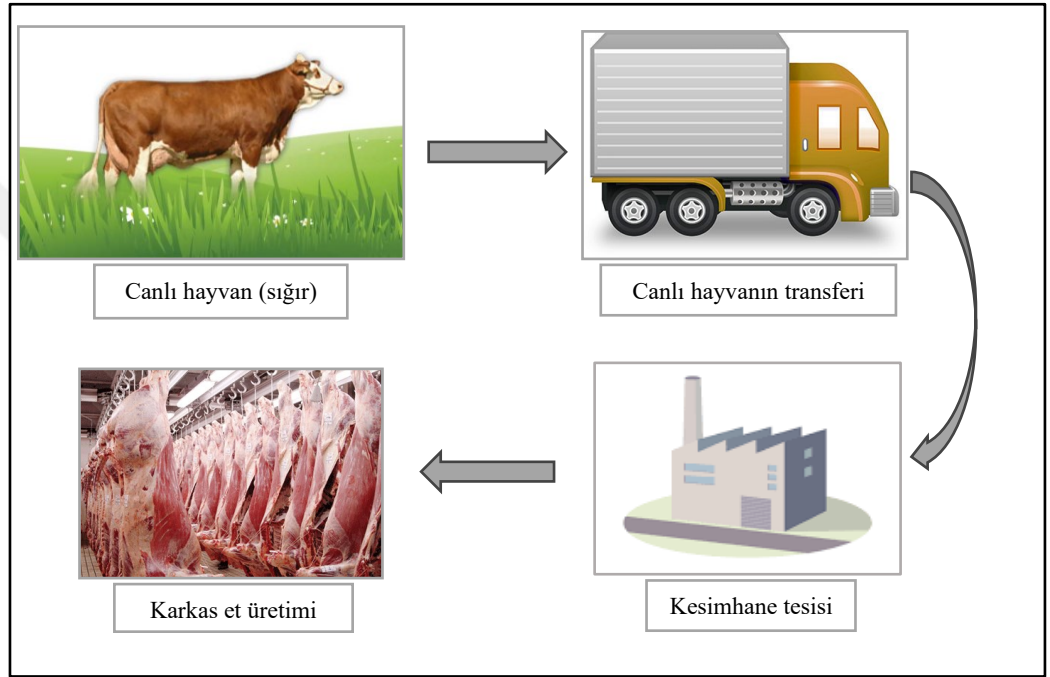
Et ürünlerinin üretimi, Kalkınma Bakanlığı'nın sektör sınıflandırmasında 'İmalat Sanayi Gıda Sektörü' içerisinde 'Mezbaha Ürünleri Sanayi' alt bölümü ile kategorize edilmiştir. Et entegre tesislerinde, et kombinalarında, kesimhanelerde veya şarküteri üretim yerlerinde manda, sığır gibi büyükbaş hayvanların kesimi sonucu tamamı et içeren ürünler veya işlenmiş et ürünleri (sucuk, salam, sosis, kavurma, konserve et gibi) elde edilmektedir. Hayvanın kesiminden elde edilen ürünler üç ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar işlenmemiş et ürünleri, işlenmiş et ürünleri ve yan ürünlerdir. Kuşbaşı, biftek, kıyma, pirzola, rosto vb. parça etler işlenmemiş et ürünleri grubunda ve karkas etler de işlenmemiş et ürünleri kategorisinde yer almaktadır. Pastırma, sucuk, füme etler ise işlenmiş et ürünleri grubunda yer almaktadır. Kesimi yapılan hayvanın baş, deri, bacaklar, kuyruk ve tüm iç organları (yağ ve böbrek haricinde) çıktıktan sonra kalan kısmı "karkas" olarak isimlendirilmektedir. Karkastan ayrılan deri, bağırsak, böbrek gibi bölümler ise "yan ürünler" grubunda yer almaktadır (ORAN, 2020).

2.3.2. Kırmızı Et Üretim Süreci

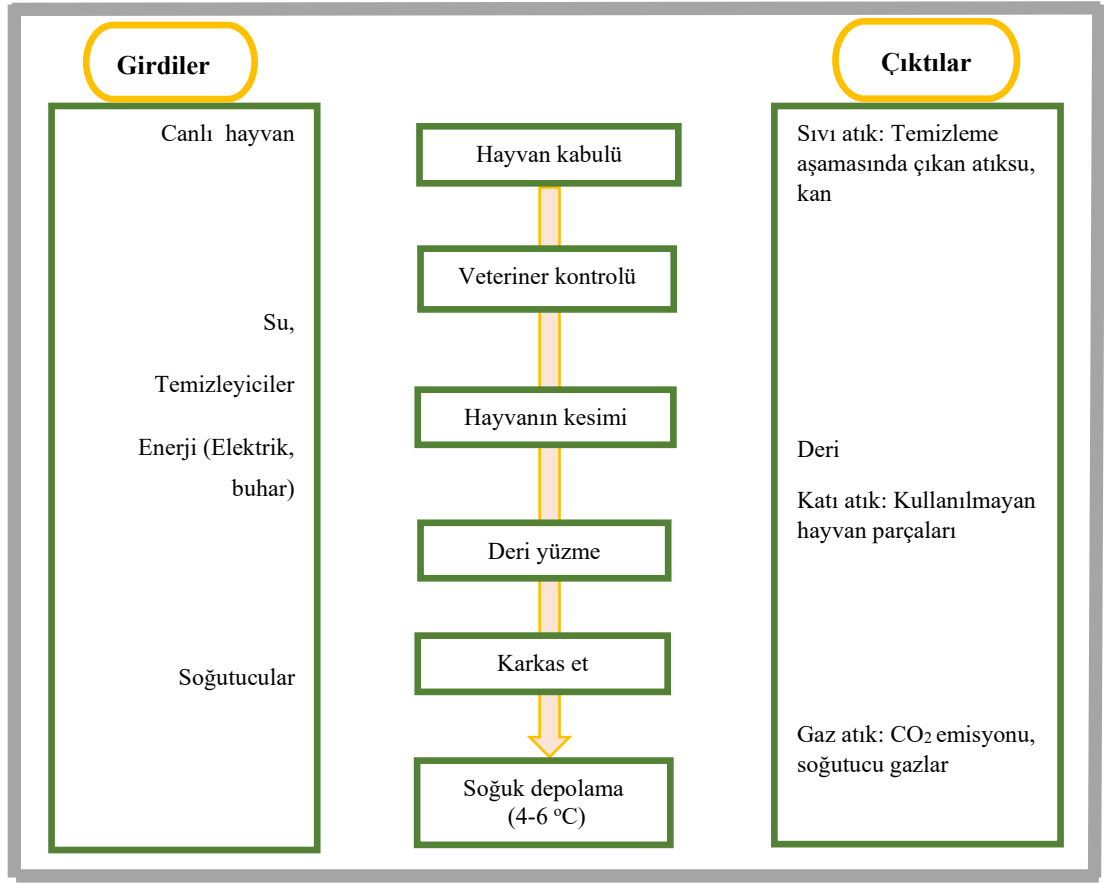
Hayvancılık sektörü gıda ürünlerinin başında gelen kırmızı et, başta proteinler olmak üzere aminoasitler, yağ ve yağ asitleri, mineraller ve vitaminler içermekte olup eser miktarda da karbonhidrat içeren bir besindir. Besin değerinin yüksek olması sebebiyle dünyada hem tüketiminin hem de üretim pazarının sürekli artmasına neden olmaktadır. Kırmızı et üretim sürecinin başlangıç noktası buzağı yetiştirilmesi olup bu süreç, tarım ve çiftlik aşamalarını kapsamaktadır. Yaşam döngüsü çalışmalarında başlangıç noktası kabul edilen bu aşamaya "beşik" adı verilmektedir. Kırmızı et üretimi için yetiştirilmiş kesime hazır canlı hayvanın kesimhaneye alınması ile et üretim süreci başlamaktadır. Kesimhaneye alınan hayvan, veteriner kontrolünden geçirildikten sonra kesim işlemine başlanmaktadır. Kesimi yapılan hayvanın derisi yüzüldükten sonra kafa, bacak, kemik ve sinirlerinden ayrılarak karkas haline getirilmektedir. Kullanılmayan hayvan parçaları atık olarak ayrılmaktadır. Kemikler ve yağlar ise rendering tesislerine gönderilmektedir. Ardından et üretimi için ayrılan karkaslar, soğuk

depolama alanlarına alınarak et üretimine hazır hale getirilmek amacıyla dinlendirilmektedir. Kırmızı et üretim sürecine ait görsel Şekil 2.3'te verilmektedir.

Kırmızı et üretim süreci genel hatlarıyla ele alındığında, canlı hayvan girdisi başta olmak üzere, su, temizleyiciler, enerji ve soğutuculardan oluşmaktadır. Hayvan kesimi ve temizlik aşamasında sıvı atık, deri, katı atık (kullanılmayan hayvan atıkları) ve gaz atıklar, ürünün çıktıları oluşturur. Girdi ve çıktıları da içeren kırmızı et üretim sürecine ait akış şeması Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Kırmızı et üretim sürecine ait görsel.



Şekil 2.4: Kırmızı et üretim ve akış şeması (COWI, 2000).

2.3.3. Sucuk Üretim Süreci

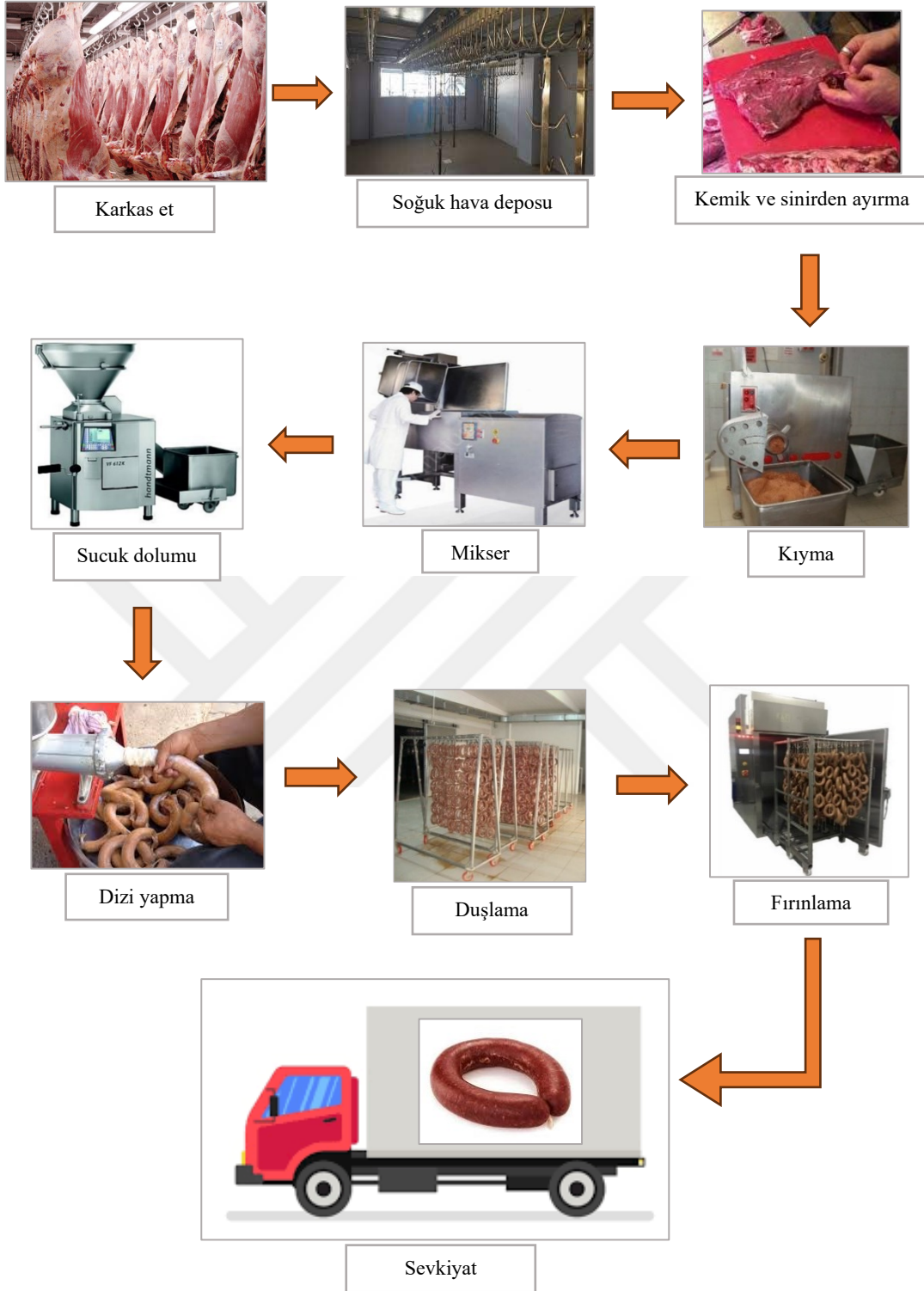
Ülkenin beslenme alışkanlıkları dikkate alındığında et endüstrisi ve et ürünleri başta olmak üzere bunun içerisinde Türk sucuğu büyük paya sahiptir. Türk sucuğu adı ile Türklere özgü bir et ürünü olması özelliği ile geleneksel bir gıda ürünümüz olarak genellikle orta ve küçük ölçekli işletmelerde fermente sucuk olarak üretimi yapılmaktadır. Türk tipi sucuğun üretiminde genellikle genç danaların sırt yağı, koyun kuyruk yağı ve iç yağlar kullanılmaktadır. Sucuğun en önemli bileşenleri başta içeriğinde et ve yağ haricinde kimyon, karabiber, kırmızıbiber ve sarımsak bulunmaktadır. Orta Çağdan beri farklı şekillerde yapıldığı bilinen sucuğun yapımında sakatat kullanılmamaktadır ve içeriğinde etin dışında yağ, tuz ve çeşitli baharatlar yer almaktadır (Öztaş, 2010).

Çalışmada örnek tesis olarak seçilen Afyon sucuğu; Afyonkarahisar Ticaret ve Sanayi Odasının 31 Aralık 2003 tarihinde başvurusu yapılarak Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından 2 Ağustos 2005 tarihinde tescillenmiş ve coğrafi işaret almıştır (Türk Patent, 2021; Kart, 2022).

Coğrafi işaretler ve tescillendirme ile; yöresel veya geleneksel özelliklere sahip ürünlerin teşviki, üretimin çeşitlendirilerek yerel ve kırsal ekonomilerin güçlendirilmesini desteklemek amacıyla; her türlü ürünün coğrafi işaret veya geleneksel özellikli ürün ismiyle korunmasına ilişkin kuralların ve şartların belirlenmesi amaçlanmıştır (Arıkan, 2017).

Afyonkarahisar'ın coğrafi konumu ve özellikleri, rakımı, karasal iklimi, doğal kaynak suları, sahip olduğu mera ve otlaklar, hayvanların daha çok doğal otlak ve yaylalarda kekik gibi otları yiyerek beslenmeleri, besiye çekildiklerinde özellikle Afyon'a özgü haşhaş küspesi ile beslenmeleri, Afyon etine ayrı bir lezzet vererek bu lezzetin de sucuğa yansıtıldığı ifade edilmektedir. Dana ve sığır etinin yanında sucuğa lezzet ve damak tadı bırakmak için belli bir oranda manda eti karıştırılmaktadır. Manda etli karışımı ile Afyon sucuğu, benzerlerinden hem kalite hem de lezzet bakımından ayırt edilmektedir (Güler, 2023).

Geleneksel olarak üretilen ve ısıtılmış işlem görmüş olmak üzere sucuğun iki tip üretimi yapılmaktadır. Fermente sucuk eldesinde, üretim sürecinin uzun sürmesi ve mikrobiyal açıdan risk oluşturması nedeniyle özellikle son yıllarda ısıtılmış işlem görmüş sucuk üretimine başlanmıştır. Gerek artan gıda talebini karşılamak gerekse ürünün saklama koşullarını muhafaza etmek için ısıtılmış işlem, sterilizasyon ve pastörizasyon gibi işlemler uygulanarak elde edilen ikinci tip sucuk üretimidir. Hızlı üretim sağlanması, depolama süresinin kısalması, ekonomik olması ve belli bir standartta ürün elde edilmesi gibi sebeplerle ısıtılmış işlem görmüş sucuk eldesi daha avantajlı görünse de ülkemizin özellikle sucuğu ile öne çıkmış illerinde (Afyonkarahisar, Kayseri gibi) geleneksel yöntemle sucuk üretimi yapan işletmelerin sayısı azımsanmayacak düzeydedir (Kurt, 2012; Öven, 2017; Boyraz, 2019). Fermente sucuk üretim sürecine ait görsel Şekil 2.5'te verilmektedir.

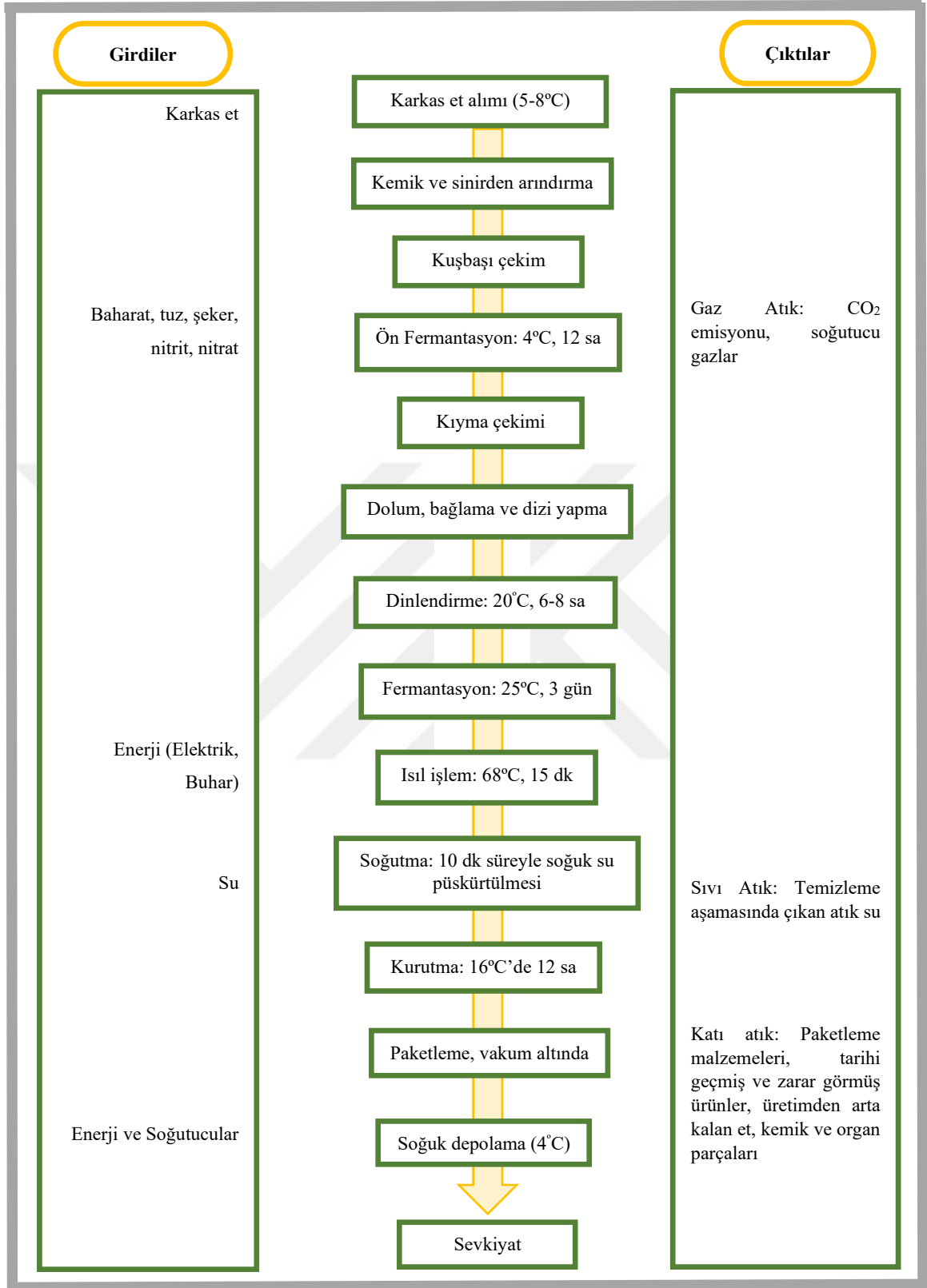


Şekil 2.5: Fermente sucuk üretim sürecine ait görsel.

Fermente sucuk üretiminde; kesimhaneden alınan karkas etler önce parçalanarak kemik, sinir ve kaba yağlarından ayrıştırılır ve soğuk hava depolarında $\pm 4^{\circ}\text{C}$ 'de beklemeye alınır. Bu şekilde soğutulan veya dondurulan etler çözünmeye fırsat bırakmadan kuşbaşı ve kıyma şeklinde parçalara ayrılarak kıyma makinesine gönderilir. Çözünmeyi beklemeden kıyma

aşamasına geçilmesindeki amaç, mikrobiyal faaliyetlerin meydana gelmesini önlemek ve etin çözünen suyla birlikte bir miktar da besin öğelerinin kaybolması ihtimalini azaltmaktır. İnce kıyma boyutuna getirilen etler mikserde baharatlar ve tuz karışımı ile sucuk hamuru haline getirilir ve tekrar soğuk hava deposunda (0°C/4°C) bir gün bekletilir. Soğuk hava deposundan çıkarılan sucuk hamurunun bağırsaklara dolumu, dolum makinesinde tesis çalışanlarının da işlevi ile gerçekleştirilir. Bu işlemin ardından tekrar buzhanede -12°C'de bir gün bekletilir ve ardından ortam sıcaklığında iki gün fermenteye bırakılır. Fermente aşamasından sonra sucuklar 60°C ısıda 3 saat boyunca fırınlanır. Fırından çıkarıldıktan sonra bir süre duşlama aşamasına geçilir. Duşlama işleminin ardından sucuklar, mevsim şartlarına göre 3 ila 7 gün arasında askılara alınarak kurumaya bırakılır. Sucuklar kuruduktan sonra etiketlenerek satışa uygun hale getirilir. Bu şekilde geleneksel yöntem ile fermente sucuğun üretimi gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Isıl işlem görmüş sucuk üretim süreci ise; hayvan üreticisinden karkas et alımı ile başlamaktadır. İlk olarak 5-8°C'lik depolarda soğutulduktan sonra dinlendirilen karkas et, kemik ve sinirlerinden arındırıldıktan sonra çekilerek kuşbaşı haline getirilir. Baharat, tuz, şeker, NO₂⁻, NO₃⁻ ve/veya starter kültürü ilave edilerek 12 saat boyunca 4°C'de ön fermentasyona tâbi tutulur. Ardından sırasıyla kıyma makinesinde çekilerek sucuk hamuru haline getirilen ve karıştırılan et, dolum makinelerinde sentetik kolajen kılıflara doldurulup uçları bağlanarak kangal veya dizi haline getirilir. Elde edilen sucuk kangalları çelik askılara asılarak 20°C'de ve %70 bağıl nem (BN) koşullarında 6-8 saat boyunca dinlendirilir. Daha sonra 25°C'de ve %85-90 BN'de 3 gün fermente edilen sucuk 68°C'de 15 dakika boyunca ısıtılma işlemine tâbi tutulur. Hemen ardından 10 dakika süreyle soğuk su püskürtülmek suretiyle oda sıcaklığına düşürülen sucuk, 16°C'de 12 saat süresince kurutulur. Son olarak vakum altında paketlenerek 4°C'deki depolarda tutulan sucuk, tüketiciye ulaşmak üzere sevk edilerek sucuk üretimi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Şekil 2.6'da sucuk üretim süreci akış şeması verilmiştir (Dalmış, 2007; Akpulat ve diğ., 2016).



Şekil 2.6: Sucuk üretim süreci akış şeması.

2.3.4. Çevresel Etkileri

Hayvancılık sektörü toprak, su ve enerji gibi doğal kaynaklara ihtiyacı fazla olan; hava, su ve toprak üzerinde ciddi kirletici emisyonlarından sorumlu olan bir sektördür (Djekic, 2015). Skunca ve diğ. (2016), et üretiminin her yıl atmosfere 4,6 ila 7,1 gigaton sera gazı arasında katkıda bulunduğunu ve bu da sera gazı emisyonlarının %15 ila %24'ünü temsil ettiğini belirtmişlerdir.

Kesim ve et işleme gibi üretim süreçleri, çevreye verilen emisyonlardan veya enerji ve su gibi kaynakların tüketiminden kaynaklanan çevresel etkilere neden olmaktadır. Özellikle et, hayvanların yemi ete dönüştürmedeki verimsizliği nedeniyle diğer gıda ürünlerine kıyasla en büyük çevresel etkiye sahiptir (Djekic ve Tomasevic, 2016).

Et entegre tesislerinde ise hayvan besleme, kesim, üretim, dağıtım, kullanım ve bertarafına kadar tedarik zincirindeki tüm çevresel emisyonların bir arada değerlendirilmesi ürünün veya prosesin çevresel etkisinin ortaya konmasını sağlamada son derece önemlidir.

Et entegre tesislerinin işletme aşamasında da çeşitli çevresel etkileri vardır. En önemli etkileri hava kirliliği (ulaşım, ısıtma ve soğutma sistemleri), su kirliliği (organik içeriği yüksek atık su), gürültü (nakliyat, tesis ekipmanları, havalandırma ve soğutma sistemleri) ve kokudur (atık ve organik madde). Kesimhaneleri bulunan et tesisleri, et işleme tesisleri ile karşılaştırıldığında nakil ve koku sebebiyle daha büyük çevresel etkilere sahiptir. Et ürünleri tesislerinin proseslerinde daha fazla kimyasal ve paketleme malzemesi kullanılmaktadır. Gürültü, su ve enerji tüketimi her iki tesis için de önemli çevresel etkiler oluşturmaktadır (Akpulat ve diğ., 2016).

Et sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir; çünkü et ürünleri enerji açısından en yoğun ve ekolojik olarak külfetli gıdalar arasında yerini almaktadır (Dagevos, 2013).

Farklı etler ve farklı üretim sistemlerinin sağlık, iklim ve diğer çevresel etkileri de farklıdır. Örneğin kuzu eti, sığır eti, domuz eti ve peynir üretiminden kaynaklanan kalori başına sera gazı salınımı ve yüksek sera gazı salınım kaynaklarını oluşturmaktadır. Sığır eti, tüketilen kilo başına CO₂ üreten en yüksek ikinci emisyonu sahip et ürünüdür. Bu etki miktarı, domuz eti emisyonunun iki katından fazla; tavuk etinden yaklaşık dört kat ve fasulye, mercimek gibi bitkisel proteinlerin emisyonunun ise 13 katından fazla olduğu belirtilmiştir (Kadioğlu ve Söylemez Kaya, 2022).

Hayvancılık sektöründe gıda tedarik zincirleri ise küresel sera gazı emisyonlarının %14,5'ini oluşturmaktadır (FAO, 2019).

Literatür çalışmaları incelendiğinde, özellikle sığır üretim çiftlikleri aşamalarından kaynaklı çevresel etkilerin daha yoğun olduğu dikkat çekmektedir.

Opio ve diğ. (2013), geviş getiren hayvan kategorisinin tedarik zincirlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları üzerine küresel bir yaşam döngüsü analizi yapmışlardır. Bu çalışma, hayvansal gıda zincirleriyle ilişkili üç ana sera gazının CH₄, N₂O ve CO₂ yanı sıra soğutucu akışkanlarla ilgili sera gazlarının emisyonlarına odaklanmaktadır. Sığır eti için genel emisyon profiline bakıldığında, otlatma sırasında merada biriken gübreden gelen yemle ilgili enterik CH₄ ve N₂O emisyonların hakim olduğu gözlenmiştir. Enterik CH₄, tüm sistemlerde en büyük emisyon kaynağı olduğu saptanmıştır. Yem üretiminden kaynaklanan azot oksit emisyonları, otlatma sırasında mera üzerinde biriken gübreden kaynaklanan hem kurak hem de nemli bölgelerde baskın iken, karma sistemlerde yüksek N₂O emisyonları sadece gübre birikimi ile değil aynı zamanda yem üretiminde sentetik gübre kullanımı ile de ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Houshyar ve diğ. (2023), hayvancılık ürünleri ve bunların üretim süreçlerinin sürdürülebilirliği, gıda güvenliği, katma değer, istihdam yaratma ve ilgili endüstrilerin büyümesinde önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Bu nedenle hayvancılık tedarik zincirinde sürdürülebilirliğin karşılaştırılması üzerine yaptıkları çalışmanın sonucunda sığır eti üretiminin, kuzu eti üretimine göre daha fazla çevresel etkisi bulunduğunu belirtmişlerdir. Hayvancılık sektörünün insan beslenmesi ile doğrudan ilgili olduğunu ve buna yönelik önümüzdeki yıllarda sınırlamalarla karşı karşıya kalınacağını öngörüsünde bulunmuşlardır. Modern sanayi birimlerinin geliştirilmesi, hayvancılık tedarik zincirinde hükümetin ilgili politika oluşturma rolünün artırılması, hayvancılık birimlerinin performansının doğrudan izlenmesi ve et tüketimini azaltmaya yönelik reklam yapılması gibi pratik çözümler önerilmektedir.

2.4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Et ve et ürünleri üretimi ile ilgili YDA çalışmaları için Science Direct, Scopus, Google Scholar vb. aracılığıyla yayınlanan bilimsel makaleler incelenerek bir literatür taraması yapılmıştır. YDA çalışmalarının çoğunluğu sadece çiftlik kapısına kadar olan üretim aşamalarını kapsam dahilinde değerlendirmiş; işleme, perakende veya sofralarda tüketim gibi sonraki aşamaları hariç tuttuğu gözlemlenmiştir.

YDA metodolojisi kullanılarak yapılan bazı çalışmalar benzer analiz yöntemleri, hesaplama metotları kullansa da, fonksiyonel birim tanımı, tahsis yöntemleri ve süreçlerin

karakterizasyonu ile ilgili çeşitli farklılıklar bulunmaktadır. Bazı çalışmaların “beşikten mezara yaklaşımını” izlemesi, diğer çalışmaların ise “beşikten kapıya yaklaşımını” benimsemesi de bu farklılıkların içerisinde yer almaktadır. Tüm bu farklılık oluşturan etkenler, et üretiminde çevresel etkilerin sonuçlarını karşılaştırmanın zor olduğunun göstergesidir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, YDA birçok sektörde olduğu gibi özellikle son yıllarda gıda sektöründe de tavuk eti, domuz eti ve konserve et ürünlerinin yaşam döngüsü ile çevresel etkilerinin değerlendirilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat hem dünyada hem de ülkemizde büyükbaş hayvancılık (inek, dana ve manda gibi) tesislerinin YDA çalışmalarına az rastlanmaktadır. Bu yönüyle YDA'nın yapılacak bölgeye ve kullanılacak yöntemlere göre spesifik çalışma olacağı öngörülmektedir.

Domuz eti, kanatlı et (kümes hayvanları) ve sığır eti, Avrupa'da işlenen başlıca et türleridir. Tavuk üretimi, dünya nüfusunun hızla artması, kanatlı etlerin yüksek protein içermesi, B vitaminince zengin olması ve mineral içeriği ile en popüler gıda ürünlerinin başında gelmektedir (Lopez-Andres ve diğ., 2018).

Sığır eti üretimi ise, toplam 7,3 milyon ton (%17); koyun ve keçilerden elde edilen et ile birlikte 0,8 milyon ton; yani tüm etlerin yaklaşık %2'sini oluşturmuştur. Domuz eti, toplam AB tarımsal üretiminin %9'unu temsil etmektedir. AB domuz eti sektörü, diğer et sektörlerine kıyasla en büyük et işleme payına sahiptir. Toplamda, AB tarafından işlenmiş et üretim hacminin yaklaşık %70'i domuz etinden oluşmaktadır (Santonja ve diğ., 2019).

2.4.1. Literatürde Yer Alan YDA Çalışmaları

Hayvancılık ve et üretimi zincirinin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini değerlendirmek ve karşılaştırmak için YDA bilimsel bir metodoloji olarak kullanılmaktadır (Tsutsumi ve diğ., 2018). Dünyada et ve et ürünleri sektörü ile ilgili çok sayıda YDA çalışmaları bulunmaktadır. Fakat ülkemizin et sektörü ile ilgili olarak sadece bir tane uluslararası literatürde yer alan YDA çalışmasına rastlanılmıştır. Bu çalışmada Geß ve diğ. (2022), Avrupa ülkelerindeki (Almanya, İtalya, Portekiz, Slovenya, İspanya ve Türkiye) koyun eti üretiminin yaşam döngüsü boyunca çevresel etki ve maliyetlerini araştırmışlardır.

Bu bölümde çevresel etkilerin daha iyi anlaşılması adına literatürde et ve et ürünleri ile alternatif et ürünlerinden oluşan yapay et üzerine yapılan bazı YDA çalışmaları, incelenmek amacıyla aşağıdaki gibi kategorize edilmiştir:

- Domuz eti ürünleri
- Tavuk eti ürünleri

- Sığır eti ürünleri
- Yapay et ürünleri

Aşağıda literatürde yer alan 4 başlık altında kategorize edilmiş YDA üzerine yapılan bazı çalışmalar özetlenmektedir.

2.4.2. Domuz Eti Ürünleri

Literatür incelemesinde domuz eti üretiminin çevresel etkilerini belirlemek amacıyla yapılmış 12 adet YDA çalışması Tablo 2.2’de verilmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 2.2: Literatürden seçilen domuz eti ürünleri ile ilgili YDA çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Yazılım Paketi	Hesaplama Metodu	Coğrafi Bölge	Kaynak
➤ 1 kg domuz karkası	SimaPro v9.0	ReCiPe 2016 Midpoint	Güney Afrika	Qalase ve Harding. (2022)
➤ 1 kg domuz karkası	OpenLCA v1.8	ReCiPE Midpoint	Meksika	Villavicencio-Gutiérrez ve diğ. (2022)
➤ 1 kg domuz eti	SimaPro v9.0	EF 3.0	İtalya	Ferronato ve diğ. (2021)
➤ 1 kg canlı hayvan-domuz	SimaPro	USEtox	Danimarka	Dorca-Preda ve diğ. (2021)
➤ 1 kg domuz karkası				
➤ 1 kg domuz eti				
➤ 1000 kg domuz eti	OpenLCA v1.10.2	ReCiPe 2016 Midpoint	İsveç	Zira ve diğ. (2021)
➤ 50 kg domuz eti	OpenLCA v1.3.0	ReCiPe	Küba	Reyes ve diğ. (2019)
➤ 220 g domuz konservesi	SimaPro v8.2	ReCiPe Midpoint	İspanya	Perez-Martinez ve diğ. (2018)
➤ 430 g bezelye ile köfte konservesi				
➤ 1 kg domuz eti	SimaPro v8.2	ReCiPe Midpoint	İspanya	Noya ve diğ. (2017)
➤ 1 kg taze domuz karkası	MS Excel	SALCA	Avusturya	Winkler ve diğ. (2016)
➤ 1 kg domuz eti	Microsoft Office Pack 2007	©CcaLC, 2013	Sırbistan	Djekic ve diğ. (2015)
➤ 1 kg domuz kesim ağırlığı	SimaPro v7.3.3	CML 2 Baseline 2000	Almanya	Reckmann ve diğ. (2013)
➤ 1 kg canlı ağırlık domuz	GaBi, 2006	CML 2001	Güney Afrika	Devers ve diğ. (2012)

Qalase ve Harding (2022) tarafından Güney Afrika bölgesinde yapılan bir çalışmada 1 kg domuz karkası için çevresel etkiler YDA ile belirlenmiştir. Çalışmada “beşikten-mezbaha kapısına yaklaşımı” benimsenmiş ve domuz eti üretim sistemindeki yem aşamasının en yüksek

çevresel etkilerden sorumlu olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca domuz eti üretiminde doğal kaynakların yoğun kullanımının söz konusu olduğu ve Güney Afrika'da kullanılan elektrik enerjisinin çoğunun kömürden üretilmesinin çevresel etkilere önemli bir katkı sağladığını belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda domuz tedarik zincirinden meydana gelen atıkların değerlendirilerek bölgede biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulması önerilmiştir. SimaPro v9.0 yazılımı ve ReCiPe 2016 Midpoint hesaplama metodu kullanılarak yapılan çalışmada çevresel etki kategorileri; KIP: 4,03 kg CO₂ eşd., AP: 0,16 g SO₂ eşd., ÖP: 4,55E-03 kg N eşd., ATP-fosil: 36,5 MJ, OTİP: 2,73E-05 kg CFC-11 eşd., TSCEP: 1,75E-02 kg 1,4 DB eşd., DCEP: 1,27E-02 kg 1,4 DB eşd. ve KCEP: 6,56 kg 1,4 DB eşd. olarak elde edilmiştir.

Villavicencio-Gutiérrez ve diğ. (2022) tarafından yapılan çalışmada Meksika'da domuz eti üretimi için oluşturulan senaryoların çevresel performansı YDA ile ortaya konulmuştur. Yem üretiminin, genel etkinin çoğundan sorumlu olduğunu; hayvansal üretimin ise altı etki kategorisinde (partikül madde oluşumu, asidifikasyon potansiyeli, metal tüketimi, iyonize radyasyon, fosil yakıt tüketimi ve tatlı su ötrofikasyonu) toplam etkiye katkısının %55'i aştığını ifade etmişlerdir. Çalışmada, hayvansal üretimin tatlı su ötrofikasyonu, AP ve partikül madde oluşumu etki kategorilerine NH₃, N₂H, CH₄ ve CO₂ kaynaklı emisyonların neden olduğu açıklanmıştır.

Ferronato ve diğ. (2021), İtalya'daki et üretim ve tüketim sistemi ve malzeme akışı analizi ile birleştirilerek bir YDA çalışması yapmıştır. Çalışma kapsamında miktarlara ve çevresel etkilere odaklanılarak 2013 yılında İtalya'daki et üretim ve tüketim zinciri analiz edilmiştir. Altı ana hayvan türü göz önünde bulundurulmuştur. Bunlar; sığır (manda dahil), domuz, kümes hayvanları (tavuk, hindi, beç tavuğu, ördek ve kaz dahil), koyun ve keçi, tavşan ve atlardır (katır, tavşan ve eşek dahil). En çok tüketilen 3 tür (sığır, domuz ve kümes hayvanları) için 2013 yılında İtalya'da "beşikten mezara yaklaşımı" ile yapılan YDA çalışmasının sistem sınırları 6 aşamaya bölünmüştür. Bunlar: Tarım/yetiştirme, endüstriyel işleme, lojistik, paketlenme, kullanım ve yaşam sonu. Çalışmanın fonksiyonel birimi "tüketilen kg et" olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda KIP'yi domuz, kümes hayvanları ve sığır eti için sırasıyla 7,90; 10,4 ve 49,3 kg CO₂ eşd. olarak hesaplamışlardır. Ayrıca KCEP, TSCEP ve DCEP etki değerlerinin sığır eti için en yüksek etkiye; domuz eti ve kümes hayvanları için ise en düşük etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Tüm et türleri için KIP, AP, ötrofikasyon (karasal, tatlı su, deniz), su kullanımı ve arazi kullanımı kategorilerinde en çok katkıda bulunan aşamanın tarım ve kesim olduğu ve bunları lojistik aşamasının izlediği saptanmıştır. Yaşam sonu

aşamasının, tatlı su ekotoksitesitesi üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu; tatlı su ötrofikasyonu, deniz ötrofikasyonu ve su kullanımı üzerindeki etkiye daha az katkıda bulunduğu ortaya konmuştur. Et tüketiminin çevresel etkisinin tüketilen etin miktarı ve türünden etkilendiğini belirttikleri çalışmada, İtalya’da sığır eti tüketiminin domuz eti ve kümes hayvanlarından daha az olduğunu ancak etki değerlendirme sonuçlarına göre sığır etinin, etki kategorilerinin çoğu için en yüksek etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Domuz etinin daha yüksek miktarda tüketilmesine rağmen, fonksiyonel birim başına daha düşük KIP nedeniyle, toplam sera gazı emisyonlarına %20 katkıda bulunduğunu belirterek her bir et türü için ana katkıları, tarım ve kesim aşamalarının oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

Dorca-Preda ve diğ. (2021), Danimarka’da yetiştirilen domuz için beşikten mezbaha kapısına yaklaşımı ile bir YDA çalışması yapmışlardır. Sistem sınırı; hayvansal üretim, kesim süreci, nakliye ve yan ürünlerin kullanımını kapsamaktadır. Bu çalışma ile domuz çiftliklerinden alınan temsili veri kümelerine ve belirli kesimhane verilerine dayanarak Danimarka domuzunun çevresel etkisinin 2005'ten 2016'ya kadar olan gelişiminin ayrıntılı bir analizi yapılmıştır. 3 fonksiyonel birim (canlı ağırlık, karkas ağırlığı ve insan tüketimine hazır et ürünü) kullanılmıştır. Beşikten mezbaha kapısına kadar olan üretim aşamaları, hayvansal üretim (besleme, gübre yönetimi, gübrenin anaerobik parçalanması ve atıkların işlenmesi dahil), kesim süreci, (domuzların taşınması, mezbaha aşaması ve yan ürünlerin farklı üretim sistemlerinde ele alınması), yem ve enerji gibi girdilerin üretimi sistem sınırına dahil edilmiştir. Sonuç olarak 2016 yılı için elde edilen etki değerlerinin tümünde, 2005 yılında elde edilen etki değerlerine göre bir azalma meydana geldiği belirtilmiştir. 2016 yılı için KIP; 2,3 kg CO₂ eşd. (kg canlı ağırlık); 3,0 kg CO₂ eşd. (kg karkas ağırlık); 2,7 kg CO₂ eşd. (kg et için) olarak hesaplanmıştır. ÖP ise 15,6 g PO₄ eşd. (kg canlı ağırlık için); 19,7 g PO₄ eşd. (kg karkas ağırlık için); 17,9 g PO₄ eşd. (kg et için) olarak hesaplanmıştır. AP; 26,0 g SO₂ eşd. (kg canlı ağırlık için); 34,0 g SO₂ eşd. (kg karkas ağırlık için); 31,0 (kg et için) g SO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. ATP-fosil yakıtlar; 10,7 MJ (kg karkas ağırlık için); 14,0 MJ (kg karkas ağırlık için); 12,7 MJ (kg et için) olarak hesaplanmıştır.

Zira ve diğ. (2021) tarafından, İsveç'te organik ve geleneksel yöntemle beslenen domuz eti tedarik zincirlerinin çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğini değerlendirmek üzere bir YDA çalışması yapılmıştır. Fonksiyonel birimin 1000 kg domuz eti olduğu çalışmada sistem sınırı (i) çiftlik ve yem üretimi, (ii) kesim, (iii) toptan ve perakende satış ve (iv) tüketim aşamaları olarak ele alınmıştır. Organik domuz eti tedarik zincirinin 20 etki kategorisinin çoğunda daha iyi çevresel performans gösterdiğini ve daha sürdürülebilir olduğunu ifade

etmişlerdir. Çevresel ve sosyal etkiler için OpenLCA v1.10.2 yazılımını; arka plan süreçleri ve karakterizasyon için envanter veri tabanı olarak Ecoinvent 3.3; sosyal etkiler için ise Soca v.1 veri tabanı kullanmışlardır. Ekonomik etkiler ise Microsoft Excel kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda geleneksel yöntemlerle üretilen domuz eti tedarik zincirinin; tatlı su ötrofikasyonu, deniz ötrofikasyonu, karasal asidifikasyon ve abiyotik yakıt tüketimi etki kategorilerinde organik domuz eti tedarik zincirinden %7-23 oranında daha düşük çevresel etki oluşturduğu ortaya konmuştur.

Reyes ve diğ. (2019) tarafından, domuz üretimi için YDA kullanılarak bir vaka çalışması (Küba'nın Sancti Spiritus İli için) yapılmıştır. Çalışmada domuz üretim çiftliğini sistem sınırı olarak ele almışlardır. Çalışmada ReCiPe etki analizi metodu ile OpenLCA v1.3.0 yazılımı ve Ecoinvent v2.2 veritabanı kullanılmıştır. Etki kategorilerinin tanımlanmasının ardından YDA metodolojisi kapsamında ve söz konusu sistem sınırı içindeki ana emisyonlar (CH_4 , CO_2 , NO_2 , NH_3 , Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ_5) ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) dikkate alınarak, domuz üretimine yönelik en çok kullanılan 5 etki kategorisi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu kategoriler; iklim değişikliği, karasal asidifikasyon, deniz ötrofikasyonu, tatlı su ötrofikasyonu ve karasal ekotoksiste olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, domuz üretimi aşamasında yer alan lagünleme sisteminin, sera gazı emisyonları nedeniyle iklim değişikliği, karasal asidifikasyon, deniz ötrofikasyonu ve tatlı su ötrofikasyonu etki kategorilerine en yüksek katkıyı (%75-89) sağlayan faaliyet olduğunu; buna karşılık, mısır ve soya fasulyesinin tarımsal ve endüstriyel süreçleriyle ilgili olan karasal ekotoksiste için yem üretimi (mısır ve soya fasulyesi) sürecinin en yüksek katkıya (%87) neden olduğu ortaya konmuştur.

Perez-Martinez ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada, yağsız domuz eti ve bezelye katkılı domuz eti köftesi için YDA gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın 2 fonksiyonel birim olarak 220 g yağsız domuz eti konservesi ve 430 g bezelyeli köfte konservesi seçilmiştir. SimaPro v8.2 yazılım paketi ve ReCiPe Midpoint hesaplama metodu kullanılarak yapılan çalışmanın “beşikten mezara yaklaşımı” ile et üretimi, gıda işleme, dağıtım, tüketim ve nihai atık bertaraf süreçlerini sistem sınırına dahil etmişlerdir. Her iki ürün için de en büyük çevresel etkiye sahip olan aşamaların et üretimi ve gıda işleme olduğunu; gıda işleme aşamasında ise konserve ve sterilizasyon işlemlerinin daha yüksek etkiye sahip süreçler olduğunu belirtmişlerdir. Ek olarak sterilizasyonun neden olduğu etkinin ana kaynağının buhar ve elektrik tüketimi olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, incelenen iki ürün için et üretimi ve gıda işleme aşamalarının çevresel etkiye en fazla katkı sağlayan aşama olduğu belirtilmiştir.

Noya ve diğ. (2017) tarafından, Katalonya bölgesindeki geleneksel yöntemle yetiştirilen domuz üretimi tedarik zincirine ilişkin çevresel etkilerini belirlemek için YDA yapılmıştır. Çalışmanın fonksiyonel birimi 1 kg domuz eti seçilmiş ve çalışmanın sistem sınırı yem üretimi, çiftlik ve kesim aşaması olarak belirlenmiştir. SimaPro v8.2 yazılımı ve ReCiPe Midpoint hesaplama metodu kullanılarak yapılan çalışmada en temel etki kategorileri iklim değişikliği, karasal asidifikasyon, tatlı su ötrofikasyonu, deniz ötrofikasyonu, su tüketimi ve fosil kaynak tüketimi olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda geleneksel yöntemle yetiştirilen domuz üretiminde hammadde (yem vd. besin bileşenleri) üretiminden oluşan çevresel etkilerin daha yüksek katkı yaptığı vurgulanmıştır.

Winkler ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada, Avusturya domuz etinin çiftlikten sofralara kadar olan tüm aşamasının YDA ile çevresel etkilerini belirlemişlerdir. Çalışmada fonksiyonel birim 1 kg taze domuz eti (karkas ağırlık) seçilmiş ve ürün yaşam döngüsü 5 modüle ayrılmıştır. Bunlar: (i) tarım (yem üretimi dahil), (ii) mezbaha, (iii) ticaret, (iv) tüketim ve (v) nakliye. Analiz için MS Excel yazılımı kullanılmış ve tüm veriler yayınlanmış literatür bilgilerinden elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda belirlenen KIP, AP ve ÖP etki kategorilerine göre toplam etkiler hesaplanarak KIP: 4751 g CO₂ eşd., AP: 61,5 g SO₂ eşd. ve ÖP: 381,4 g NO₃ eşd. olarak bulunmuştur. Avusturya domuz eti üretiminin sera gazı emisyonlarına tarım aşamasının yüksek katkısı olduğu; ticaret, nakliye veya kesimhane gibi diğer aşamalarla ilgili çevresel yüklerin nispeten küçük bir etkisi olduğu belirtilmiştir. Tarım aşamasında, tespit edilen çevresel etkilerin en önemli kaynağının yem üretimi olup; bunun gübre yönetiminden veya çiftlikte enerji kullanımından daha önemli etkiye sebep olduğu ifade edilmiştir.

Djekic ve diğ. (2015) tarafından, Sırbistan'da domuz eti ürünlerinin üretiminin çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla YDA yapılmıştır. “Beşikten mezara yaklaşımı” benimsenerek yapılan çalışmanın sistem sınırlarını domuz üretim çiftliği, kesimhane, et işleme tesisi, atık ve atık su arıtma aşamaları oluşturmaktadır. Çalışmada 1 kg domuz eti üretimi fonksiyonel birim olarak seçilmiş ve altı çevresel etki potansiyeli hesaplanmıştır. Bunlar: KIP (9,04 kg CO₂ eşd.), AP (9,874E-03 kg SO₂ eşd.), ÖP (0,0151 kg PO₄ eşd.), OTİP (2,84E-05 kg R₁₁ eşd.), FOP (5,39E-04 kg C₂H₄ eşd.) ve İTP (0,37 kg DB eşd.). Domuz eti tedarik zincirinde et üretiminin çevresel etkilerine en büyük katkıyı yem üretimi ve gübre yönetiminin yaptığı; et işleme tesisinin katkılarının ise su ve enerji ihtiyacından ve soğutucuların kullanımından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Reckmann ve diğ. (2013), Almanya’da domuz eti üretimi için bir YDA çalışması yapmıştır. Domuz eti üretim zincirinin sistem sınırı, ürünlerin ön üretiminden domuzların kesilmesine ve domuz etinin kesim ağırlığı olarak işlenmesine kadar olan süreci kapsamaktadır. Etin ambalajlanması, gıda perakendeciliği ve et tüketimi kapsam dışı bırakılmıştır. Çalışmada fonksiyonel birim 1 kg domuz eti (kesim ağırlığı) olarak seçilmiştir. SimaPro v7.3.3 yazılım paketi ve CML 2 Baseline 2000 hesaplama metodu ile etki değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar KIP: 3,22 kg CO₂ eşd., AP: 57,1 g SO₂ eşd. ve ÖP: 23,3 g PO₄ eşd. olarak verilmiştir. Çalışmanın sonucunda, domuz eti tedarik zinciriyle ilgili çevresel etkilerin çoğuna besleme yani çiftlik aşamasının neden olduğu belirtilmiştir.

Devers ve diğ. (2012) tarafından Belçika’daki ve Güney Afrika’daki domuz eti üretiminin, Antwerp (Belçika) dağıtım merkezine teslim edilmesi üzerine oluşturulan karşılaştırmalı bir YDA yapılmıştır. Çalışmanın amacı, hem Belçika (Flamen bölgesi) hem de Güney Afrika’daki domuz tedarik zincirlerinde en yüksek çevresel etkiye sahip süreçleri belirlemek ve ardından bunları birbirleriyle karşılaştırmaktır. GaBi yazılımı (GaBi 2006 veritabanı) ve CML 2001 hesaplama metodu kullanılarak yapılan çalışmanın fonksiyonel birimi, Antwerp'teki bir dağıtım merkezine teslim edilen 1 kg domuz eti karkas ağırlığı olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda KIP (Belçika için 2,55 kg CO₂ eşd.; Güney Afrika için 4,5 kg CO₂ eşd.), AP (Belçika için 0,039 kg SO₂ eşd.; Güney Afrika için 0,063 kg SO₂ eşd.), ÖP (Belçika için 0,022 kg PO₄ eşd.; Güney Afrika için 0,034 kg PO₄ eşd.) ve ATP-fosil (Belçika için 18,3 MJ; Güney Afrika için 30,7 MJ) etki değerleri hesaplanmıştır.

2.4.3. Tavuk Eti Ürünleri

Literatür incelemesinde tavuk eti üretiminin çevresel etkilerini belirlemek amacıyla yapılmış 9 adet YDA çalışması Tablo 2.3’te verilmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 2.3: Literatürden seçilen tavuk eti ürünleri ile ilgili YDA çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Yazılım Paketi	Hesaplama Metodu	Coğrafi Bölge	Kaynak
➤ 1 kg tavuk eti	SimaPro v8.0.5.13	ReCiPe Midpoint	Brezilya	Dos Santos ve diğ. (2023)
➤ 1 kg kanatlı et	SimaPro v9.0	EF 3.0	İtalya	Ferronato ve diğ. (2021)
➤ 1 kg tavuk eti ve ürünleri	SimaPro v8.2.3	IMPACT 2002+	Sırbistan	Skunca ve diğ. (2018)
➤ 1 t tavuk eti üretimi	SimaPro v7.1	CML 2 basic 2000 v2	İran	Kalhor ve diğ. (2016)
➤ 1 kg tavuk karkas ağırlığı	SimaPro v8.0.3	CML-IA baseline (v3.01) ve Cumulative Energy Demand (v1.08)	İtalya	Cesari ve diğ. (2016)
➤ 1 kg tavuk eti	SimaPro v8	ReCiPe v1.08	Almanya	Smetana ve diğ. (2015)
➤ 1,2 kg piliç eti	SimaPro v7.3.2	CML 2001	Portekiz	González-García ve diğ. (2014)
➤ 1 t kızarmış tavuk ve tavuk göğsü filetosu	SimaPro v7.2.4	ReCiPe 2008, Midpoint	Avustralya	Bengtsson ve Seddon, (2013)
➤ 1 t tavuk	-	CML 2 baseline 2000	Fransa	Da Silva ve diğ. (2012)

Dos Santos ve diğ. (2023), farklı atık geri kazanım stratejileri kullanarak Brezilya'daki tavuk eti üretiminin çevresel etkilerini azaltmak amacıyla bir YDA çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada fonksiyonel birim 1 kg kesilmiş ve ambalajlanmamış tavuk eti olarak seçilmiştir. Çalışmanın sistem sınırı için yem üretimi, kümes hayvanlarının işlenmesi, kesim ve soğuk depolama aşamalarını kapsayan “beşikten mezbaha kapısına yaklaşımı” ele alınmıştır. Çalışmada etki değerlendirmesi için SimaPro v8.0.5.13 yazılım paketi ve ReCiPe 2008 Midpoint (H) hesaplama metodu kullanılmıştır. İklim değişikliği (KIP) etki kategorisinde, CO₂, CO, NH₃ ve CH₄ gibi gaz emisyonları, kümes hayvanı gübresinin işlenmesinden kaynaklanan ana katkılar olup; toplam 0,01085 kg CO₂ eşdeğeri olduğu belirtilmiştir. Fonksiyonel birim başına tavuk eti üretimi ve tavuk kümesinden kaynaklı etkiler; KIP: 4,56 kg CO₂ eşd., OTİP: 8,23E-08 kg CFC-11 eşd., AP: 0,20 kg SO₂ eşd., ÖP: 2,96E-04 kg P eşd., FOP: 0,34 kg NMVOC, ATP-fosil: 0,28 kg petrol eşd. olarak hesaplanmıştır.

Skunca ve diğ. (2018) tarafından tavuk eti tedarik zinciri için yapılan YDA çalışmasında, 119 farklı çiftlik, mezbaha, et işleme tesisi ve perakendecinin yanı sıra 500 haneyi kapsayan tavuk eti tedarik zincirinin çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Beş alt sistemi kapsayan çevresel etkileri beşikten mezara bir yaklaşımla ölçmek için toplam 619 YDA

çalışması hesaplanmıştır. Sistem sınırı: i) tavuk çiftliği, ii) mezbaha, iii) et işleme tesisi, iv) perakende ve v) tüketim aşamalarını kapsayan çalışmada KIP, AP, ÖP, OTİP ve ATP-fosil olmak üzere beş çevresel etki değeri hesaplanmıştır. Genel bir bulgu olarak bu çalışmada, tüm tavuk eti tedarik zincirinin çevresel etkiye en büyük katkının yem üretimi ve enerji kullanımı kaynaklı olduğu saptanmıştır.

Kalhor ve diğ. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, hem piliç hem de tavuk üretiminin çevresel etkileri yaz ve kış mevsimleri için YDA metodolojisi kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada fonksiyonel birim 1 t tavuk eti üretimi olarak seçilmiştir. ATP, AP, ÖP, KIP, OTİP, İTP, TSCEP, DCEP, KCEP ve FOP etki kategorileri, SimaPro v7.1 yazılımı ve CML 2 baseline 2000 hesaplama metodu kullanılmıştır. Çalışmanın etki değerleri, yaz ayları için ATP: 25,97 kg Sb eşd., AP: 41,75 kg SO₂ eşd., ÖP: 14,69 kg PO₄ eşd., KIP: 2931,91 kg CO₂ eşd., OTİP: 0,001 kg CFC-11 eşd., İTP: 996,36 kg 1,4-DB eşd., TSCEP: 98,98 kg 1,4-DB eşd., DCEP: 316357,2 kg 1,4-DB eşd., KCEP: 4,99 kg 1,4-DB eşd. ve FOP: 4,39 kg C₂H₄ eşd. olarak hesaplanmıştır. Kış ayları için ise ATP: 40,53 kg Sb eşd., AP: 61,9 kg SO₂ eşd., ÖP: 19,34 kg PO₄ eşd., KIP: 5357,61 kg CO₂ eşd., OTİP: 0,001 kg CFC-11 eşd., İTP: 1067,09 kg 1,4-DB eşd., TSCEP: 109,53 kg 1,4-DB eşd., DCEP: 344317,7 kg 1,4-DB eşd., KCEP: 5,1 kg 1,4-DB eşd. ve FOP: 4,62 kg C₂H₄ eşd. olarak hesaplanmıştır. Genel olarak kış aylarında etki değerlerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda tavuk eti üretiminin yaşam döngüsünde, yem üretimi ve çiftlik aşamasından kaynaklı emisyonların çevresel etkilerin ana kaynağı olduğu belirtilmiştir.

Cesari ve diğ. (2016), İtalya'da piliç eti üretiminin çevresel etkisini değerlendirmek amacıyla YDA metodolojisini uygulamışlardır. Fonksiyonel birim 1 kg karkas ağırlık olarak seçilmiştir. Kesimhanedeki faaliyetlere, özellikle enerji tüketimlerine ilişkin tüm bilgiler dikkate alınarak yapılan çalışmada, paketlenme aşaması sistem sınırlarına dahil edilmiştir. Çalışmada SimaPro 8.0.3 yazılımı kullanılarak KIP, AP, ÖP, KCEP ve ATP-fosil çevresel etki kategorileri, CML-IA baseline (v3.01) hesaplama metodu ile belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarının, paketlenme aşaması da dahil olmak üzere tüm piliç üretim sisteminden oluşan çevresel etkilerine en önemli katkıyı, besicilik (piliç) ve yem üretimi aşamalarının oluşturduğu vurgulanmıştır. Kesim ve paketlenme de dahil olmak üzere piliç üretim sisteminin ortalama KIP değeri 5,52 kg CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. Diğer etki kategorileri için hesaplanan sonuçlar; AP: 28,4 g SO₂ eşd.; ÖP: 18,4 g PO₄³⁻ eşd.; KCEP: 9,56 g 1,4-DB eşd. ve ATP-fosil: 20,3 MJ olarak verilmiştir.

Smetana ve diğ. (2015), en çok tüketilen et ürünleri için bir YDA çalışması yapmıştır. Tarım faaliyetlerinin, su ayak izinin %70-85'ini ve dünya sera gazı emisyonlarının %30'unu oluşturduğunu; gıda üretiminin 2050 yılına kadar %70 oranında artacağı öngörüsünde bulunmuşlardır. Bu nedenle, çeşitli tavuk ve alternatif et ürünlerinin (süt bazlı, laboratuvarında üretilen et, böcek bazlı, gluten bazlı, soya bazlı, miktoprotein bazlı) üretimi ile hayvancılığın neden olduğu çevresel etkilerin azaltılmasının planlandığı belirtilerek bu ürünler için YDA çalışması yapılmıştır. Çalışmanın fonksiyonel birimi “beşikten sofralara yaklaşımı” ile 1 kg tüketime hazır yemek olarak seçilmiştir. ReCiPe v1.08 ve IMPACT 2002+ hesaplama metotları kullanılarak literatür ve saha verilerine dayanarak envanter verileri alınmıştır. Tavuk eti için KIP: 5,2–5,82 kg CO₂ eşd. ve ATP-fosil: 51,64–63,4 MJ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, alternatif et ürünlerinden laboratuvarında yetiştirilen et ürününün KIP etki değeri 23,9–24,64 kg CO₂ eşd. ve ATP-fosil etki değeri 290,7–373 MJ ile en yüksek etkilere sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. İkinci en yüksek etkiye sahip ürünler ise yüksek enerji talepleri ve tarımsal yem yetiştirme faaliyetleriyle ilişkilendirilen mikoprotein bazlı et ve tavuk eti olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra işleme ve üretim teknolojileri, yan ürün kullanımı gibi sebeplerden ötürü böcek bazlı et ile soya bazlı yapay et ürünlerinin daha düşük çevresel etkiye sebep olduğunu belirtmişlerdir.

González-García ve diğ. (2014), Portekiz’de piliç eti üretimi için bir YDA çalışması yapmıştır. Fonksiyonel birim, “beşikten kapıya yaklaşımı” ile satış noktasına dağıtılmaya hazır 1,2 kg piliç eti olarak seçilmiştir. Çalışmada envanterlerin işlenmesi için SimaPro v7.3.2 yazılımı kullanılmıştır. Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü tarafından geliştirilen karakterizasyon faktörleri CML 2001 yöntemi ile hesaplanmış ve çalışmada ATP, AP, ÖP, KIP ve FOP olmak üzere 5 etki kategorisi dikkate alınmıştır. Sonuçlar, analiz edilen çevresel etkilerden sorumlu ana faktörün tavuk çiftliği olduğunu göstermiştir. Çalışmada temel çevresel etkilerin sıcak noktalarını yem üretimi ve çiftlik aşamalarının oluşturduğuna dikkat çekilmiştir. Mezbahayla ilgili faaliyetlere bakıldığında elektrik ve ambalaj malzemeleri üretiminin çevresel etkilere önemli katkı sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca, aynı protein içeriğine dayanan fonksiyonel bir birim kullanılarak karşılaştırma amacıyla domuz eti, sığır eti ve balık (sardalya) çalışmaları da dahil edilmiş; elde edilen sonuçların (sonraki paketleme aşaması hariç), düşük KIP nedeniyle piliç eti üretiminin diğer et türlerine kıyasla daha tercih edilebilir olduğu ortaya konmuştur. Tavuk çiftliği ve kesim aşamasının da dahil edildiği sonuçlara göre ATP: 10,2 g Sb eşd.; AP: 53,1 g SO₂ eşd.; ÖP: 24,6 g PO₄³⁻ eşd.; KIP: 3,0 kg CO₂ eşd.; FOP: 4,0 g C₂H₄ eşd. ve ATP-fosil: 22,2 MJ olarak bulunmuştur.

Bengtsson ve Seddon (2013), Avustralya'da tavuk üretimine yönelik “beşikten perakendeciye ve restoran kapısına yaklaşımı” ile bir YDA çalışması yapmışlardır. SimaPro v7.2.4 yazılımı ile modellenen çalışmada geleneksel yöntemle yetiştirilen tavuk ve gezen tavuk üretiminin karşılaştırmalı çevresel etkileri 12 etki kategorisi için değerlendirilmiştir. Fonksiyonel birimi, sırasıyla geleneksel tavuk üretimi ve gezen tavuk üretimi için 1 t kızarmış tavuk ve göğüs filetosu olarak seçilmiştir. Sonuçlar ATP-fosil, KIP ve su tüketimi kategorilerinde sunulmuştur. Kümes hayvanı üretiminin (çiftlik aşaması), başta gaz ve elektrik tüketimi nedeniyle, ATP-fosil (%55) ve KIP (%42) etki kategorilerinde en önemli yaşam döngüsü aşaması olduğu bulunmuştur. Et işleme aşamasındaki etkilerin %99'a yakınının enerji tüketimi (elektrik ve gaz), su kullanımı ve atık su çıkışından kaynaklandığı belirtilmiştir. Sonuç olarak ana etkinin tavuk yemi tüketiminden kaynaklandığı; ikinci en büyük etkinin ise piliç üretim çiftliklerinden kaynaklandığı vurgulanmıştır.

Da Silva ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada, Fransa'da tüketilen tavuklara ilişkin iki üretim senaryosu oluşturularak karşılaştırmalı YDA metodolojisi kullanılmıştır. Bu amaçla Brezilya'dan ithal edilen ve yerel olarak üretilen tahıllarla beslenen tavukların, yemin bir kısmı Brezilya'dan geldiği varsayılarak, Fransa'da üretilen tavuklara göre nasıl bir etki oluşturduğunu araştırmışlardır. Çalışmanın fonksiyonel birimi 1 t soğutulup paketlenmiş tavuk olarak seçilmiştir. CML 2 baseline 2000 hesaplama metodu ile yapılan çalışmanın sonuçlarında potansiyel etkilerin en çok yem üretim aşamasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. İkinci en büyük katkının tavuk üretimi aşamasından kaynaklı olduğu; çevreye en az katkı sağlayan aşamanın ise kesim aşaması olduğu belirtilmiştir. Yem üretimi, kesim ve tavuk eti ürünü aşamalarının yer aldığı toplam çevresel etkiler Fransa ve Brezilya için ayrı ayrı hesaplanarak 6 etki kategorisi için değerlendirilmiştir. Hesaplama sonucunda Fransa için AP: 40,5 kg SO₂ eşd., ÖP: 21,0 kg PO₄ eşd., KIP: 3,17 t CO₂ eşd., KCEP: 8,6 kg 1,4 DB eşd. olduğu; Brezilya için ise AP: 47,9 kg SO₂ eşd., ÖP: 20,7 kg PO₄ eşd., KIP: 2,40 t CO₂ eşd., KCEP: 9,9 kg 1,4 DB eşd. olduğu hesaplanmıştır. Hesaplamalar her bir etki kategorisine göre, Avrupa'ya teslim edilen Brezilya tavuğunun Fransa'da üretilen tavuğa kıyasla nasıl bir etkiye neden olduğunu ortaya koymaktadır. Uluslararası nakliye aşamasının, AP, KIP ve KCEP'ye yaklaşık %7-8; kümülatif enerji talebine ise %15 katkıda bulunduğu belirtilmiştir. Tavuğu, Fransa'da Brezilya soya fasulyesi ile üretmek yerine Brezilya'dan ithal etmenin iklim değişikliği ve toprak kullanımı açısından daha iyi olduğu; iklim değişikliğinin en önemli çevre sorunu olduğu düşünüldüğünde, Brezilya tavuğunun ithalatı daha tercih edilebilir olduğu ifade edilmiştir.

2.4.4. Sığır Eti Ürünleri

Literatür incelemesinde büyükbaş hayvancılık tesislerinden elde edilen sığır eti üretiminin çevresel etkileri belirlemek amacıyla yapılmış 16 adet YDA çalışması Tablo 2.4'te verilmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 2.4: Literatürden seçilen sığır eti ürünleri ile ilgili YDA çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Yazılım Paketi	Hesaplama Metodu	Coğrafi Bölge	Kaynak
➤ 1 kg köfte	SimaPro v7.3.3	CML-IA	Malezya	Ahmad ve diğ. (2023)
➤ 100 g sığır eti	SimaPro v9.1	ReCiPe	İtalya	Arrigoni ve diğ. (2023)
➤ 1 kg sığır eti	MfE 2020	IPCC	Yeni Zelanda	Mazzetto ve diğ. (2023)
➤ 1 kg sığır eti	OpenLCA v1.10, 2020	ReCiPe 2016 Midpoint	ABD	Putman ve diğ. (2023)
➤ 1 kg sığır eti	SimaPro	CML2001	ABD, Birleşik Krallık, İrlanda	Chen ve diğ. (2021)
➤ 1 kg sığır eti	SimaPro v9.0	EF 3.0	İtalya	Ferronato ve diğ. (2021)
➤ 1 kg hamburger köftesi	SimaPro v8.0	ReCiPe Midpoint	Almanya	Saerens ve diğ. (2021)
➤ 0,113 kg pişmiş hamburger köftesi	OpenLCA v1.10.2	Avrupa komisyonu, 2018	Brezilya	Saget ve diğ. (2021)
➤ 1 kg hamburger köftesi	SimaPro v8.5.2.0	IMPACT 2002+	Almanya	Smetana ve diğ. (2021)
➤ 1 kg süt sığırtı, canlı ağırlık	SimaPro v7	CML 2 Baseline 2000	Yunanistan	Kanta M.E.S. (2019)
➤ 1 kg sığır eti	BASF	Eco Efficiency Analysis (EEA)	ABD	Asem-Hiablie ve diğ. (2019)
➤ 1 kg sığır eti	SimaPro v7.3.3	ReCiPe Midpoint	Meksika	Huerta ve diğ. (2016)
➤ 1 kg sığır eti	SimaPro v8.0	EPD 2008	Danimarka	Mogensen ve diğ. (2016)
➤ 1 kg sığır eti, karkas ağırlık	SimaPro v7.1	EDIP ve IMPACT 2002+	ABD	Nguyen ve diğ., (2010)
➤ 1 kg sığır eti	SimaPro v7.1	Cumulative Energy Demand	ABD	Pelletier ve diğ., (2010)

Ahmad ve diğ. (2023), Malezya'da sığır etinden üretilen hazır köfteler için bir YDA çalışması yapmıştır. Sistem sınırı olarak gıda ham maddeleri ve ambalaj malzemelerinin üretimi ve işlenmiş gıda maddelerinin imalatını da içeren “beşikten fabrika kapısına yaklaşımı” benimsenmiştir. Fonksiyonel birimin 1 kg köfte olduğu çalışmada, YDA yazılım aracı olarak SimaPro v7.3.3 ve etki değerlendirme yöntemi olarak CML-IA baseline v.05 metodu

kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, çiftliklerdeki et üretiminin ve endüstriyel işlemenin, değerlendirilen etki kategorilerindeki sıcak noktaların ana nedenleri olduğu ortaya konmuştur. Tesiste ürün işleme aşamasında, köfte pişirmek için doğal gaz kullanımının bir başka çevresel etki nedeni olduğu ve ayrıca ambalaj açısından bakıldığında, polistiren (PS) malzemenin çevresel etkilere en büyük katkıyı sağlayan madde olduğu saptanmıştır. Çevresel performansı iyileştirmek için et miktarı azaltılırken sebze içeriğinin artırılmasının ve bunun yanı sıra doğalgaz kullanımının ortadan kaldırılması, enerji tasarrufuna ilişkin diğer kararlar ve döngüsel ekonomi ilkelerinin benimsenmesinin çevresel performansın iyileştirilmesine yardımcı olacağı ifade edilmiştir. Ayrıca köfte paketleme amacıyla kullanılan PS yerine başka bir paketleme malzemesinin kullanılması veya paketleme malzemesinin kullanım miktarının azaltılmasıyla daha iyi bir çevresel performans elde edilebileceği vurgulanmıştır.

Arrigoni ve diğ. (2023), İtalya’da tüketilen başlıca et türleri (sığır eti, domuz eti, işlenmiş domuz eti ve kümes hayvanları) üzerine yaptığı YDA çalışmasında, SimaPro yazılımı (9.1 sürümü) ve ReCiPe metodu ile etin yaşam döngüsünü, çiftlikte kullanılan malzeme ve enerjinin üretiminden, paketlenmiş ürünün nihai dağıtımına ve nihai tüketimine kadar incelemişlerdir. Çalışmanın sistem sınırları tarımsal faaliyetler, kesim, işleme, paketleme, dağıtım ve tüketim aşamalarını kapsamaktadır. Çalışmada seçilen 100 g fonksiyonel birim başına sığır eti, domuz eti, işlenmiş domuz eti ve kümes hayvanı eti için KIP sırasıyla; 3,26 kg CO₂ eşd.; 1,15 kg CO₂ eşd.; 1,21 kg CO₂ eşd.ve 0,94 kg CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar; kümes hayvanının tüm aşamalarında karasal ekotoksisteye en büyük katkıyı sağladığını; sığır eti üretiminin ise karasal ekotoksisteye dışındaki diğer etki kategorilerinde (iklim değişikliği, karasal asidifikasyon, deniz ötrofikasyonu, partikül madde formasyonu, arazi kullanımı ve su kullanımı) en büyük katkıyı sağladığını göstermektedir. Ayrıca tüm et türleri için etki kategorilerine en büyük katkıyı sağlayan ise çiftlik aşaması olduğu belirtilmiştir.

Mazzetto ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada, Yeni Zelanda’da üretilerek farklı pazarlara ihraç edilen sığır ve koyun etinin karbon ayak izini YDA ile hesaplamışlardır. Hem sığır eti hem de koyun eti için “beşikten çiftlik kapısına yaklaşımı” benimsenmiş; çalışmanın fonksiyonel birimi 1 kg canlı ağırlık seçilmiştir. Sığır eti ve koyun eti ürünleri, ithal edildiği ülkede daha ileri işlemlere tabi tutularak ve farklı pişirme yöntemleri kullanılarak, soğutulmuş veya dondurulmuş olarak farklı pazarlara ihraç edilmektedir. Sığır eti için karbon ayak izi, IPCC hesaplama metodu ile 10,09 kg CO₂ eşd. hesaplanmıştır. Toplam emisyonların %80’ini oluşturan sera gazının ise CH₄ olduğunu belirtmişlerdir (diğer sera gazı emisyonları ise %13

oranı ile N_2O ve %7 oranı CO_2 'tir). Koyun eti için karbon ayak izini 6,01 kg CO_2 eşd. olarak hesaplamışlardır.

Putman ve diğ. (2023), Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) sığır eti üretimi ve tüketimine ilişkin çevresel sürdürülebilirliği belirlemek amacıyla kapsamlı bir YDA çalışması yapmışlardır. OpenLCA (2020) yazılımı kullanılarak yapılan çalışmada, hem “beşikten mezara hem de beşikten çiftlik kapısına yaklaşımı” benimsenmiş ve fonksiyonel birimi 1 kg sığır eti seçilmiştir. Etki değerleri KIP hariç diğerleri için ReCiPe 2016 Midpoint hesaplama metodu kullanılarak karakterize edilmiştir. Çalışma sonucunda 18 çevresel etki kategorisinden 13'ünde ana etki kaynaklarının büyükbaş hayvan üretimiyle ilgili olduğu; bu kategorilerin 10'unda ise büyükbaş hayvan üretiminin sorumlu olduğu belirtilmiştir. Elektrik kullanımı tedarik zinciri boyunca potansiyel etkilerin çoğuna önemli katkıda bulunduğundan, elektrik kullanımının azaltılması çevresel etkiyi azaltma stratejisi olarak sunulmuştur. Tüm tedarik zinciri boyunca toplam KIP 42,7 kg CO_2 eşd. olarak hesaplanmış ve sığır üretiminin bu etkinin en büyük kaynağını oluşturduğu ifade edilmiştir.

Chen ve diğ. (2021) yerel, bölgesel (Avrupa içi) ve uluslararası olmak üzere üç farklı pazar için lojistik (kara, deniz ve hava taşımacılığı olmak üzere) ve üç tür hayvan bazlı gıda tedarik zincirinin (sığır eti, tereyağı ve somon balığı) çevresel etkilerini modellemek amacıyla bir YDA çalışması yapmıştır. Fonksiyonel birim, her bir gıda tedarik zinciri için tüketiciye teslim edilen 1 kg gıda olarak belirlenmiştir. Yaptıkları çalışmada çevresel etkiye en fazla katkının çiftlik, besleme ve gübre aşamalarında görüldüğü saptanmıştır. Sığır tedarik zincirinde ABD, Birleşik Krallık ve İrlanda için on bir çevresel etki kategorisi CML 2001 hesaplama metoduna göre modellenmiştir. Onbir etki kategorisinde de ABD için elde edilen karakterizasyon değerleri, Birleşik Krallık ve İrlanda için elde edilen karakterizasyon değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Dağıtım için hava taşımacılığının kullanıldığı durumlar dışında, çiftlik üretim aşamasının genellikle en büyük çevresel etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır.

Saerens ve diğ. (2021), kalıptan geçirilmiş et (ekstrüzyon teknolojisi adı verilmektedir) ile üretilen bitki bazlı burger köftelerini etli burger köfteleriyle (sığır eti, domuz eti ve tavuk) karşılaştırmak amacıyla YDA yapmışlardır. İki bitki bazlı burger köfte için hammadde olarak soya unu ve kabak çekirdeği unu kullanmışlardır. SimaPro v8.0 yazılım paketi ve karakterizasyon yöntemi olarak ReCiPe v1.08 kullanılarak yaptıkları çalışmanın fonksiyonel birimini 1 kg hamburger köftesi olarak seçmişlerdir. Çalışmanın sistem sınırı, hammadde üretiminden başlayarak çiğ burger köftesi üretimine kadar olan “beşikten kapıya yaklaşımı”

içererek hammaddelerin üretimi ve satın alınmasını kapsayarak “fabrika kapısına”, yani distribütörlere taşınmadan hemen önce sona eren bir süreci içermektedir. Ayrıca soya ve balkabağı yetiştiriciliği için ekinlerin ekimi, büyütülmesi ve hasat edilmesi süreç kapsamında yer almaktadır. Paketleme, süpermarkete dağıtım ve oradan tüketiciye dağıtım, tüketim ve tüketim sonrası atıkların bertarafı süreçleri kapsam dışında bırakılmıştır. Çalışma sonucunda bitki bazlı burger köftelerinin çevresel etkilerinin, diğer etli burger köftelerinden en az 10 kat daha düşük olduğu belirtilmiştir. Sığır eti için en büyük çevresel yükün ise, sığırların önemli miktarda sera gazı emisyonu oluşturduğu çiftlik aşamasından kaynaklı olduğu ifadelerine eklenmiştir.

Saget ve diğ. (2021), baklagillerden üretilen gıdaların yüksek miktarda besin sağladığını ve nispeten daha düşük sera gazı emisyonlarına neden olduğunu belirterek bitki bazlı burger köfteleri ve sığır eti burger köfteleri için karşılaştırmalı YDA çalışması yapmıştır. “Beşikten sofralara yaklaşımını” benimseyerek yaptıkları çalışmada OpenLCA v1.10.2 yazılımı ve Agrifootprint v3.0 ile Ecoinvent v3.6 veritabanlarını kullanmışlardır. Fonksiyonel birim 0,113 kg burger köftesi olarak seçilmiştir. Analiz edilen 16 etki kategorisinden 9’unda bitki bazlı köftelerin, İrlanda veya Brezilya sığır etinden yapılan köftelere kıyasla önemli ölçüde daha düşük çevresel etkilere neden olduğu saptanmıştır. Ancak bitki bazlı köftelerin Brezilya’da üretiminin sığır eti hamburger köftelerine kıyasla %8 oranında daha fazla enerji kullanımına neden olduğu ortaya konmuştur.

Smetana ve diğ. (2021), Almanya’da gerçekleştirilen bir çalışmada sığır köftesi, bezelye bazlı köfte, böcek bazlı köfte, mikoprotein köftesi ve soya bazlı köfte olmak üzere beş burger köftesi için karşılaştırmalı YDA yapmıştır. SimaPro v8.5.2.0 yazılımı ve IMPACT 2002+ hesaplama metodunu kullandıkları çalışmada fonksiyonel birimi 113 g çiğ burger köftesi seçilmiştir. Çevresel etki analizi sonucunda sığır etinden elde edilen burger köfteleri için KIP: 9,04-9,15 kg CO₂ eşd. ve ATP-fosil: 46,37-49,75 MJ olarak; diğer yapay et ürünlerinden elde edilen burger köfteleri için KIP: 0,8-2,16 kg CO₂ eşd. ve ATP-fosil: 8,73-19,9 MJ olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda tüm alternatif ürünlerin çevresel etkisinin, sığır köftesinden 5 ila 6 kat daha iyi olduğu; böcek bazlı ve soya bazlı ürünlerin en iyi performansı gösterdiği saptanmıştır. Ürünler üzerinde yapılan duyusal analizlerde (lezzet, aroma, doku, görünüş, kıvam, tat vb.) sığır köftesinin en uygun seçenek olduğu; bunu böcek bazlı burger ve bezelye bazlı et burgerin takip ettiği ifade edilmiştir. Bitki, böcek ve mantar bazlı yapay et ürünlerinin, çevre dostu ve sağlıklı bir şekilde sığır etinden elde edilen dana burgerlerin yerini almak için rekabet ettiği vurgulanmıştır.

Kanta M.E.S. (2019) yaptığı bir tez çalışmasında, Yunanistan'ın Selanik bölgesindeki bir süt sığırları üretim çiftliğinde et ürünlerinin çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla YDA metodolojisi uygulamıştır. Çalışmada SimaPro v7 yazılımı ve CML 2 Baseline 2000 etki hesaplama metodu kullanılmıştır. İncelenen çiftlikteki mevcut durum, hayvansal yan ürünlerin değerlendirilmesini kapsayan alternatif bir senaryo ile karşılaştırılmıştır. Etki değerlendirme sonucunda hayvansal yan ürünlerin kullanıldığı senaryonun çevresel etkisi daha düşük bulunmuştur. Bu senaryo; biyogaz üretimi (elektrik, ısı) için süt sığırları gübresinin anaerobik parçalanmasının yanı sıra, sindirilmiş gübrenin yem ve mahsul üretimi için kullanılan Azot (N) ve Fosfor (P) yerine organik gübre olarak kullanılmasını kapsamaktadır.

Asem-Hiablíe ve diğ. (2019) tarafından ABD’de yem üretimi, buzağı besleme süreçleri dahil olmak üzere sığır tedarik zinciri için “beşikten mezara (yem üretimi, besleme aşamasından itibaren tüketiciye ve sofralara kadar olan tüm süreç) yaklaşımı” ile bir YDA çalışması yapılmıştır. Fonksiyonel birimi 1 kg tüketime hazır, kemiksiz, yenilebilir sığır eti olarak seçilmiştir. Sığır eti tedarik zincirinin tüm sürecini içeren çalışmada, incelenen kategorilerin çoğunda en büyük etkiye yem ve sığır aşamalarının katkıda bulunduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda ATP-fosil (kümülatif enerji ihtiyacı): 1110 MJ, KIP: 48,4 kg CO₂ eşd., FOP: 146,5 g C₂H₄ eşd. ve AP: 726 g SO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır.

Huerta ve diğ. (2016) tarafından Meksika’da yapılan bir çalışmada, iki sığır üretim sisteminin (kapalı ve açık sistemde besleme) SimaPro v7.3.3 yazılımı ve ReciPe Midpoint metodu kullanılarak çevresel etkileri bir YDA çalışması ile ortaya konmuştur. Çalışmanın kapsamı inek-buzağı besleme, işleme ve perakende süreçlerini içermektedir. Fonksiyonel birimi 1 kg kemiksiz ve yağsız biftek (sığır eti) seçilmiştir. Sonuçlara göre, açık sistemde beslenen inek-buzağı süreçlerinin 12 etki kategorisinin 11’inde büyük katkı sağlayan proses olduğu; kapalı sistemde beslemede ise temel katkının iklim değişikliği, karasal asidifikasyon, tatlı su ve deniz suyu ötrofikasyonu kategorilerinde olduğu belirtilmiştir. Besi aşamasında kapalı sistemde besleme için İTP, su tüketimi, KCEP, ATP-fosil, FOP, TSCEP ve DCEP etki kategorilerinde baskın bir etkinin söz konusu olduğu belirtilmiştir. Ancak pazarlama aşamasının hiçbir kategoride baskın bir etki oluşturmadığı ifade edilmiştir. Sonuçlara göre, 12 etki kategorisinin 9’unda (İTP, KCEP, deniz ötrofikasyonu, AP, Su tüketimi, ATP-fosil, FOP, TSCEP, DCEP) açık sistemde beslemenin, kapalı sistemde beslemeye göre daha iyi çevre performansına sahip olduğu vurgulanmıştır.

Mogensen ve diğ. (2016), çiftlikten yenilebilir sığır eti ürünü eldesine ve yan ürünlerin kesimhaneden ayrılmasına kadar tüm zinciri kapsayacak şekilde Danimarka sığır eti üretim

sisteminin çevresel performansını incelemek ve kesim süreciyle ilgili etki azaltma potansiyelini araştırmak amacıyla YDA yapmıştır. Çalışmada SimaPro v8.0 yazılım paketi ve EPD 2008 hesaplama metodu kullanılmıştır. Fonksiyonel birimi 1 kg sığır eti seçilmiştir. Kesimhane kalıntılarının çok çeşitli hayvansal yan ürünleri içermesi sebebiyle kesimhanelerden elde edilen yan ürünlerin hayvan yemi (evcil hayvan yemi) ve biyogaz (ısı ve elektrik üretimi) gibi çeşitli amaçlarla kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Yan ürün kullanımının nihai hedefinin, kaynakların kullanımını azaltmak, yan ürünleri elden çıkarma sürecinde oluşan maliyetlerden kaçınmak ve tüm sistem için çevresel avantajlar yaratmak olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle sığırların kesilmesinden arta kalan hayvansal yağın veya don yağının, biyodizel üretimi için ucuz ve umut verici bir alternatif hammadde olduğuna vurgu yapmışlardır. Sonuçlara göre KIP; buzağı ve inekler için 10-13 kg CO₂ eşd.; sığırlar için 19 kg CO₂ eşd.; düveler için 30-45 kg CO₂ eşd. olarak hesaplanırken; ATP-fosil tüm ürünler için 25-37 MJ olarak hesaplanmıştır.

Nguyen ve diğ. (2010), AB (Avrupa Birliği)'de farklı sığır eti üretim sistemlerinin çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla bir YDA yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, 1 kg sığır eti üretiminden (kesim ağırlığı) kaynaklı küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon, ötrofikasyon, arazi kullanımı ve yenilenemeyen enerji kullanımı çevresel etkileri hesaplanmıştır. SimaPro v7.1 yazılımı ve IMPACT 2002+ hesaplama metodu kullanılarak 4 farklı sistem için yapılan çalışmada etki kategorilerinde en fazla etki süt veren inekler için bulunmuştur. 12, 16 ve 24 aylık ineklerin üretiminde nispeten daha düşük etkiler meydana geldiği belirtilmiştir. AB'de üretilen kg sığır eti başına KIP: 16,0-27,3 kg CO₂ eşd., AP: 101-210 g SO₂ eşd., ÖP: 622-1651 g NO₃ eşd., ATP-fosil: 41,3-59,2 MJ olarak hesaplanmıştır. Tüm sistemler için KIP'ye en çok katkıda bulunan sürecin besi aşamasından kaynaklı doğrudan CH₄ ve N₂O emisyonlarının olduğu; yine aynı şekilde AP'ye ana katkının da besi aşamasından kaynaklı NH₃ emisyonlarının olduğu belirtilmiştir. ÖP'ye tarım topraklarından NO₃⁻, NH₃, PO₄, NO_x ve NO₂⁻ sızıntısının açık ara en önemli katkı oluşturduğu ifade edilmiştir. Tüm sistemler için ATP-fosil yakıtlara en önemli katkının (%50-58 oranında) besi aşamasında doğrudan enerji kullanımının sebep olduğu belirtilmiştir.

Pelletier ve diğ. (2010) tarafından, ABD'de üç farklı sığır eti üretiminin çevresel etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemek amacıyla yapılan çalışmada enerji kullanımı, ekolojik ayak izi, sera gazı emisyonları ve ötrofikasyon emisyonlarını karşılaştırmak için ISO ile uyumlu YDA metodolojisi kullanılmıştır. Tüm YDA etki kategorileri SimaPro v7.1 yazılım paketi ve CML 2001 metodu kullanılarak; ekolojik ayak izi Ecoinvent 2.0 veritabanında yer alan hesaplama yöntemi ile hesaplanmıştır. Fonksiyonel birimi 1 kg sığır eti olarak seçilmiştir.

Sığır eti üretimi için 3 tür yem kullanım oranına göre (%30, %60 ve %90) etki analizleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda %30 oranında yem kullanımı durumunda ATP-fosil 63,8 MJ, KIP 21,5 kg CO₂ eşd., ÖP 169 g PO₄ eşd. ve ekolojik ayak izi 150 m² olarak hesaplanmıştır. %60 oranında yem kullanımı durumunda ATP-fosil 48,4 MJ, KIP 19,2 kg CO₂ eşd., ÖP 142 g PO₄ eşd. ve ekolojik ayak izi 120 m² olarak hesaplanmıştır. %90 oranında yem kullanımı durumunda ise ATP-fosil 43,3 MJ, KIP 18,4 kg CO₂ eşd., ÖP 133 g PO₄ eşd. ve ekolojik ayak izi 110 m² olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak tüm etki kategorileri için, inek-buzağı besleme ve yem aşamasının, sığır eti üretiminde kaynak kullanımına ve emisyonlara daha fazla katkıda bulunduğu vurgulanmıştır.

2.4.5. Yapay Et Ürünleri

Literatürde yer alan çalışmalar içerisinde, hayvansal ürünlerin üretiminden kaynaklı çevresel etkilerinden dolayı bitkisel kaynaklı beslenmeye yönelik alternatif protein ağırlıklı beslenme ürünleri geliştirilmiştir. Bunların başında bitkisel protein bazlı bezelye, soya ve böcek kökenli gıdalar içeren yapay et ürünleri yer almaktadır. Son yıllarda protein içerikli yapay bir ürün olan alternatif et üzerine sınırlı sayıda YDA çalışması ile uluslararası literatürde karşılaşılmaktadır. Bu çalışmaların çoğunluğu ABD’de yapılmış olup sayıları her yıl giderek artmaktadır. Literatür incelemesinde, et ürünlerine alternatif olarak üretilen yapay et üretiminin çevresel etkilerini belirlemek amacıyla yapılmış 4 adet YDA çalışması Tablo 2.5’te verilmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 2.5: Literatürden seçilen yapay et ürünleri ile ilgili YDA çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Yazılım Paketi	Hesaplama Yöntemi	Coğrafi Bölge	Kaynak
➤ 1 kg bezelye proteini konsantresi ➤ 1 kg bezelye proteinli sosis	SimaPro v9.03	ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint	İsveç	Desiderio ve diğ. (2023)
➤ 1 kg yapay et	SimaPro v8.0.5	IMPACT 2002+ ve ReCiPe Midpoint	ABD	Ernst & Young LLP (EY), (2020)
➤ 1 kg yapay et	SimaPro v8.4	IMPACT 2002+ vQ2.28	ABD	Khan ve diğ., (2019)
➤ 0,113 kg yapay et	SimaPro v8	IPCC 2013 ve IMPACT+ 2002	ABD	Heller ve Keoleian, (2018)

Desiderio ve diğ. (2023) tarafından yapılan çalışmada, İsveç’in güneyinde faaliyet gösteren şirketlerden yetiştirme, protein işleme ve bezelye proteinli sosis ürünleri üretimine ilişkin veriler alınarak bir YDA çalışması gerçekleştirilmiştir. On sekiz etki kategorisinin

hesaplanması için SimaPro v9.03 yazılımı ve ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint hesaplama metodu kullanılmıştır. Çalışmanın temel amacı, protein ekstraksiyonu için gerekli olan kurutulmuş yeşil bezelyenin yetiştirilmesinden, bunların bir sosise içinde bir protein kaynağı olarak kullanılmasına kadar bezelye proteini tedarik zincirinin çevresel performansının değerlendirilmesidir. Sistem sınırı için; yeşil bezelye ekimi, protein işleme ve bunun alternatif et ürünlerine dönüştürülmesindeki adımları kapsama alınarak “beşikten fabrikaya geçiş yaklaşımı” benimsenmiştir. İki fonksiyonel birim ile çalışılmıştır: i) Fabrika kapısında %46 protein içerikli 1 kg yeşil bezelye proteini konsantresi ve ii) fabrika kapısında 1 kg bezelye proteinli sosise (69 g protein/kg). Çalışmanın sonucunda 1 kg bezelye proteinli sosise (69 g protein içeriği/kg) için, hamur ve sosise üretiminin toplam etkiye %32 ila %78 katkıda bulunduğu belirtilmiştir. Bezelye sosisleri için en fazla katkıda bulunan aşamaların; yetiştirme (KIP: 0,23 kg CO₂ eşd.) ve sosise üretimi (KIP: 0,52 kg CO₂ eşd.) olduğu belirtilmiştir.

Ernst & Young LLP (EY) (2020), ABD’de üretilen ve bitki bazlı et alternatifi olan “Impossible Foods” isimli yapay et ürününü, hem ABD’de hem de Çin’de üretilen geleneksel bir domuz sosise köftesi ile karşılaştırdıkları bir YDA çalışması yapmıştır. Çalışmada “beşikten kapıya yaklaşımı” benimsenerek SimaPro yazılım paketi (sürüm 8.0.5) kullanılmıştır. KIP, ÖP ve arazi kullanımı etkilerini ölçmek için IMPACT 2002+; su tüketimi etki kategorisini ölçmek için ise ReCiPe Midpoint hesaplama metotları kullanılmıştır. Raporda 4 çeşit ürün senaryosu karşılaştırılması değerlendirilmiştir. Birinci senaryoda 2020’de ABD’de üretilen ve ABD toptancı distribütörüne, perakendecisine ve/veya restoranına pişmemiş, dondurulmuş olarak domuz eti köftesi dağıtımı; ikinci senaryoda 2020’de ABD’de üretilen ve ABD toptancı distribütörüne, perakendecisine ve/veya restoranına önceden pişirilmiş ve dondurulmuş olarak domuz eti köftesi dağıtımı; üçüncü senaryoda 2020’de Çin’de üretilen ve Çin toptancı distribütörüne, perakendecisine ve/veya restoranına pişmemiş, dondurulmuş olarak domuz eti köftesi dağıtım ve dördüncü senaryoda 2020’de Çin’de üretilen ve toptancı distribütörüne, perakendecisine ve/veya restoranına önceden pişirilmiş ve dondurulmuş olarak domuz eti köftesi dağıtımı ele alınmıştır. Fonksiyonel birimi, perakendecide 1 kg gıda (farklı senaryolar için 1 kg pişmemiş gıda ve 1 kg pişmiş gıdadır) olarak seçilmiştir. Hammaddede üretimi, yapay et üretim süreçleri, paketleme ve ardından perakendeciye dağıtım dahil olmak üzere sistem sınırları oluşturulmuştur. Bu çalışmada, tartışılan 4 çevresel etki kategorisi altında, domuz ürünleri yerine bitki bazlı et alternatifi olan yapay et çeşitlerini kullanmanın yararları olduğu vurgulanarak fonksiyonel birim başına etki değerleri şu şekilde özetlenmiştir:

- Yapay et için KIP 4,2-5,3 kg CO₂ eşd. arasında olup 1 kg domuz eti köftesinden daha düşük bir KIP değeri söz konusudur. Çin pazarına dağıtım senaryosunda daha yüksek etki değerleri ortaya çıkmaktadır.
- Yapay et üretimi, domuz üretiminde mevcut olan bazı mahsul gübre ve gübre uygulama emisyonlarını önlediği için ÖP değeri 0,77-0,88 g PO₄ eşd. arasında olup 1 kg domuz eti köftesinden daha az etki oluşturmaktadır.
- Yapay et üretiminde arazi kullanımı %41-%71 arasında olup 1 kg domuz etinden daha az bir arazi kullanımı söz konusudur.
- Yapay et üretiminde su kullanımı 0,44-0,56 m³ arasında olup 1 kg domuz eti köftesinden daha az su kullanımı söz konusudur.

Khan ve diğ. (2019) tarafından, ABD’de üretilen ve “Impossible Burger®” adını verdikleri bitki bazlı yapay etin çevresel etkileri araştırılmış ve bu etkilerin sığır etinden elde edilen et burger ile karşılaştırılması üzerine bir YDA yapılmıştır. Bitki bazlı bu yapay etin; hamburger köftesi, köfte, taco dolgusu, sos vb. yiyeceklerle birlikte yemeklere dahil edilmesi düşünülmektedir. Ürünün içeriğinde “heme” denilen bitki bazlı proteinler ve yağların yanı sıra ete lezzetini, rengini ve fiziksel özelliklerini veren birtakım organik ve inorganik kimyasallar bulunmaktadır. Çalışmada “Heme” denilen ürün bir fermantasyon ve izolasyon işlemiyle üretilmektedir. Daha sonra, diğer bitki bazlı proteinler ve yağlarla karıştırıldığı ve işlendiği üretim tesislerine gönderilmektedir. Bu karışım daha sonra kalıplanıp dondurularak satış için paketleme aşamalarından geçirilmektedir. Dondurulmuş ve paketlenmiş ürün daha sonrasında ABD genelinde dağıtılacak şekilde modellenmektedir. İncelenen sistemin kapsamı, "beşikten üreticinin kapısına kadar" donmuş paketlenmiş yapay et üretmek için gerekli tüm faaliyetleri içermektedir. Perakende, dağıtım, kullanım ve kullanım ömrünün sonu aşamaları, yapay et ile geleneksel bir sığır eti burgeri arasında önemli ölçüde farklılık göstermediğinden ve benzer çevresel etkilere sahip olduğundan dolayı çalışmanın dışında tutulmuştur. Impossible Burger® ismini verdikleri bu yapay etin, sığır eti burgerine benzer besin içeriğine, pişirme süresine ve raf ömrüne sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmada fonksiyonel birim, 1 kg kemiksiz perakende satışa hazır ABD sığır eti burgeri ile karşılaştırılacak olan 1 kg “Impossible Burger®” olarak seçilmiştir. Etki değerlendirmesi için SimaPro v8.0.4 yazılımı ve IMPACT 2002+ hesaplama metodu kullanılmıştır. Hesaplamalar 4 çevresel etki kategorisi (ÖP, KIP, arazi kullanımı ve su kullanımı) için yapılmıştır. Sonuçlar, “Impossible Burger®” isimli yapay et üretiminin potansiyel çevresel etkilerinin, 4 öncelikli etki kategorisinde geleneksel sığır eti burgerinden daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. 1 kg yapay et ve 1 kg sığır eti burgeri için

belirtilen kategorilere göre YDA sonuçları sırasıyla; ÖP için 1,28 g PO₄ eşd. ve 15,1 g PO₄ eşd.; KIP için 3,5 kg CO₂ eşd. ve 30,6 kg CO₂ eşd.; arazi kullanımı için 2,5 m².yıl ve 62 m².yıl; su kullanımı için 106,8 L ve 850,1 L olarak verilmiştir. Yapay et burgerinin sığır eti burgere göre en önemli azalmayı gösterdiği etki kategorisi arazi kullanımıdır. İkinci sırada en önemli etki azalması ÖP etki kategorisinde görülmüştür. Bu azalmanın gübreden kaynaklanan emisyonlar, yem üretimi sırasında kullanılan gübreler ve kesim için elektrik tüketimi dahil olmak üzere, büyükbaş hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan P emisyonlarının ortadan kaldırılmasından kaynaklandığı vurgulanmıştır. Ayrıca, Impossible Burger® üretiminin, sığır üretim aşamasını içermediğinden, bu üretilmeyen 1 kg sığır eti burgeri başına 26,3 kg CO₂ eşd.'lik bir azalmaya yol açtığı belirtilmektedir. Bu azalmanın %79'u gübre yönetimi ve enterik fermantasyonla ilişkili emisyonlardan, %11'i yem üretimi ve nakliyesinden gelirken, fazladan %10'u sığır kesiminden kaynaklandığı belirtilmektedir. Üretim aşamasında oluşan etkiler, esas olarak soğutma amaçlı N ve CO₂ üretimi ile birlikte elektrik tüketimi ile açıklanmaktadır. Elektrik tüketimiyle ilişkili etkiler, fosil yakıt üretimi ve tüketimiyle ilişkili emisyonlar nedeniyle toplam KIP emisyonlarının %21'ine, toplam su tüketimi etkilerinin %14'üne ve toplam ÖP etkilerinin %15'ine yol açarak genel olarak yaklaşık %0,1 oranında katkıda bulunduğu ifade edilmiştir. Sonuç olarak ABD'li tüketiciler için, 1 kg sığır eti burgerini 1 kg yapay et ile değiştirilmesi tercih edildiğinde, çalışmada odaklanılan her etki kategorisindeki çevresel etkilerin %87-%96 arasında azaldığı ortaya konmuştur.

Heller ve Keoleian (2018), bitki bazlı yapay et (bu çalışmada “Beyond Burger” adı verilmiştir) ve hayvansal bazlı et için ayrıntılı bir karşılaştırmalı YDA yapmıştır. Çalışmada sera gazı emisyonları, kümülatif enerji talebi (enerji kullanımı), su kullanımı ve arazi kullanımı olarak seçilen çevresel etkiler ABD'deki sığır eti üretimi ve bitki bazlı yapay et üretimi için hesaplanmıştır. Fonksiyonel birimi 0,113 kg çiğ burger köftesi olarak seçilmiştir. Sistem sınırları; tarım ürünlerinin ve çiftlik aşamasının dahil olduğu, ürün işleme ve paketleme işlemlerini, soğuk depolamayı, satış noktasına dağıtımını ve paketleme malzemelerinin imhasını içermektedir. Perakende ve tüketici aşamaları ise hariç tutulmuştur. Etki kategorileri arasında sera gazı emisyonları, yenilenemeyen enerji kullanımı, su kullanımı ve arazi kullanımı yer almaktadır. Sığır eti verileri Thoma ve diğ. (2017)'nin çalışmasından alınmıştır. SimaPro v8 yazılım paketi kullanılarak yapılan çalışmada, IPCC 2007 ve Cumulative Energy Demand (Frischknecht ve diğ., 2007) hesaplama metotları kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, toplam KIP ve ATP-fosil etki değerleri, yapay et ve sığır eti için sırasıyla KIP: 0,4 kg CO₂ eşd.; 3,7 kg CO₂ eşd. ve ATP-fosil: 6,1 MJ; 11,4 MJ olarak hesaplanmıştır. Sığır etinden elde edilen

burgere kıyasla, yapay etin %90 daha az sera gazı emisyonu ürettiği; %46 daha az yenilenemeyen enerji gerektirdiği; su kullanımı üzerinde (%99'dan daha fazla oranda) daha az etkiye sahip olduğu ve arazi kullanımı üzerinde %93 daha az etki meydana getirdiği saptanmıştır.

Türkiye'de sucuk üretimine dair daha önce herhangi bir YDA çalışması yapılmamış olması bu çalışmanın özgünlük değerinin artmasına önem katmaktadır. Çalışmanın sonuçlarının literatür ile birebir kıyaslanması bu çalışma için yapılamamaktadır.



3. YÖNTEM

3.1. ET ENTEGRE TESİSİNE AİT SUCUK ÜRETİM PROSESİ

Çalışmaya konu olan tesis, Afyonkarahisar İli Organize Sanayi Bölgesi'nde yer almaktadır. Et işleme tesisinin toplam alanı 5000 m² olup bunun 3400 m²'sini kapalı alan oluşturmaktadır. Yılın 12 ayı sürekli üretim yapılmaktadır ve ana faaliyet fermente sucuk üretimidir. Tesis ortamının sıcaklığı 13°C'de sabit tutulmaktadır. Tesis işletmesinin yerleşimine ait "Google Maps" internet sitesinden alınan uydu görüntüsü Şekil 3.1'de ve faaliyet alanına ait tesis fotoğrafı Şekil 3.2'de verilmiştir.

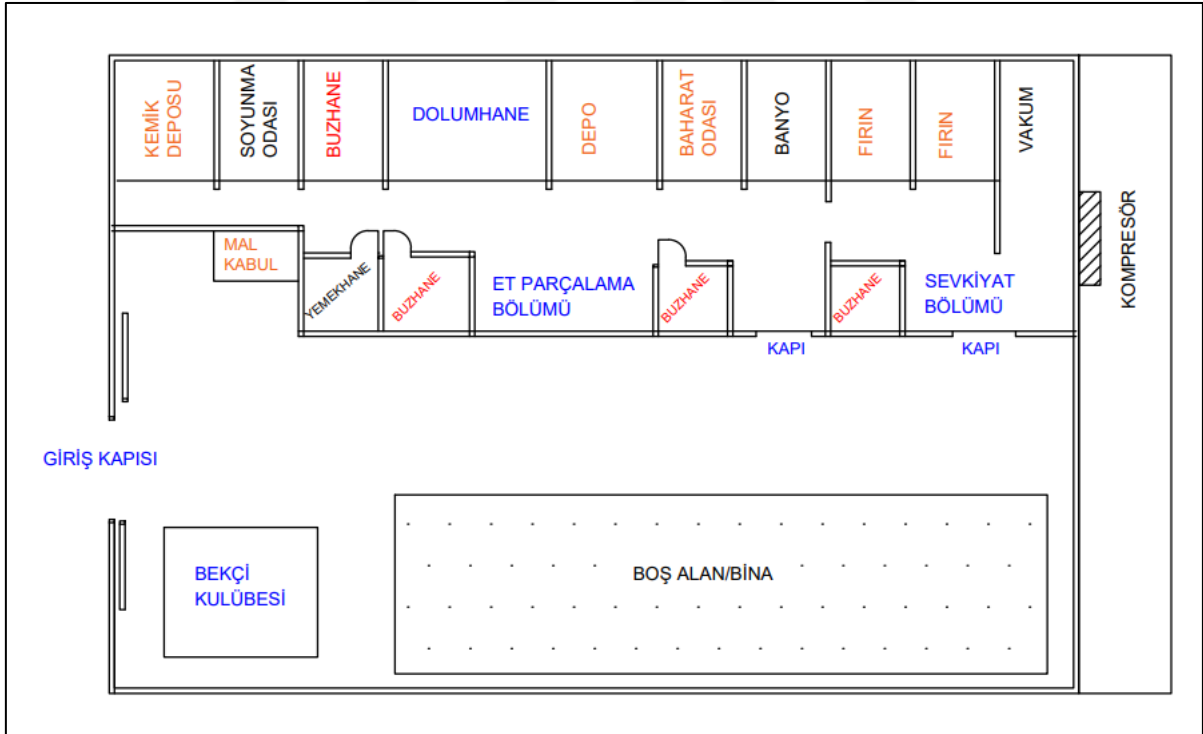


Şekil 3.1: Tesis uydu görüntüsü.



Şekil 3.2: Faaliyet alanı fotoğrafı.

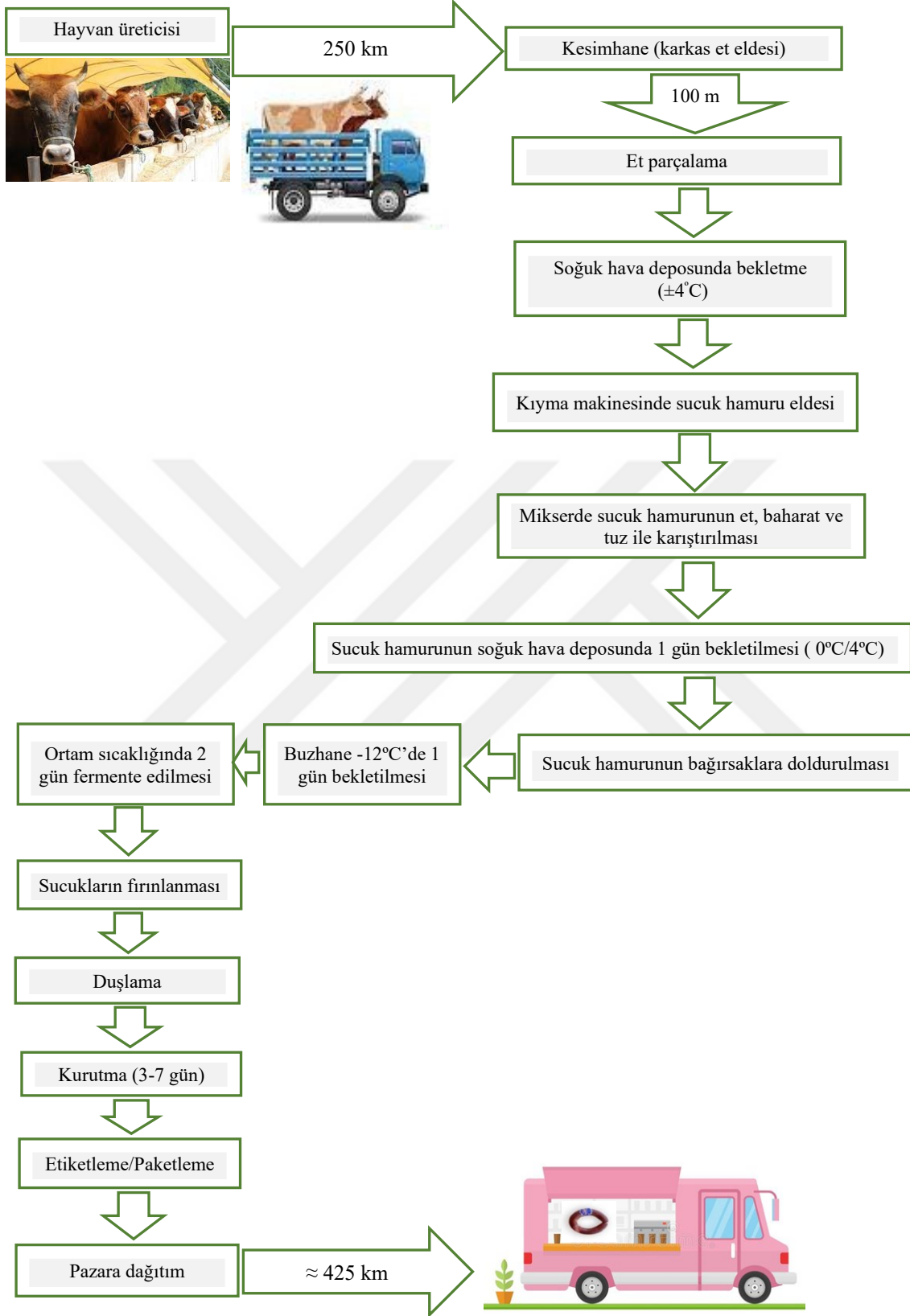
Tesis; karkas et kabulü, et parçalama bölümü, buzhane, dolumhane, baharat odası, depo, yemekhane, soyunma odası, banyo, fırın ve sevkiyat gibi bölümlerden oluşmaktadır. Tesis vaziyet planında yer alan vakum alanı ise kullanılmamaktadır. Tesiste 8 kişi çalışmaktadır. Tesise ait vaziyet planı Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3: Tesis vaziyet planı.

Canlı hayvan temini teze konu olan et entegre tesisi tarafından yapılmaktadır. Genellikle dana ve düve alımı tercih edilmekle birlikte, sucuğun mayasını oluşturduğu için arada camız alımı da yapılmaktadır. Hayvan üreticisinden alınan canlı hayvanlar dizel yakıt kullanılan kamyonlarla ortalama 250 km mesafeden kesimhaneye getirilmektedir. Hayvanlardan karkas eldesi bu kesimhaneye ücret karşılığı yaptırılmaktadır. Kesimhanede kesimi yapılan hayvanın derisi, sakatları ve bağırsağı kesimhanede bırakılmaktadır. Karkas ve et eldesi aşamasında ortaya çıkan boynuz, tırnak ve kemikler yetkili rendering tesislerine verilmektedir. Karkas et, kesimhaneden alınıp (yaklaşık 100 metre mesafe) et entegre tesisine getirilmektedir. Tesiste et parçalama bölümünde kemikler ve sinirler etten ayrılarak elde edilen etler soğuk hava deposunda 1 gün bekletilmektedir. Bir canlı hayvan ortalama 500 kg ağırlığında olup bunun yaklaşık 300 kg'ı karkas ettir. 300 kg karkas etin kemik ve sinirlerinden ayrıştırılmasından ortalama 250 kg et elde edilmektedir. Kıyma makinesine kemik ve sinirlerinden ayrıştırılmış et verilmektedir. Kıyma makinesi 200 kg'lık hazneye sahip olup her partide 20 dk çalışmaktadır. Kıyma makinesinde çekilen et, mikserde baharat ve tuz eklenerek karıştırılmaktadır. Et, tuz ve baharattan oluşan karışım, sucuk hamuru olarak isimlendirilmektedir. Mikserde 1 parti üretim için 15 dk karışım yapılmaktadır. Ardından sucuk hamuru soğuk hava deposunda 1 gün dinlendirilmektedir. Ayda ortalama 50 canlı hayvan kesiminden ortalama 14375 kg sucuk hamuru elde edilmektedir. Sucuk hamuru dinlendirildikten sonra kuzu bağırsağı dolumu ve dizi yapma için sucuk dolum makinesine aktarılmaktadır. 1 kg sucuk karışımına yaklaşık 1 metre kuzu bağırsağı kullanılmaktadır ve dizi yapmak için ayda yaklaşık 8 kg ip kullanılmaktadır. 1 parti üretim için 200 kg sucuk hamurundan 400 kangal sucuk elde edilmektedir. Tesiste üretilen 1 kangal fermente sucukta (0,5 kg) ortalama 200 g yağ (%40), 10 g tuz (%2), 15 g baharat (%3) ve 275 g dana eti (%55) bulunmaktadır. Sucuk, dolumu yapıldıktan sonra buzhanede -12°C'de 1 gün bekletilmektedir. Ardından ortam sıcaklığında 2 gün bekletilerek fermente edilmektedir. Sucuk dinlendirildikten sonra fırında 60°C ısıda 3 saat bekletilmektedir. Fırından çıkartıldıktan sonra 15 dk boyunca süzgeçli hortum ile duşlama yapılmaktadır. Duşlama sonrası sucuklar hava şartlarına göre 3-7 gün arasında kurumaya bırakılmaktadır. Sucuklar kuruduktan sonra etiketlenmekte ve kolilere konularak pazara dağıtım için hazırlanmaktadır. En çok dağıtım yapılan İstanbul İli olduğu için pazara dağıtım mesafesi ortalama 425 km olarak alınmıştır.

İncelenen tesise ait sucuk üretim prosesi iş akış şeması Şekil 3.4'te verilmiş olup her bir iş için ayrıntılar aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Et entegre tesisi sucuk üretim prosesi iş akış şeması.

- *Hammadde:* Sucuk yapımında sığır eti, tuz, baharat, etiket, ip ve bağırsak kullanılmaktadır. Ayda ortalama 50 canlı hayvan kesiminden yaklaşık 14.375 kg sucuk hamuru elde edilmektedir. Bunun için ayda 10 kg etiket, 8 kg sucuk bağlama ipi ve yaklaşık 20 kg bağırsak kullanıldığı hesaplanmıştır. Tesisten alınan bilgilere göre bir parti sucuk üretimi (200 kg sucuk hamurundan 400 kangal sucuk) için hammadde girdileri ve miktarları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Bir parti sucuk üretimi için hammadde girdileri.

Girdiler	Miktar	Birim
Sığır Eti	190	kg
Tuz	4	kg
Baharat	6	kg
Etiket	0,14	kg
Sucuk Bağlama İpi	0,11	kg
Bağırsak*	0,28	kg

*Tesiste sucuk yapımında doğal kuzu bağırsağı kullanıldığı için bu bilgi veritabanında bulunmadığından Bonou, (2016) kaynağında yer alan sentetik film verisi, bağırsak hammadde girdisi olarak kabul edilmiştir.

- *Hammaddelerin transferi:* Sığır eti için canlı hayvan Afyonkarahisar çevresinden ortalama 250 km mesafeden taşınmaktadır. Tuz, Akşehir’den temin edilmekte olup yaklaşık 100 km, baharat Kahramanmaraş’tan temin edilmekte olup yaklaşık 760 km, sucuk bağlama ipi ve kuzu bağırsağı Kayseri’den temin edilmekte olup yaklaşık 544 km uzaklık olarak alınmıştır. Kabul edilen mesafeler “Google maps” internet sitesinden hesaplanmıştır. Hammaddelerin temin edildiği yerler, transfer araç tipleri (tonkilometre-tkm) ve taşıma mesafeleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Hammaddeler ve transfer mesafeleri.

Girdiler	Bölge	Taşıma Mesafesi (km)	Ulaşım Aracı
Kesim İçin Sığır, Canlı Ağırlık	Afyonkarahisar	250	Nakliye kamyonu 3.5-7.5 tkm
Tuz	Akşehir	100	Nakliye kamyonu 3.5-7.5 tkm
Baharat	Kahramanmaraş	760	Nakliye kamyonu 3.5-7.5 tkm
Etiket	Afyonkarahisar	10	Hafif ticari araç
Sucuk Bağlama İpi	Kayseri	544	Nakliye kamyonu 3.5-7.5 tkm
Bağırsak	Kayseri	544	Nakliye kamyonu 3.5-7.5 tkm

- *Üretim aşamaları:* Tesiste sucuk üretim prosesi karkas et alımı ile başlamaktadır. Kesim, soğutma, kıyma, mikser, sucuk dolumu, fırınlama, duşlama ve etiketleme prosesleri üretim aşamaları içerisinde değerlendirilmiştir. Tesiste sucuk üretim prosesinde kullanılan ekipmanlar soğuk hava depoları (modellemeye “soğutucu” olarak geçmektedir), kıyma makinesi, mikser (karıştırma makinesi), sucuk dolum makinesi ve fırın olmak üzere elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Soğutma 7,45 kW, kıyma makinesi 14,9 kW, mikser 9 kW, sucuk dolum makinesi 3,728 kW ve fırın 8 kW gücünde özelliklere sahiptir. Bu özelliklere göre harcadıkları aylık enerji sarfiyatları envanter kısmında verilmiştir. 1 parti sucuk üretimi aşamasında (200 kg sucuk karışımı=400 kangal sucuk) ekipmanların çalışma süreleri şu şekildedir: Soğuk hava deposu 96 saat, kıyma makinesi 0,33 saat, mikser 0,25 saat, sucuk dolum makinesi 4 saat ve fırın 3 saat. Üretim aşamalarında kullanılan makine ve ekipmanlara ait görsel ve bilgiler Şekil 3.5’te verilmiştir.

Soğuk Hava Deposu	Kıyma Makinesi	Mikser
		
Güç (kW): 7,45 Süre (saat): 96	Güç (kW):14,9 Süre (saat): 0,33	Güç (kW): 9 Süre (saat): 0,25
Sucuk Dolum Makinesi		Fırın
		
Güç (kW): 3,728 Süre (saat): 4		Güç (kW): 8 Süre (saat): 3

Şekil 3.5: Üretim aşamalarında kullanılan makine/ekipman bilgileri.

- *Tüketiciye transfer:* Bu aşama sucukların paketlenmesi ve pazara dağıtımını içermektedir. Pazara dağıtım aşamasında en çok sevkiyat yapılan yer olarak İstanbul İli temel alınmış ve “Google maps” internet sitesinden 425 km sevkiyat mesafesi olarak kabul edilmiştir.

3.2. SUCUK ÜRETİMİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ UYGULAMASI

3.2.1. Amaç ve Kapsam

Bu YDA çalışmasının amacı Afyonkarahisar İli OSB’de faaliyet gösteren bir et entegre tesisinin fermente sucuk üretimi kapsamında çevresel etkilerinin ortaya konarak değerlendirilmesi ve tesisin sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesidir. Bu kapsamda tesisin mevcut üretiminin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinin ardından bu etkilerin azaltılmasına yönelik alternatif senaryolar oluşturularak tesis sürdürülebilirliğindeki iyileştirmeler ölçülecektir. Hammaddelerin transferi, sucuk üretim aşamaları ile üretimde harcanan enerji, su ve temizlik maddesi miktarları ve tüketiciye transfer süreçleri YDA çalışmasının kapsamındadır. Hammaddelerin üretim aşamaları, hayvan kesimi ve sucuk ürününün tüketici kapısına teslimi, kapsam dışında bırakılmıştır. 1 yıllık veri (2020) ilgili tesis ziyaretlerinden alınmıştır. Bu çalışma için yapılan YDA modellemesi özet tablosu Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3: YDA modellemesine ait özet tablosu.

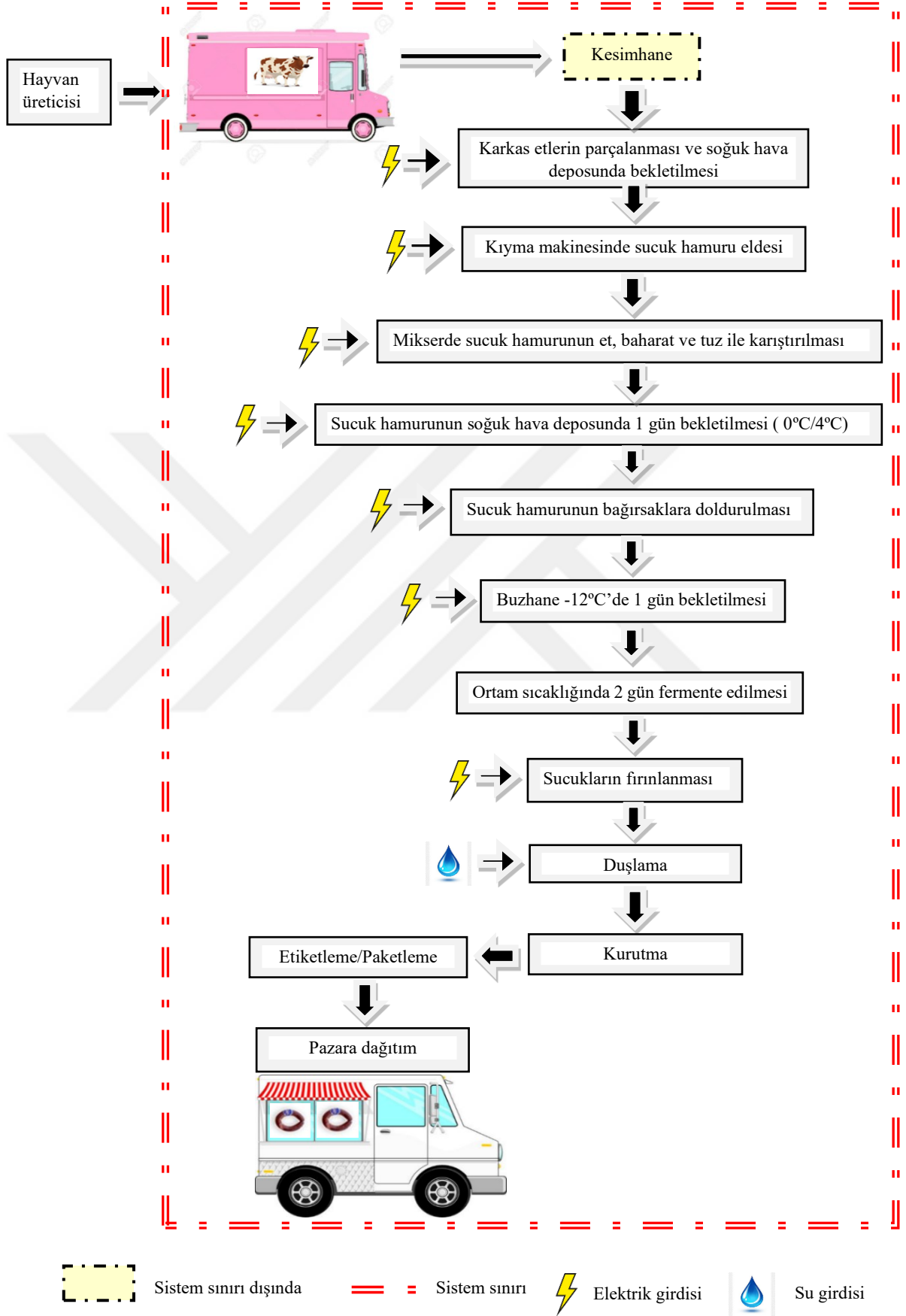
Amaç ve Kapsam	: Et entegre tesisinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi.
Fonksiyonel Birim	: 1 kangal sucuk (0,5 kg).
YDA Yazılım Paketi	: SimaPro 9.1.1.7 eğitim sürümü.
Hesaplama Metodu	: CML-IA baseline EU25.
Yazılım Arkaplan Verileri	: Ecoinvent 3 ve Agri-footprint 5.
Kesme Kriteri	: %1 kesme kriteri.
Tahsisler	: Sucuk üretim aşamasında yan ürün bulunmaması nedeniyle tahsis modeli uygulanmamıştır. Canlı hayvan kesiminden kaynaklı yan ürünler kesimhanede bırakıldığı için kesimhane sistem sınırı dışında bırakılmıştır.

Fonksiyonel Birim

Bu çalışmada yapılan YDA için fonksiyonel birim 1 kangal sucuk (0,5 kg) olarak seçilmiştir. YDA sonucundan elde edilen etki değerleri sonuçları, 1 kangal sucuk üretiminde oluşan çevresel etkilerdir.

Sistem Sınırı

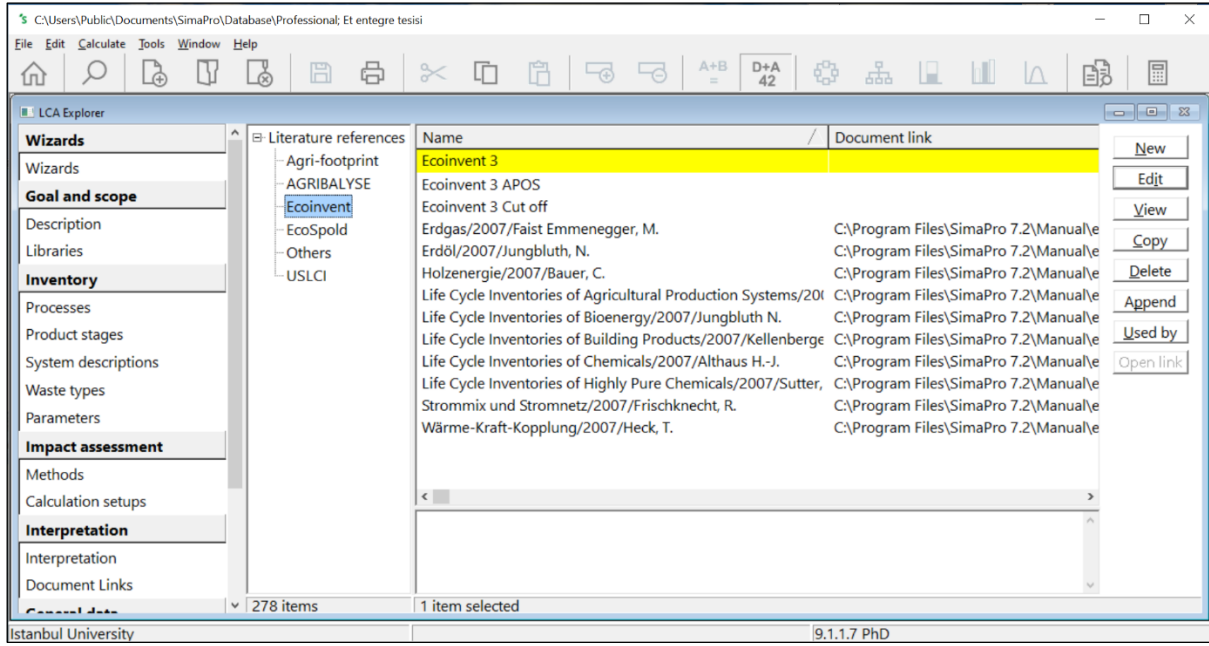
Bu çalışmada YDA sistem sınırı, canlı hayvan üreticisinden canlı hayvanın dizel yakıtlı araçlarla transferi ile başlamakta olup karkas etlerin et entegre tesisine taşınması, sucuk üretim aşamaları, paketleme ve pazara dağıtım süreçlerini içermektedir. Sucuk üretimi YDA çalışmasının sistem sınırları Şekil 3.6’da verilmiştir. Kırmızı kesikli çizgi içerisinde yer alan akışlar, sistem sınırlarının kapsama alanında yer almaktadır.



Şekil 3.6: Sistem sınırı.

3.2.1.1. Kullanılan Yazılım Programı

Bu YDA çalışmasında PRé Sustainability adlı bir Hollanda şirketi tarafından geliştirilen “9.1.1.7 Education” sürümü SimaPro yazılımı kullanılmıştır. SimaPro yazılım programı YDA aşamaları olan amaç ve kapsam tanımı, envanter, etki değerlendirme ve yorumlama kısımlarından oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan SimaPro yazılımının 9.1.1.7 sürümünün yapısı Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: SimaPro v9.1.1.7 yazılım programının yapısı.

3.2.2. Envanter Analizi

Envanter analizi, tesisten elde edilen verilerin seçilen fonksiyonel birim için belirlenmesidir. Bu çalışmada et entegre tesisinden 1 senelik veriler (2020) alınarak oluşturulan envanter bilgisine göre SimaPro yazılımında “Ecoinvent 3” ve “Agri-footprint 5” veritabanları kullanılarak modellenmiştir. Bu kapsamda sucuk üretimi aşamasında hammadde girdileri, transfer mesafeleri, üretim aşamasında sisteme enerji, su vb. girdilerin akışları belirlenerek modellenmiştir.

Tesisten ziyaret esnasında alınan birincil veriler çerçevesinde hammadde verisi olarak canlı hayvan ağırlığı ortalama 500 kg olarak alınmıştır. Ortalama 500 kg büyükbaş canlı hayvanın %60’ı karkas, %2,55’i sakatat, %8,27’si deri, %3,23’ü kafa, %6,68’i kan, %2,49’u işkembe ve %1,74’ü bağırsaktan oluşmaktadır. Geri kalan diğer kısımlar ise %15,04’ünü oluşturmaktadır. Tablo 3.4’te büyükbaş canlı hayvanın kesim prosesi- kütle dengesi verilmiştir (Yıldırım, 1998). Sonuç olarak, sığır etinden karkas ağırlığa dönüştürme faktörü %60 olup buna göre 500 kg canlı ağırlıktan 300 kg karkas et elde edilmektedir.

Tablo 3.4: Kesim prosesi-kütle dengesi.

Ürünler	Büyükbaş Canlı Ağırlık (500 kg)	
	Yüzde (%)	Miktar (kg)
Karkas	60	300
Sakatat	2,55	12,75
Deri	8,27	41,35
Kafa	3,23	16,15
Kan	6,68	33,40
Boş Bağırsak	1,74	8,7
Boş İşkembe	2,49	12,45
Diğer	15,04	75,2
TOPLAM	100	500

Çalışmada canlı hayvanın üreticiden alınması ve transferi ile başlayan süreç; kesim, karkas et, üretim ve pazara dağıtım aşamalarını içermektedir. Canlı hayvanın kesiminden kalan insan gıdası olarak kullanılmayan sindirimdeki besin ve dışkı haricindeki kemik, kıkırdak, kan gibi artık ürünler yem sanayisinde değerlendirilmek üzere kesimhane tarafından rendering işletmesine sevk edilmektedir. Hayvanların kesim işleminden sonra gövdeden ayrılan deri, bağırsak, böbrek gibi bölümleri yenilebilen ürün olarak ve endüstride hammadde olarak kullanılmak üzere değerlendirilmektedir.

Temin edilen tüm veriler, belirlenen fonksiyonel birim olan 1 kangal sucuk (0,5 kg) için karakterize edilmiştir. Fonksiyonel birim için hammadde ve miktarları ile hammaddelerin transferi aşamasının tkm girdileri Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Fonksiyonel birim (1 kangal sucuk) başına hammadde ve transfer girdileri.

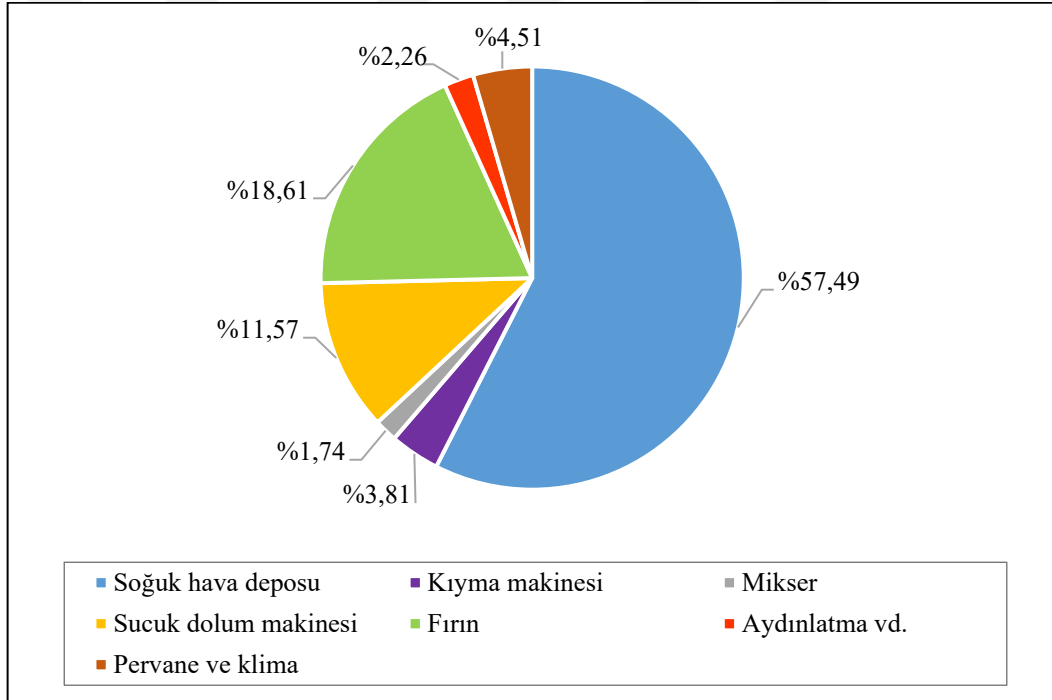
Hammadde Girdileri	Miktar (kg)	Transfer Mesafesi (tkm)
Kesim için sığır, canlı ağırlık	0,86956	0,21739
Tuz	0,00869	0,000869
Baharat	0,013	0,00988
Etiket	0,000347	0,00000347
İp	0,000278	0,000151232
Bağırsak	0,0006875	0,000374

Üretim aşamasında tesiste kullanılan makine ve ekipmanlar (soğuk hava depoları, kıyma makinesi, mikser, sucuk dolum makinesi, fırın) elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Tesisin ortam sıcaklığı üretim şartları nedeniyle 13°C ısıda sürekli sabit tutulmaktadır. Bunun için otomatik olarak devreye giren ısıtıcı ve soğutucular bulunmaktadır. Soğutucular elektrik enerjisi ile çalıştırılmakta olup ısıtıcılar doğalgaz ile çalıştırılmaktadır. Afyonkarahisar ilinde yıllık ortalama sıcaklık 9,9-13°C olup ısıtma amaçlı doğalgaz kullanımı kısıtlı olduğu için ihmal

edilmiştir. Tesisten elde edilen aylık elektrik enerjisi tüketim verileri ile makine/ekipmanların fonksiyonel birim başına harcadıkları enerji sarfiyatı miktarları ve yüzde dağılımları Tablo 3.6’te ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

Tablo 3.6: Makine/ekipmanların aylık enerji sarfiyatları (fonksiyonel birim başına).

Makine / Ekipman	Aylık Elektrik Sarfiyatı (kWh)
Soğuk hava deposu	5328,2
Kıyma makinesi	353,4
Mikser	161,7
Sucuk dolum makinesi	1071,8
Fırın	1725
Aydınlatma vd.	209,1
Pervane ve klima	418,2
TOPLAM	9267,4



Şekil 3.8: Makine ve ekipmanların elektrik sarfiyatının yüzdesel dağılımı.

Tesiste enerji kaynağı olarak şebeke elektriği kullanılmaktadır. Türkiye’nin 2020 yılı elektrik enerjisi şebeke elektriği kaynak dağılımını %25,47 hidroelektrik, %23,13 doğal gaz, %22,13 kömür, %12,37 linyit, %8,1 rüzgâr, %3,57 güneş, %3,27 jeotermal enerji oluşturmaktadır (TÜİK, 2019).

Et entegre tesisinde sucuk üretimi aşamasında yer alan kesim, soğutma, kıyma, mikser, dolum, fırınlama ve duşlama proseslerinin fonksiyonel birim başına girdileri Tablo 3.7’de gösterilmiştir.

Tablo 3.7: Sucuk üretim proseslerinin fonksiyonel birim başına girdileri.

Proses	Girdi	Miktar	Birim
Kesim	Su	0,0002396	kg
	Temizlik Maddesi	0.0004173	kg
	Elektrik	0,08845	kWh
Soğutma	Elektrik	1,788	kWh
Kıyma	Elektrik	0,0122925	kWh
Mikser	Elektrik	0,005625	kWh
Sucuk dolumu	Elektrik	0,03728	kWh
Fırınlama	Elektrik	0,06	kWh
Duşlama	Su	0,00075	m ³

Et entegre tesisinde temizlik maddesi olarak ABS (alkil benzen sülfonik asit) hammaddesi içeren temizlik maddesi kullanılmaktadır. Tesiste duşlama esnasında harcanan su, dolumu yapılan sucukların fırından çıktıktan sonra 15 dk boyunca süzgeçli hortum kullanılarak şebeke suyu ile yıkanması sürecindeki tüketim dikkate alınarak hesaplanmıştır. 1 parti sucuk üretiminde fırından çıktıktan sonra 400 kangal (200 kg sucuk) sucuk 15 dk boyunca yaklaşık 300 Litre (L) su harcanarak duşlama işlemi yapılmaktadır. Şekil 3.9’da duşlama işleminden sonra süzölmeye bırakılan sucukların görseli verilmiştir.

**Şekil 3.9:** Duşlama aşamasından sonra süzölmeye ve kurumaya bırakılan sucuk üretimi.

Pazara dağıtım aşamasında tesiste üretilen sucuklar paketlenerek İstanbul iline dağıtımı yapılmaktadır. Paketleme aşaması bu prosesin içerisinde yer almakta olup paketleme için koliler Eskişehir’den temin edilmektedir ve ambalaj filmi olarak düşük yoğunluklu polietilen (PE) film kullanılmaktadır. Pazara dağıtım aşamasında yer alan envanter girdileri Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8: Pazara dağıtım aşamasının fonksiyonel birim başına girdileri.

Girdi	Miktar	Birim
Karton koli	0,00375	Kg
Paketleme filmi*	0,00295	Kg
Karton koli transfer mesafesi	0,000495	Tkm
Pazara dağıtım	0,2125	Tkm

* Paketleme filmi ile ilgili birincil veri bulunmadığından bu veri girdisi literatürden kabul edilmiştir (Bonou 2016).

Yukarıda verilen envanter bilgisine göre prosesler için “Ecoinvent 3” ve “Agri-footprint 5” veritabanlarında kullanılan genel bilgiler Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.9: SimaPro Yazılımında Yer Alan Ecoinvent 3/Agri-footprint 5 Veritabanı Seti.

Proses	SimaPro Yazılımında Yer Alan Ecoinvent 3/Agri-footprint 5 Veritabanı Seti
Hammaddelerin Tesise Transferleri	<i>Et (canlı hayvan)</i> Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 Cut-off, U
	<i>Tuz</i> Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 Cut-off, U
	<i>Baharat</i> Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 Cut-off, U
	<i>Etiket</i> Transport, freight, light commercial vehicle {RoW} market for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U
	<i>İp</i> Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 Cut-off, U
	<i>Bağırsak</i> Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 Cut-off, U
Şebeke Elektrik	Electricity, medium voltage {TR} market for Cut-off, U
Canlı Hayvan	Cattle for slaughtering, live weight {RoW} market for cattle for slaughtering, live weight Cut-off, U
Pazara Dağıtım	<i>Soğutucu-dondurucu araç</i> Transport, freight, lorry with refrigeration machine, 3.5-7.5 ton, EURO4, R134a refrigerant, freezing {GLO} transport, freight, lorry with refrigeration machine, 3.5-7.5 ton, EURO4, R134a refrigerant, freezing Cut-off, U
	<i>Paketleme kolisi</i> Corrugated board box {RoW} market for corrugated board box Cut-off, U

3.2.3. Etki Analizi

Etki analizi aşamasında envanter analizi sırasında tanımlanan olası çevresel emisyonların insan sağlığı ve çevresel değerler ve aynı zamanda doğal kaynak tüketimi üzerindeki etkileri, SimaPro yazılımı kullanılarak CML-IA hesaplama metoduna göre karakterize edilmiştir. CML-IA, Hollanda'daki Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Merkezi (CML) tarafından geliştirilen bir YDA metodolojisi. CML-IA, çeşitli etki kategorilerini değerlendiren bir orta nokta yöntemidir. CML-IA yöntemi ile etki analiz aşamasında 11 etki kategorisi dikkate alınmıştır: *Abiyotik Tüketim potansiyeli (ATP)*, *Abiyotik Tüketim Potansiyeli - Fosil yakıtlar (ATP-fosil)*, *Küresel Isınma Potansiyeli (KIP)*, *Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (OTİP)*, *İnsana Toksisite Potansiyeli (İTP)*, *Tatlı Su Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (TSCEP)*, *Deniz Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (DCEP)*, *Kara Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (KCEP)*, *Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli (FOP)*, *Asidifikasyon Potansiyeli (AP)* ve *Ötrotfikasyon Potansiyeli (ÖP)*. Aşağıda CML-IA etki analizi metoduna göre bu etki kategorilerinin kapsamaları verilmiştir.

Abiyotik Tüketim potansiyeli (ATP); insan ve ekosistem sağlığının korunması ile bağlantılı olup fosil olmayan abiyotik kaynakların tükenmesini ifade etmektedir. Sistemdeki girdilerden dolayı minerallerin çıkarılmasıyla ilgilidir. Abiyotik tüketim faktörü, her bir mineral ekstraksiyonu (kg antimon eşdeğeri/kg ekstraksiyon) için konsantrasyon rezervlerine ve de birikim hızına göre belirlenmektedir. “kg Sb eşd.” birimi kullanılmaktadır (PRé. various authors, 2020).

Abiyotik Tüketim Potansiyeli - Fosil yakıtlar (ATP-fosil); insan ve ekosistem sağlığının korunması ile bağlantılı olup fosil kaynaklı abiyotik kaynakların tükenmesini (elementler, nihai rezervler) ifade etmektedir. Fosil yakıtların abiyotik tükenmesi, kg m^3 fosil yakıt başına MJ (megajoule) olarak ifade edilen Düşük Isıtma Değeri (LHV) ile ilişkilidir. Bu göstergenin coğrafi kapsamı küresel ölçekte. “MJ” birimi kullanılmaktadır (PRé. various authors, 2020). Küresel Isınma Potansiyeli (KIP); sera gazı emisyonlarının havaya salınması nedeniyle oluşabilecek potansiyel küresel ısınmanın göstergesidir. Karakterizasyon faktörlerinin geliştirilmesi için Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından geliştirilen bir karakterizasyon modelidir. Bu göstergenin coğrafi kapsamı küresel ölçekte. “kg CO₂ eşd.” birimi kullanılmaktadır (PRé. various authors, 2020).

Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (OTİP); karakterizasyon modeli Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından geliştirilmiştir ve farklı gazların ozon tüketme potansiyelini, kg CFC-11 eşdeğeri/kg emisyon (kg CFC-11 eşd.) ifadesi üzerinden

tanımlamaktadır. Bu kategori çıktıyla ilgilidir ve küresel ölçekte; zaman aralığı sonsuzdur. “kg CFC-11 eşd.” birimi kullanılmaktadır (PRé. various authors, 2020).

İnsana Toksisite Potansiyeli (İTP); bu kategori, zehirli maddelerin insan organizması üzerindeki etkileriyle ilgilidir. Çalışma ortamında bu zehirli etkilere maruz kalmanın, sağlık açısından oluşturacağı riskleri, insana toksisite potansiyeline dahil değildir. Bu göstergenin coğrafi kapsamı, bir maddenin kaderini belirler; yerel ve küresel ölçekte değişebilir. 1,4-diklorobenzen eşdeğeri/kg emisyon (kg 1,4-DB eşd.) olarak ifade edilir (PRé. various authors, 2020).

Tatlı Su Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (TSCEP); bu kategori göstergesi, toksik maddelerin havaya, suya ve toprağa salınmasının bir sonucu olarak tatlı su ekosistemleri üzerindeki etkisini ifade etmektedir. Zaman aralığı sonsuz olup gösterge küresel/kıtasal/bölgesel ve yerel ölçekte geçerlidir. 1,4-diklorobenzen eşdeğeri/kg emisyon (kg 1,4-DB eşd.) olarak ifade edilir (PRé. various authors, 2020).

Deniz Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (DCEP); deniz ekotoksitesisi, toksik maddelerin deniz ekosistemleri üzerindeki etkilerini ifade etmektedir. Zaman aralığı sonsuz olup gösterge küresel/kıtasal/bölgesel ve yerel ölçekte geçerlidir. 1,4-diklorobenzen eşdeğeri/kg emisyon (kg 1,4-DB eşd.) olarak ifade edilir (PRé. various authors, 2020).

Kara Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (KCEP); toksik maddelerin karasal ekosistemler üzerindeki etkilerini ifade etmektedir. Zaman aralığı sonsuz olup gösterge küresel/kıtasal/bölgesel ve yerel ölçekte geçerlidir. 1,4-diklorobenzen eşdeğeri/kg emisyon (kg 1,4-DB eşd.) olarak ifade edilir (PRé. various authors, 2020).

Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli (FOP); fotooksidan oluşumu, insan sağlığına ve ekosistemlere zararlı olan ve aynı zamanda mahsullere de zarar verebilecek reaktif maddelerin (esas olarak ozon) oluşumu olup bu sorun “yaz sisi” ile de belirtilmektedir. Kış dumanı bu kategorinin kapsamı dışındadır. Zaman aralığı 5 gündür ve coğrafi ölçek yerel ve kıtasal ölçek arasında değişmektedir “kg C₂H₄ eşd.” olarak ifade edilir (PRé. various authors, 2020).

Asidifikasyon Potansiyeli (AP); asitleştirici maddeler toprak, yeraltı suyu, yüzey suyu, organizmalar, ekosistemler ve malzemeler (binalar) üzerinde çok çeşitli etkilere neden olur. Havaya emisyonlar için AP, asitleştirici maddelerin kaderini ve birikimini açıklayan uyarlanmış RAINS 10 modeli ile hesaplanır. AP, kg kükürdioksit eşdeğeri/ kg emisyon (kg SO₂ eşd.) olarak ifade edilir. Zaman aralığı sonsuzluktur ve coğrafi ölçek yerel ölçek ile kıta ölçeği arasında değişmektedir. “kg SO₂ eşd.” olarak ifade edilir (PRé. various authors, 2020).

Ötrofikasyon Potansiyeli (ÖP); ötrofikasyon, besin maddelerinin havaya, suya ve toprağa salınmasının neden olduğu ortamdaki aşırı makro besin seviyelerine bağlı tüm etkileri içermektedir. Zaman aralığı sonsuzluktur ve coğrafi ölçek yerel ve kıtasal ölçek arasında değişmektedir. AP, Heijungs'un (1992) stokiyometrik prosedürüne dayanmakta olup kg emisyon başına kg PO₄ eşdeğeri (kg PO₄ eşd.) olarak ifade edilmektedir (PRé. various authors, 2020).

3.2.4. Hassasiyet Analizi

Tez çalışmasında kullanılan yaşam döngüsü etki analizi metodunun (CML-IA) sonuçlarının sağlamlığını (robustness) kontrol etmek amacıyla mevcut durum ve enerji senaryolarına ait öne çıkan etki kategorileri (ATP-fosil, OTİP, DCEP ve AP) SimaPro programında farklı 2 etki değerlendirme metodu (ReCiPe 2016 Midpoint H ve IMPACT 2002+) ile ayrıca değerlendirilmiş ve karşılaştırma yapılmıştır.

ReCiPe metodu ilk olarak 2008 yılında Hollanda Ulusal Halk Sağlığı ve Çevre Enstitüsü (RIVM), Radboud Üniversitesi Nijmegen, Leiden Üniversitesi ve PRé Sustainability arasındaki işbirliğiyle geliştirilmiştir. ReCiPe metodu, bir orta nokta ve son nokta yöntemidir. Yöntem, çeşitli orta nokta etki kategorilerini ve uç nokta düzeyinde insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynakların korunmasına ilişkin üç alanı değerlendirir. ReCiPe 2016 metodu, mümkün olduğunda Avrupa ölçeği yerine küresel kapsama sahip etki mekanizmalarını kullanması ve en geniş orta etki kategorileri kümesine sahip olması nedeniyle bazı etki inceleme metodlarına göre öne çıkmaktadır. Ayrıca, diğer metotlardan farklı olarak (Eko-Gösterge 99, EPS Yöntemi, LIME ve IMPACT 2002+), etki değerlendirmesine gelecekteki çıkarımlardan kaynaklanan potansiyel etkileri dahil etmez ancak bu tür etkilerin envanter analizine dahil edildiğini varsayar (Huijbregts ve diğ., 2017).

IMPACT 2002+ metodu, “Toksik Kimyasalların Etki Değerlendirmesi”nin kısaltması olup, orijinal olarak İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü-Lozan (EPFL) tarafından geliştirilen bir etki değerlendirme metodolojisidir. CML-IA gibi bu yöntem de Avrupa ölçeğinde değerlendirme yapmaktadır (PRé. various authors, 2020).

IMPACT 2002+ metodu, orta nokta yöntemi ile zarar yönteminin birleştirildiği kombine odaklı yaklaşımın uygulanabilir bir uygulamasını önermektedir. Bu uygulama ile çevresel etkiler, çeşitli orta nokta etki kategorileri ile 4 zarar kategorisinin (insan sağlığı, ekosistem kalitesi, iklim değişikliği ve kaynaklar) ile ilişkilendirilmesi ile ortaya konmaktadır (Huijbregts ve diğ., 2017).

3.2.5. Yorumlama

Sonuçların yorumlanması, YDA’da envanter analizi ve hesaplama metodu ile çevresel etki değerlendirme kategorilerine göre bulguların değerlendirilmesini içeren son aşamayı oluşturmaktadır (ISO 14040, 2006). SimaPro yazılımı ve “9.1.1.7 Education” sürümü içerisinde yer alan “Ecoinvent 3” ve “Agri-footprint 5” veritabanları kullanılarak modellenen çalışmada, sucuk üretiminin mevcut durumdaki etki değerlendirme sonuçları ve alternatif senaryoların etki değerlendirme sonuçları, CML-IA metodunda yer alan 11 etki kategorisine göre değerlendirilerek yorumlanmıştır.

3.3. ALTERNATİF SENARYOLARIN OLUŞTURULMASI

Bu tez çalışmasının amacı sucuk üretiminin mevcut çevresel etkilerini ortaya koymanın yanı sıra üretimin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik üretimde sürdürülebilirliği destekleyecek önerilerde bulunmaktır. Bu kapsamda tesiste enerji kullanımı ve ürünün pazara dağıtımı için alternatif senaryolar oluşturulmuştur. İncelenen tesiste enerji kaynağı olarak şebeke elektriği kullanılmaktadır. Türkiye’nin 2020 yılı elektrik enerjisi şebeke elektriği kaynak dağılımını %22,13 kömür, %25,47 hidroelektrik, %23,13 doğalgaz, %12,37 linyit, %8,1 rüzgâr, %3,27 jeotermal, %3,57 güneş enerjisi, %1,86 biyokütle-biyogaz gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır (TÜİK, 2020).

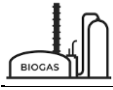
Bu rakamlardan görüldüğü üzere şebeke elektriğinin büyük bir kısmı yenilenemeyen doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Tesiste kullanılan elektriğin yenilenemeyen doğal kaynaklardan değil yenilenebilir doğal kaynaklardan elde edilmesi tesisin sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesinde katkısı olacak adımlardan birisidir. Tesisin bulunduğu Afyonkarahisar bölgesinde jeotermal enerji santralleri, rüzgâr enerji santralleri ve biyogaz enerji üretim tesisleri yer almaktadır. Bu çerçevede çalışma kapsamında tesiste mevcutta kullanılan şebeke elektriği yerine bölgede yer alan yenilenebilir enerjinin (jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve biyogaz enerjisi) kullanıldığı 5 adet alternatif enerji senaryosu oluşturulmuştur.

Üretimde kullanılan enerjinin yenilenebilir enerji ile değiştirildiği alternatif senaryolara ilave olarak transfer aşamasından kaynaklanan çevresel etkileri azaltmaya yönelik 2 adet alternatif transfer senaryosu oluşturulmuştur. Üretilen sucuğun pazara dağıtımında kullanılan karayolu aracının yerine daha düşük emisyonlu aracın kullanıldığı bir alternatif dağıtım senaryosu ve hammadde transferinde karayolu yerine raylı sistemin kullanıldığı bir alternatif transfer senaryosu çalışılmıştır.

3.3.1. Alternatif Enerji Senaryoları

Sucuk üretim aşamasında şebeke elektriğinin kullanıldığı mevcut duruma (MD) alternatif enerji senaryosu (ES) olarak; Afyonkarahisar’da bulunan 2,76 MW kurulu gücü olan jeotermal enerji santralinden (ES-1); 27,20 MW kurulu gücü olan rüzgar enerji santralinden (ES-2); fotovoltaik çoklu enerji panellerinden oluşan güneş enerjisinden (ES-3) ve 4,02 MW kurulu gücü olan biyogaz enerji santralinden (ES-4) elektrik temini ele alınmıştır. Ayrıca; tesiste 24 saat çalışan soğuk hava depoları için kurulan fotovoltaik güneş enerjisi panelleri alternatif beşinci enerji senaryosu olarak (ES-5) oluşturulmuştur. Alternatif enerji senaryoları ve SimaPro yazılımında yer alan veritabanı sayfasının yer aldığı bilgiler Tablo 3.10’da gösterilmiştir.

Tablo 3.10: Alternatif enerji senaryoları.

Senaryo Adı	Enerji Türü	SimaPro Yazılımında Yer Alan Ecoinvent Veritabanı Seti
MD 	Şebeke Elektriği	Electricity, medium voltage {TR} market for Cut-off, U
ES-1 	Jeotermal Enerji	Electricity, high voltage {TR} electricity production, deep geothermal Cut-off, U
ES-2 	Rüzgâr Enerjisi	Electricity, high voltage {TR} electricity production, wind, >3MW turbine, onshore Cut-off, U
ES-3 	Güneş Enerjisi	Electricity, low voltage {TR} electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted Cut-off, U
ES-4 	Biyogaz Enerjisi	Electricity, high voltage {TR} heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U
ES-5 	Güneş Enerjisi (Soğutma sistemlerinde fotovoltaik güneş enerjisi panellerinin kullanımı)	Electricity, low voltage {TR} electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted Cut-off, U

3.3.2. Alternatif Transfer Senaryoları

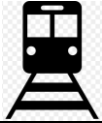
Çalışmada hammaddelerin transferi ve pazara dağıtımını Euro 4 tipi araçlar kullanılarak karayolu ile yapılmaktadır. Hammaddelerin transferinden ve ürünün eldesinden sonra pazara dağıtımını aşamalarından kaynaklı çevresel etkilerin emisyonlarını azaltmaya yardımcı olması amacıyla 2 türlü transfer senaryosu oluşturulmuştur:

Transfer senaryosu 1 (TS-1): Hammaddelerin transferi ve sucuğun pazara dağıtımını aşamalarında Euro 4 tipi araç yerine Euro 6 tipi araç kullanılması durumu.

Transfer Senaryosu 2 (TS-2): Hammaddelerin transferi aşamasında karayolu yerine raylı taşıma (tren yolu) tercih edilmesi; hammaddelerin yük treni ile taşınması durumu.

Alternatif transfer senaryoları ve SimaPro yazılımında yer alan veritabanı sayfasının yer aldığı bilgiler Tablo 3.11’de gösterilmiştir.

Tablo 3.11: Alternatif transfer senaryoları.

Senaryo Adı	Transfer Türü	SimaPro Yazılımında Yer Alan Ecoinvent Veritabanı Seti
TS-1 	Euro 6 Tipi Araç (Hammaddelerin tesise transferi)	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RoW} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U
	Euro 6 Tipi Soğutucu-dondurucu Araç (Sucuğun pazara dağıtımını)	Transport, freight, lorry with refrigeration machine, 3.5-7.5 ton, EURO6, R134a refrigerant, freezing {GLO} market for Cut-off, U
TS-2 	Raylı Taşıma (Hammaddelerin tesise yük treni ile transferi)	Transport, freight train {RoW} market for Cut-off, U

4. BULGULAR

Afyonkarahisar İli OSB’de yer alan ve fermente sucuk üretimi faaliyeti yapan et entegre tesisine ait 2020 yılı verileri, tesis ile kişisel iletişime geçilerek elde edilmiş birincil veriler olup Tablo 4.1’de verilmiştir. 1 parti sucuk üretiminden yaklaşık 400 kangal (ortalama 200 kg sucuk) ürün elde edilmektedir. Sucuk üretiminde makine/donanımlar elektrik ile işletilmekte olup doğalgaz vb. yakıt kullanımı üretim aşamasında söz konusu değildir. Tesiste harcanan su şebekeden temin edilmektedir. Kesim aşamasından gelen karkasların yıkanmasında ve fırınlamadan sonra bir parti üretilen kangal sucukların süzgeçli hortum kullanılarak duşlanması aşamasında su kullanılmaktadır. Tesisin elektrik tüketim verileri 12 ay olarak alınmış olup aylık ortalama elektrik tüketimi 11.809,65 kWh olarak hesaplanmıştır. Et entegre tesisinden elde edilen birincil veriler ortalama yıllık olarak Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Et entegre tesisinden elde edilen yıllık ortalama birincil veriler.

Birincil Veriler	Miktar	Birim
Kesilen hayvan sayısı	600	Adet
Elektrik tüketimi	14.1715,8	kWh
Su tüketimi	348	m ³
Temizlik maddesi tüketimi	240	kg

4.1. SUCUK ÜRETİMİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

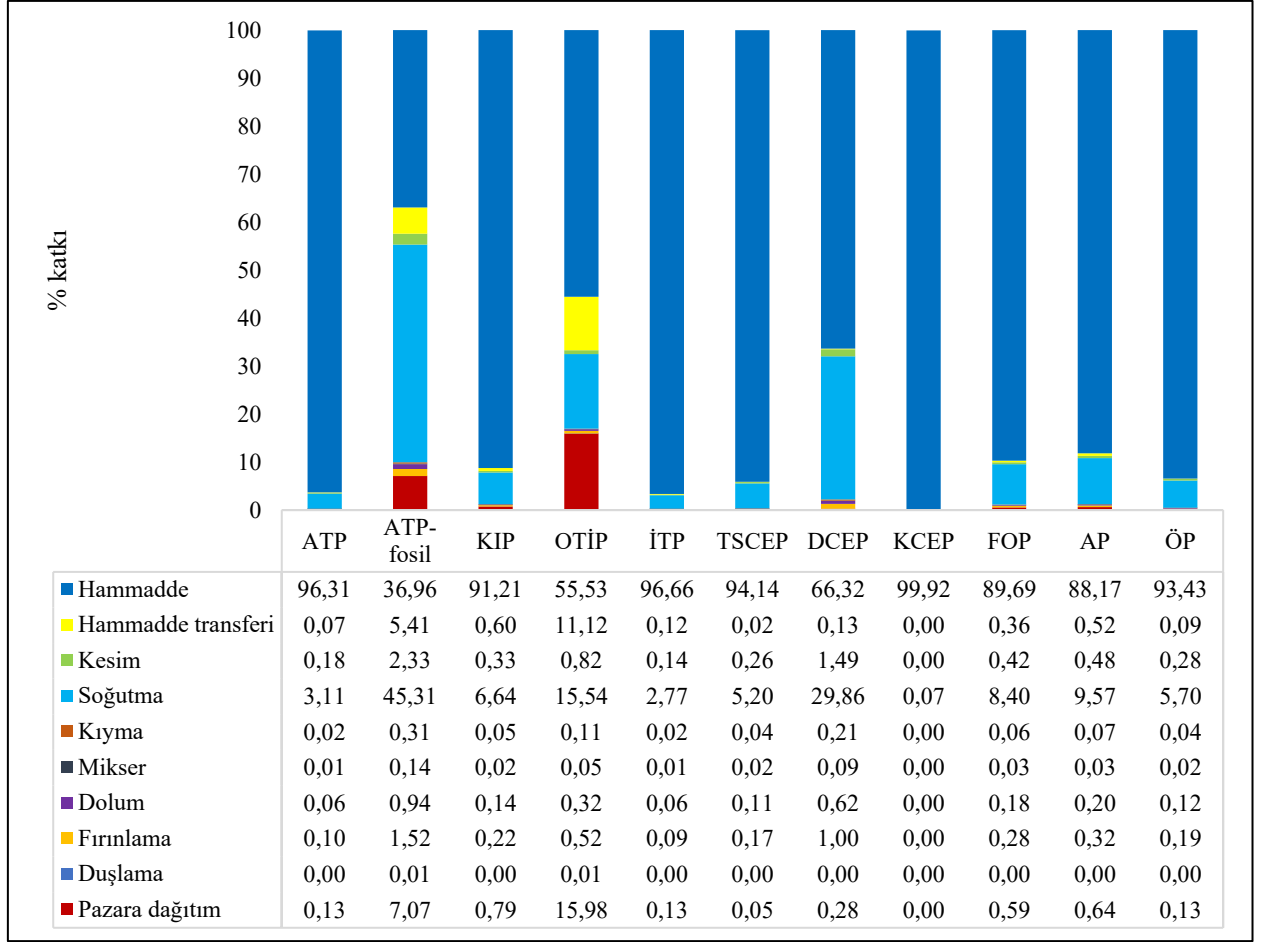
Sucuk eldesinde, hammadde (canlı hayvan, tuz, baharat, etiket, ip, bağırsak), hammaddelerin transferi, üretim (kesim, soğutma, kıyma, mikser, dolum, fırınlama, duşlama) ve pazara dağıtım (paketleme bu aşamaya dahil) aşamalarının çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla YDA yaklaşımı ile modelleme çalışması yapılmıştır. Envanter verileri, SimaPro yazılım paketi 9.1.1.7 eğitim sürümü “Ecoinvent 3” ve “Agri-footprint 5” veritabanları ile modellenerek CML-IA baseline hesaplama metoduna göre çevresel etkiler belirlenmiştir. Hesaplamalarda %1 kesme kriteri (Cut-off) kullanılmıştır. Bir kangal sucuk üretiminin çevresel etki sonuçları toplu olarak Tablo 4.2 ve Şekil 4.1’de verilmiş olup tüm etki kategorileri alt başlıklar altında ayrı ayrı aşağıda değerlendirilmiştir. Tablo 4.2 ve Şekil 4.1 birlikte değerlendirildiğinde toplam 11 etki kategorisinin 10 etki kategorisinde en yüksek katkıyı hammadde aşaması ve bu aşamadaki canlı hayvan girdisi (sığır) oluşturmaktadır. Hammadde

aşaması ATP, KIP, İTP, TSCEP, KCEP, FOP, AP ve ÖP etki kategorilerine %88,17-%96,92 oranlarında yüksek bir katkı oluşturmaktadır. Hammadde aşamasının en yüksek katkısı vermediği tek etki kategorisi ATP-fosil olup ($2,46E+01$ MJ) burada ana katkısı %45,31 ile soğutma aşaması ($1,11E+01$ MJ) oluşturmuştur. OTİP etki kategorisinde de toplam etki ($1,52E-07$ kg CFC-11 eşd.) olup hammadde aşamasının katkısı %55,53 de kalırken, %15,54 ile soğutma aşaması ve %15,98 ile pazara dağıtım aşaması önemli derecede katkı veren aşamalardır. DCEP etki kategorisinde de soğutma aşamasının %29,86'lık katkısı dikkat çekerken hammadde aşamasının katkısı %66,32'dir.



Tablo 4.2: 1 kangal sucuk üretiminin çevresel etki sonuçları.

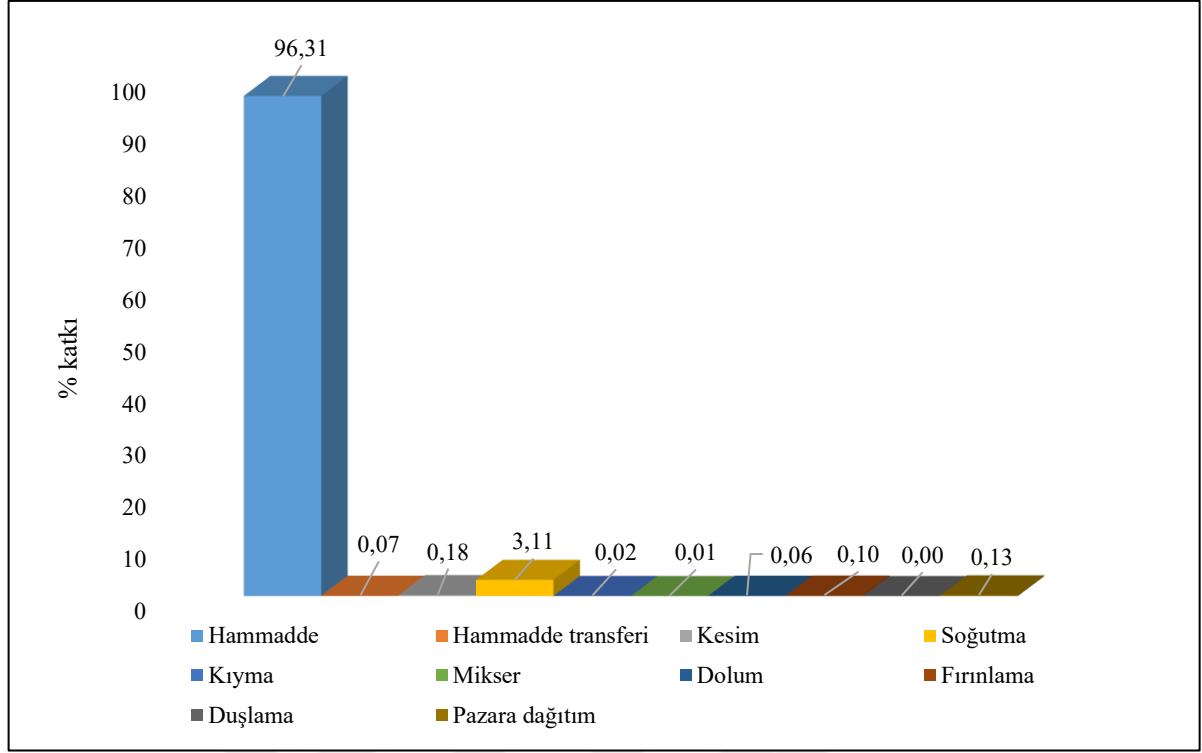
Etki Kategorisi	Birim	Hammadde	Hammadde Transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşluma	Pazara Dağıtım	TOPLAM (MD)
ATP	kg Sb eşd.	3,79E-05	2,87E-08	6,90E-08	1,22E-06	8,40E-09	3,85E-09	2,55E-08	4,10E-08	6,68E-10	5,17E-08	3,94E-05
ATP-fosil	MJ	9,09E+00	1,33E+00	5,73E-01	1,11E+01	7,66E-02	3,51E-02	2,32E-01	3,74E-01	1,53E-03	1,74E+00	2,46E+01
KIP	kg CO ₂ eşd.	1,42E+01	9,41E-02	5,18E-02	1,03E+00	7,11E-03	3,25E-03	2,16E-02	3,47E-02	1,18E-04	1,23E-01	1,56E+01
OTİP	kg CFC-11 eşd.	8,44E-08	1,69E-08	1,24E-09	2,36E-08	1,62E-10	7,43E-11	4,92E-10	7,93E-10	1,12E-11	2,43E-08	1,52E-07
İTP	kg 1,4-DB eşd.	1,57E+01	1,94E-02	2,26E-02	4,50E-01	3,09E-03	1,42E-03	9,38E-03	1,51E-02	5,55E-05	2,18E-02	1,63E+01
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	1,12E+01	2,70E-03	3,08E-02	6,19E-01	4,26E-03	1,95E-03	1,29E-02	2,08E-02	5,15E-05	5,36E-03	1,19E+01
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	4,24E+03	8,35E+00	9,50E+01	1,91E+03	1,31E+01	6,01E+00	3,98E+01	6,41E+01	1,33E-01	1,79E+01	6,39E+03
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	1,74E+00	5,46E-05	6,21E-05	1,17E-03	8,04E-06	3,68E-06	2,44E-05	3,92E-05	9,54E-08	7,52E-05	1,74E+00
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	2,24E-03	8,89E-06	1,06E-05	2,10E-04	1,44E-06	6,60E-07	4,37E-06	7,04E-06	2,10E-08	1,48E-05	2,50E-03
AP	kg SO ₂ eşd.	5,30E-02	3,10E-04	2,89E-04	5,75E-03	3,96E-05	1,81E-05	1,20E-04	1,93E-04	5,05E-07	3,85E-04	6,01E-02
ÖP	kg PO ₄ eşd.	6,13E-02	6,19E-05	1,86E-04	3,74E-03	2,57E-05	1,18E-05	7,79E-05	1,25E-04	2,21E-07	8,44E-05	6,56E-02



Şekil 4.1: Sucuk üretiminin çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.

4.1.1. Abiyotik Tüketim Potansiyeli (ATP)

ATP etki kategorisi bir kangal sucuk üretimi çevresel etki sonuçları (kg Sb eşd.) ve üretim aşamalarının % katkıları Tablo 4.3'te ve Şekil 4.2'de verilmiştir. ATP çevresel etki kategorisine olan toplam etki $3,94E-05$ kg Sb eşd. olup bu katkının büyük bir kısmını $3,79E-05$ kg Sb eşd. ile hammadde (%96,31) aşaması oluşturmaktadır. Hammadde aşamasındaki etkinin ana kaynağını sığır eti üretimi için canlı hayvan girdisi oluşturmaktadır. Soğutma aşamasının etkisi $1,22E-06$ kg Sb eşdeğeri olarak hesaplanmış olup katkısı %3,11'dir. Diğer aşamaların katkıları %1'in altındadır. Sucuk üretiminin süreç katkısına etki eden envanter sonuçlarına göre (EK 1), büyük bir kısmı canlı hayvan girdisinden kaynaklı ATP değerinin neredeyse tamamı, altın (%98,84) ve kurşun (%1,16) elementlerinin tüketiminden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.2: 1 kangal sucuk üretiminin ATP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.3: 1 kangal sucuk üretimi için ATP'ye etki eden faktörler (kg Sb eşd.)

Faktörler	Miktar	%
Hammadde	3,79E-05	96,31
Hammadde transferi	2,87E-08	0,07
Kesim	6,90E-08	0,18
Soğutma	1,22E-06	3,11
Kıyma	8,40E-09	0,02
Mikser	3,85E-09	0,01
Dolum	2,55E-08	0,06
Fırınlama	4,10E-08	0,10
Duşlama	6,68E-10	0,00
Pazara dağıtım	5,17E-08	0,13

Tablo 4.4'te et üretimi ile ilgili literatür çalışmalarında karşılaşılan ATP etki değerleri yer almaktadır. Literatürde et entegre tesislerinde sucuk üretimine dair bir YDA çalışmasına rastlanılmamıştır. Chen ve diğ. (2021) çalışmasında 1 kg sığır etinin ATP etkisi, bu tez çalışmasında kullanılan hesaplama metodu (CML2001) ile belirlenmiş ve yakın ($3,35E-05$ kg Sb eşd.) bulunmuştur. Bu tez çalışmasında tarım ve çiftlik aşamaları dahil edilmemesine ve 1

kangal sucuk 0,5 kg olmasına rağmen bu şekilde yakın bir değer elde edilmesine taşıma mesafeleri ve uygulanan işlemlerde enerji kullanımı gibi faktörlerin neden olduğu düşünülmektedir. Tabloda verilen diğer literatür çalışmalarında (Ferronato ve diğ., 2021; Saget ve diğ., 2021) hesaplama metotları, sistem sınırları ve kullanılan yazılım paketleri ile fonksiyonel birim seçimindeki farklılıklardan dolayı etki değerlerinde farklı sonuçlar olduğu görülmüştür. Ferronato ve diğ. (2021)'nin çalışmasında üç farklı ürün tipi (sığır eti, domuz eti ve kanatlı et) kullanılmış ve aynı sistem sınırları ve aynı hesaplama metodu kullanılarak karşılaştırma yapıldığında en fazla ATP etki değerinin $2,86E-06$ kg Sb eşd. ile sığır etinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Literatürde verilen çalışmalarda (Chen ve diğ., 2021; Ferronato ve diğ., 2021; Saget ve diğ., 2021) en fazla çevresel etkiye sebep olan aşamanın çiftlik ve tarım aşamalarından kaynaklandığı görülmüştür. İşlenmiş bir et ürünü olarak 1 kg sığır köftesinin fonksiyonel birim alındığı Ahmad ve diğ. (2023) çalışmasında $4,03E-06$ kg Cu eşd. olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.4: ATP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	ATP Etki Değeri (kg Sb eşd.)	Örnek Çalışma
1 kg köfte (sığır eti)	Tarım (hammaddeler) + paketlenme	CML-IA	4,03E-06 ¹	Ahmad ve diğ. (2023)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + transfer + üretim + pazara dağıtım + satış + tüketim (atık gıda) ve yaşam sonu	CML2001	3,35E-05 ²	Chen ve diğ. (2021)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + üretim + transfer + paketlenme + tüketim	EF 3.0	2,86 E-06 (sığır eti)	Ferronato ve diğ. (2021)
1 kg domuz eti			2,37 E-06 (domuz eti)	
1 kg kanatlı et			2,45 E-06 (kanatlı et)	
0,113 kg pişmiş hamburger köftesi (sığır eti)	Tarım + çiftlik + üretim + paketlenme + transfer + depolama + tüketim	Avrupa komisyonu, 2018 ³ IPCC, 2013	1,4E-07 (BB-IR) ⁴ 1,7E-09 (BB-BR) ⁵ 1,9E-08 (VB) ⁶	Saget ve diğ. (2021)
1 kangal sucuk (0,5 kg)	Hammadde transferi + kesim + üretim + pazara dağıtım	CML-IA	3,94E-05	Bu çalışma

¹ Abiyotik tüketim etki birimi, kg Cu eşdeğeri cinsinden verilmiştir.

² Çalışmada sığır eti üretimi modellemesi için yerel üretim ve pazar verileri olarak İrlanda için etki değerleri verilmiştir.

³ Avrupa komisyonu: European Commission, 2018. Product environmental footprint category rules guidance.

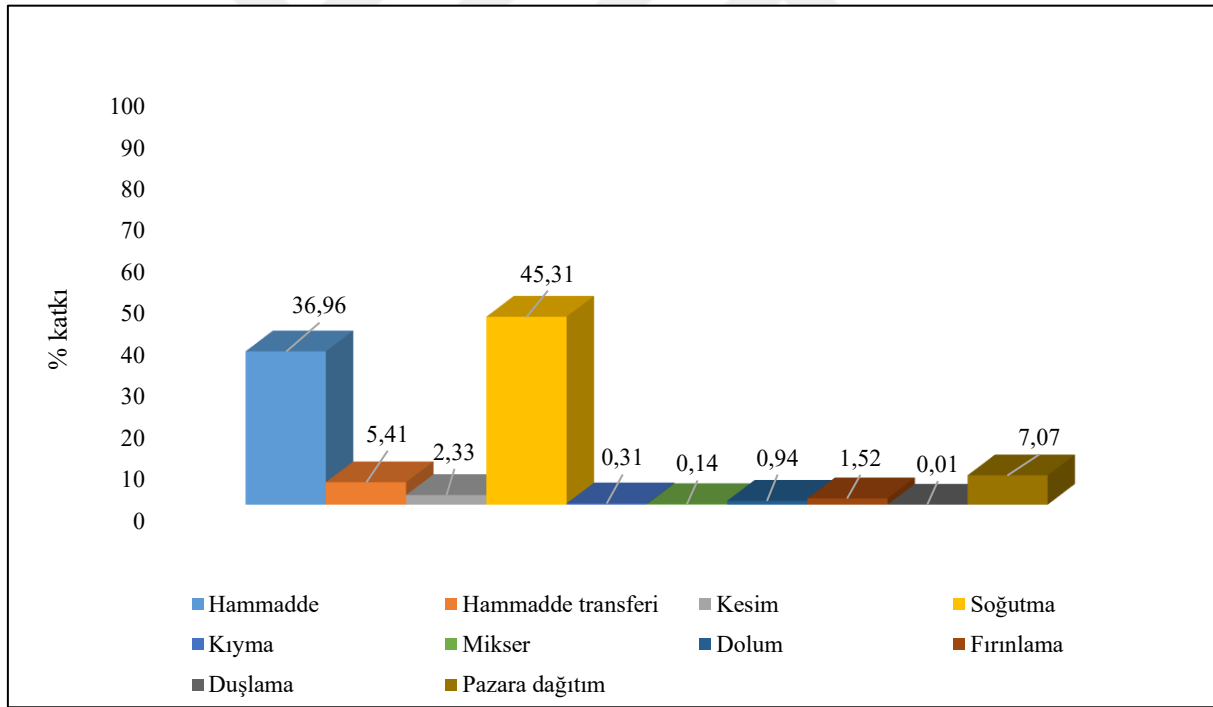
⁴ BB-IR: Birleşik Krallık'ta İrlanda bifteği ile yapılan 0,113 kg hamburger köftesi.

⁵ BB-BR: Birleşik Krallık'ta Brezilya bifteği ile yapılan 0,113 kg hamburger köftesi.

⁶ VB: Küresel kaynaklı bitki bazlı malzemelerle Birleşik Krallık'ta yapılan 0,113 kg hamburger köftesi.

4.1.2. Abiyotik Tüketim Potansiyeli-fosil yakıtlar (ATP-fosil):

ATP-fosil etki kategorisi bir kangal sucuk üretimi çevresel etki sonuçları (MJ) ve üretim aşamalarının % katkıları Tablo 4.5'te ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Toplam ATP-fosil etki değeri $2,46E+01$ MJ olup en fazla katkıyı $1,11E+01$ MJ ile soğutma (%45,31) ve $9,09E+00$ MJ (%36,96) ile hammadde aşamaları vermiştir. Diğer aşamaların katkıları %10'un altındadır. Sucuk üretiminin, kesme kriteri %1'in üzerinde proses katkısına etki eden envanter sonuçlarına (EK 2) bakıldığında, etkiyi ham petrol (%32,32), doğalgaz (%29,75), taş kömürü (%21,35) ve linyit (%16,57) olmak üzere yenilenemeyen kaynakların oluşturduğu görülmektedir. ATP-fosil etki kategorisinin yüzdesel dağılımında %45,31'i soğutma aşamasından gelen bu etki, orta voltaj şebeke elektriği kaynaklıdır. Pazara dağıtım aşamasında oluşan etki ise, soğutuculu araçlarda enerji kaynağı olarak kullanılan ve petrol türevlerinden elde edilen düşük sülfürlü dizel yakıttır.



Şekil 4.3: 1 kangal sucuk üretiminin ATP-fosil etki kategorisine yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.5: 1 kangal sucuk üretimi için ATP-fosil yakıtlara etki eden faktörler (MJ).

Faktörler	Miktar	%
Hammadde	9,09E+00	36,96
Hammadde transferi	1,33E+00	5,41
Kesim	5,73E-01	2,33
Soğutma	1,11E+01	45,31
Kıyma	7,66E-02	0,31
Mikser	3,51E-02	0,14
Dolum	2,32E-01	0,94
Fırınlama	3,74E-01	1,52
Duşlama	1,53E-03	0,01
Pazara dağıtım	1,74E+00	7,07

Tablo 4.6’da et üretimi ile ilgili literatür çalışmalarında karşılaşılan ATP-fosil etki değerleri yer almaktadır. Literatürde et entegre tesislerinde sucuk üretimine dair bir YDA çalışmasına rastlanılmamıştır. Et üretimi ile ilgili YDA çalışmaları için seçilen fonksiyonel birim, sistem sınırları, yazılım paketleri ve hesaplama metotları farklılık içerdiğinden çoğu durumda elde edilen ATP-fosil etki değerleri literatür ile doğrudan karşılaştırılamamaktadır. Bu tez çalışmasında tarım ve çiftlik aşamaları dahil edilmemesine ve 1 kangal sucuk 0,5 kg olmasına rağmen aynı hesaplama metodu (CML2001) ile Chen ve diğ. (2021) çalışmasında ATP-fosil etki değerinde yakın bir değer (6,16E+01 MJ) elde edilmiştir. Bunun nedeninin taşıma mesafeleri ve uygulanan işlemlerde enerji kullanımı gibi faktörler olduğu düşünülmektedir. Literatürde verilen diğer et üretimi YDA çalışmalarına bakıldığında (Mogensen ve diğ., 2016; Saelens ve diğ., 2021; Ferronato ve diğ., 2021; Smetana ve diğ., 2021), ATP-fosil etki değerinin bu tez çalışmasından daha yüksek bulunduğu görülmektedir (Tablo 4.6). Bunun nedeninin bu çalışmalarda sistem sınırına tarım ve çiftlik aşamalarının dahil edilmesi ve hesaplama metotlarındaki farklılıklar olduğu düşünülmektedir. Smetana ve diğ. (2021), farklı besin türlerinden (bezelye, böcek, mikropotein ve soya) elde edilen hamburger köftesi ile sığır eti köftesinin IMPACT2002+ hesaplama metodu kullanılarak etki değerlerini karşılaştırmıştır. Hamburger köftesinin de sucuk gibi işlenmiş bir sığır eti ürünü olduğu kabul edilerek bir karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmada farklı bir hesaplama yöntemi kullanılmış olmasına rağmen sığır etinden yapılmış olan hamburger köftesi için bu tez çalışmasında bulunan etki değeri ile aynı derecede bir etki bulunmuştur (4,64E+01- 4,97E+01 MJ). Ancak bitki bazlı köftenin ATP-fosil etki değerinin 10 kat daha düşük olduğu görülmüştür. İşlenmiş bir et ürünü olarak 1 kg sığır köftesinin fonksiyonel birim alındığı Ahmad ve diğ. (2023)’nin

alışmasında ise ATP-fosil 9,22E+01 kg petrol eşd. olarak hesaplanmış olup çalışmada en yüksek etkiyi veren ikinci etki kategorisi olarak belirlenmiştir. Bu alışmada ATP-fosil etkisindeki en büyük katkının köftelerin pişirilmesi aşamasındaki doğalgaz ve elektrik kullanımından olduğu saptanmıştır. Putman ve diğ. (2023)'nin çalışmasında ise tüketim aşamasının dahil edildiğı sistem sınırı ile 1 kg sığır eti için ReCiPe2016 metodu ile ATP-fosil etkisi 3,89E+00 kg petrol eşd. olarak bulunmuştur.



Tablo 4.6: ATP-fosil etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	ATP-fosil Etki Değeri (MJ)	Örnek Çalışma
1 kg köfte (sığır eti)	Tarım (hammadde) + paketlenme	CML-IA	9,22E+01 ¹	Ahmad ve diğ. (2023)
1 kg sığır eti	Tarım + üretim + işleme + perakende satış + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	3,89E+00 ¹	Putman ve diğ. (2023)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + transfer + üretim + pazara dağıtım + satış + tüketim (atık gıda) ve yaşam sonu	CML2001	6,16E+01 ²	Chen ve diğ. (2021)
1 kg hamburger köftesi	Tarım + çiftlik + hammadde transferi + depolama + üretim	ReCiPe Midpoint (H)	7,83E+01 (sığır eti) 1,98E+01 (domuz eti)	Saerens ve diğ. (2021)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + üretim+ paketlenme + pazara dağıtım + tüketici	Eco Efficiency Analysis (EEA)	1,11E+03	Asem-Hiablie ve diğ. (2019)
0,113 kg bitki bazlı olarak üretilen “Beyond burger” isimli köfte	Tarım + çiftlik +hammadde transferi + üretim + paketlenme + soğuk depolama + pazara dağıtım	IPCC 2007	6,14E+00	Heller ve Keoleian (2018)
0,113 kg sığır eti köftesi			1,14E+01	
1 kg yenilebilir sığır eti	Çiftlik + transfer + kesim + üretim	Uluslararası EPD (Çevresel Ürün Beyanları) 2008 yöntemi	2,5E+01-3,7E+01	Mogensen ve diğ. (2016)

¹ATP-fosil etki değeri birimi kg petrol eşdeğeri cinsinden verilmiştir.²Çalışmada sığır eti üretimi modellenmesi için yerel üretim ve pazar verileri olarak İrlanda için etki değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6. (devam): ATP-fosil etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	ATP-fosil Etki Değeri (MJ)	Örnek Çalışma
0,113 kg pişmiş hamburger köftesi	Tarım + çiftlik + üretim + paketlenme + transfer + depolama + tüketim	Avrupa komisyonu, 2018	1,41E+01 (BB-IR) ¹ 1,29E+01 (BB-BR) ² 1,6E+01 (VB) ³	Saget ve diğ. (2021)
1 kg hamburger köftesi (çiğ)	Tarım + çiftlik + üretim	IMPACT 2002+	4,64E+01-4,97E+01 (sığır köftesi) 1,69E+01-1,86E+01 (bezelye köftesi) 8,73E+00-1,10E+01 (böcek köftesi) 1,64E+01-1,99E+01 (mikroprotein köftesi) 8,93E+00-1,07E+01 (soya köftesi)	Smetana ve diğ. (2021)
1 kangal sucuk (0,5 kg)	Hammadde transferi + kesim + üretim + pazara dağıtım	CML-IA	2,46E+01	Bu çalışma

¹ BB-IR: Birleşik Krallık'ta İrlanda bifteği ile yapılan 0,113 kg hamburger köftesi.

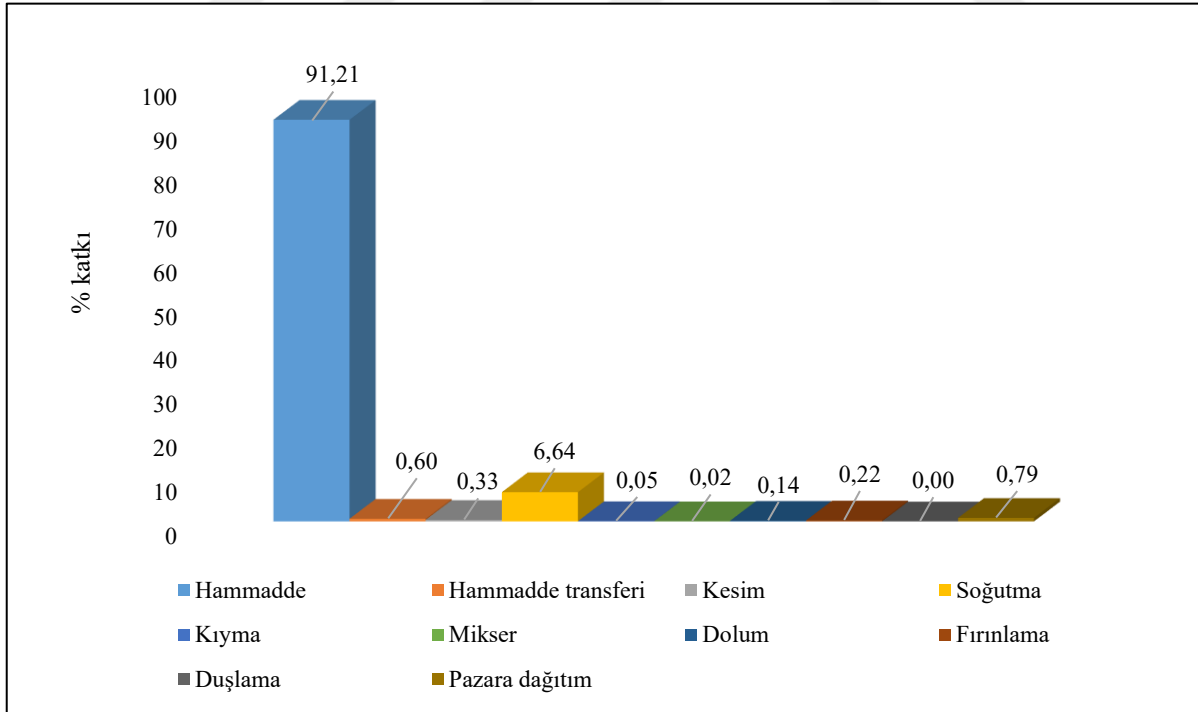
² BB-BR: Birleşik Krallık'ta Brezilya bifteği ile yapılan 0,113 kg hamburger köftesi.

³ VB: Küresel kaynaklı bitki bazlı malzemelerle Birleşik Krallık'ta yapılan 0,113 kg hamburger köftesi.

4.1.3. Küresel Isınma Potansiyeli (KIP)

KIP etki kategorisi bir kangal sucuk üretimi çevresel etki sonuçları (kg CO₂ eşd.) ve üretim aşamalarının % katkıları Tablo 4.9'da ve Şekil 4.4'te verilmiştir. KIP çevresel etki kategorisine olan toplam etki 1,56E+01 kg CO₂ eşd. olup bu katkının büyük bir kısmını 1,42E+01 kg CO₂ eşd. ile hammadde aşaması (%91,21) oluşturmaktadır. Soğutma aşamasının KIP'ye katkısı %6,64'tür. Diğer aşamaların katkıları %1'in altındadır. Hammadde aşamasında canlı hayvan girdisinden kaynaklı olarak havaya verilen biyogenik CH₄, N₂O ve CO₂ emisyonları etkilidir. Sığır eti üretiminde yapılan YDA çalışmaları, hayvanların bağırsak yollarından üretilen metanın sera gazı üretimine yaklaşık %60 oranında katkıda bulunabileceğini göstermiştir (Presumido ve diğ., 2018).

Küresel ısınmaya en fazla neden olan insan faaliyetlerinden biri de petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil kaynakların yakılmasıdır. Soğutma aşamasında linyit, taş kömürü ve doğal gaz karışımından elde edilen elektrik üretimi, bu etkinin alt proseslerini oluşturmaktadır. Sucuk üretiminin proses katkısına etki eden envanter sonuçlarına (EK 3) bakıldığında hammadde ve transferi aşamasından kaynaklı %60 oranında biyogenik CH₄, %23,49 oranında N₂O ve %16,51 oranında CO₂ emisyonları dikkati çekmektedir.



Şekil 4.4: 1 kangal sucuk üretiminin KIP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.7: 1 kangal sucuk üretimi için KIP etki eden faktörler (kg CO₂ eşd.).

Faktörler	Miktar	%
Hammadde	1,42E+01	91,21
Hammadde transferi	9,41E-02	0,60
Kesim	5,18E-02	0,33
Soğutma	1,03E+00	6,64
Kıyma	7,11E-03	0,05
Mikser	3,25E-03	0,02
Dolum	2,16E-02	0,14
Fırınlama	3,47E-02	0,22
Duşlama	1,18E-04	0,00
Pazara dağıtım	1,23E-01	0,79

Tablo 4.8’de et üretimi ile ilgili literatür çalışmalarında karşılaşılan ATP-fosil etki değerleri yer almaktadır. Et üretimi ile ilgili YDA çalışmaları için seçilen fonksiyonel birim, sistem sınırları, yazılım paketleri ve hesaplama metotları farklılık içerdiğinden elde edilen sonuçlar ile literatürde doğrudan karşılaştırma yapılamamaktadır. KIP etki değeri sonuçlarına göre farklı fonksiyonel birim ve sistem sınırlarına rağmen aynı hesaplama metodunun kullanıldığı Chen ve diğ. (2021)’nin çalışmasında bu tez çalışması ile birbirine yakın sonuç elde edildiği görülmüştür. Sistem sınırına tarım ve çiftlik aşamalarının dahil edildiği ve farklı hesaplama metotlarının kullanıldığı diğer çalışmalarda (Asem-Hiablie ve diğ., 2019; Saerens ve diğ., 2021; Ferronato ve diğ., 2021) daha yüksek değerler elde edilmiştir. Farklı hayvanlardan et eldesinin çevresel etkilerinin değerlendirildiği Ferronato ve diğ. (2021) ve Arrigoni ve diğ. (2023) çalışmalarında en yüksek çevresel etkinin KIP için sığır etinden kaynaklandığı bulunmuştur. Farklı hesaplama metoduna rağmen Ferronato ve diğ. (2021) ve Putman ve diğ. (2023), benzer sistem sınırı için yaklaşık aynı KIP etki değerini elde etmiştir. Ahmad ve diğ. (2023), CML-IA hesaplama metodu ile 1 kg sığır köftesinin KIP etki değerini 3,07E+01 kg CO₂ eşd. olarak hesaplamıştır. Bu çalışmada da KIP etki kategorisinde en büyük katkının hammadde girdisi yani sığır eti olduğu sonucuna varılmıştır. Khan ve diğ. (2019), yapay etten elde edilen köftenin KIP etki değerini sığır köftesininkine oranla 10 kat daha düşük bulmuştur. Bunun temel nedeni tarım ve çiftlik aşamalarının yapay et üretiminde olmaması olarak belirtilmiştir. Desiderio ve diğ. (2023), farklı oranda yeşil bezelye katkısı ile elde edilen bitki-esaslı 1 kg sosis üretimini araştırdığı YDA çalışmasında tarım aşaması dahil olmasına rağmen daha düşük değerler elde etmiştir. Bunun nedeni bu tez çalışmasında KIP’ye esas katkıyı veren bileşenin hammadde olan sığır olmasıdır.

Tablo 4.8: KIP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	KIP Etki Değeri (kg CO ₂ eşd.)	Örnek Çalışma
100 g sığır eti	Tarım + kesim + işleme + paketlenme + dağıtım + tüketim	ReCiPe	3,26E+00	Arrigoni ve diğ. (2023)
1 kg köfte (sığır eti)	Tarım (hammadde) + paketlenme	CML-IA	3,07E+01	Ahmad ve diğ. (2023)
1 kg bezelye proteini konsantresi	Yeşil bezelye ekimi + protein işleme + et ürünlerine dönüştürme	ReCiPe 2016 Midpoint (E)	1,91E+00	Desiderio ve diğ.(2023)
1 kg bezelye proteinli sosis	(sosis vb.)		9,97E-01	
1 kg sığır eti	Tarım + üretim + işleme + perakende satış + tüketim	IPCC 2013 GWP 100a	4,27E+01	Putman ve diğ. (2023)
1 kg dana burger köftesi	Tarım + çiftlik + hammadde transferi + depolama + üretim	ReCiPe Midpoint (H)	2,66E+01	Saerens ve diğ. (2021)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + transfer + üretim + pazara dağıtım + satış + tüketim ve yaşam sonu	CML2001	1,96E+01 ¹	Chen ve diğ. (2021)
1 kg et	Tarım + çiftlik + üretim + transfer + paketlenme + tüketim	EF 3.0	4,93E+01 (sığır eti)	Ferronato ve diğ. (2021)
			7,90E+00 (domuz eti)	
			1,04E+01 (kanatlı et)	
1000 kg domuz eti	Tarım + çiftlik + kesim + pazara dağıtım + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	7,1E+03	Zira ve diğ. (2021)
0,113 kg pişmiş hamburger köftesi	Tarım + çiftlik + üretim + paketlenme + transfer + depolama + tüketim	Avrupa komisyonu, 2018 ²	6,00E+00 (BB-IR ³)	Saget ve diğ. (2021)
			6,7E+00 (BB-BR ⁴)	
			2,3E+00 (VB ⁵)	

¹ Çalışmada sığır eti üretimi modellemesi için yerel üretim ve pazar verileri olarak İrlanda için etki değerleri verilmiştir.

² European Commission, 2018. Product environmental footprint category rules guidance.

³ BB-IR: Birleşik Krallık'ta İrlanda bifteği ile yapılan 0,113 kg hamburger köftesi

⁴ BB-BR: Birleşik Krallık'ta Brezilya bifteği ile yapılan 0,113 kg hamburger köftesi

⁵ VB: Küresel kaynaklı bitki bazlı malzemelerle Birleşik Krallık'ta yapılan 0,113 kg hamburger köftesi.

Tablo 4.8 devamı: KIP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	KIP Etki Değeri (kg CO ₂ eşd.)	Örnek Çalışma
1 kg hamburger köftesi	Tarım + çiftlik + üretim	IMPACT 2002+	9,04E+00 - 9,15E+00 (sığır köftesi) 1,49E+00 - 1,55E+00 (bezelye köftesi) 0,8E+00 - 1,42E+00 (böcek köftesi) 1,62E+00-1,8E+00 (mikroprotein köftesi) 1,06E+00 - 2,16E+00 (soya köftesi)	Smetana ve diğ. (2021)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + üretim+ paketlenme + pazara dağıtım + tüketici	Eco Efficiency Analysis (EEA)	4,84E+01	Asem-Hiable ve diğ. (2019)
1 kg “Impossible Burger” köftesi	Tarım + çiftlik + üretim + dondurma + paketlenme	IMPACT 2002+	3,5E+00	Khan ve diğ. (2019)
1 kg sığır eti hamburger köftesi			3,06E+01	
0,113 kg “Beyond burger” isimli hamburger köftesi	Tarım + çiftlik +hammadde transferi + üretim + paketlenme + soğuk depolama + pazara dağıtım	IPCC 2007	4,0E-01	Heller ve Keoleian (2018)
0,113 kg sığır eti köftesi			3,7E+00	
1 kg kemiksiz ve yağsız sığır eti	Tarım + çiftlik + üretim + transfer + pazara dağıtım	ReCiPe Midpoint (H)	1,93E+01 ¹ 2,1E+01 ²	Huerta ve diğ. (2016)
1 kangal sucuk (0,5 kg)	Hammadde transferi + kesim + üretim + pazara dağıtım	CML-IA	1,56E+01	Bu çalışma

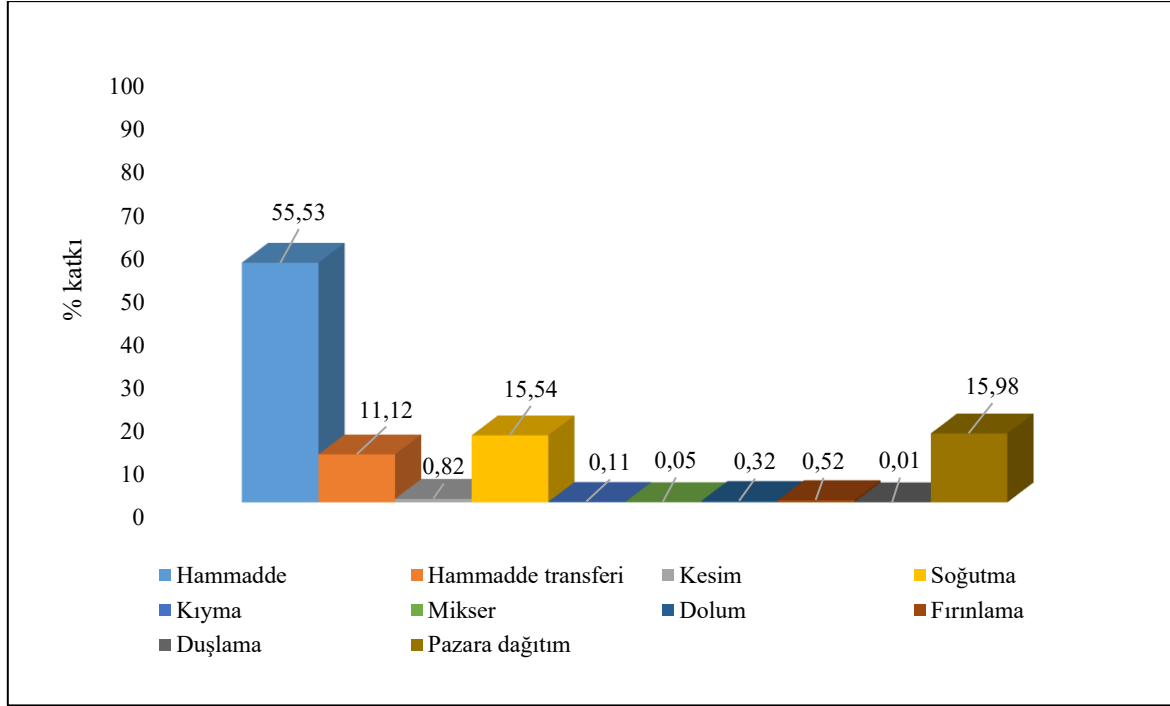
¹ Kapalı sistem ile beslenen sığır.² Açık sistem ile beslenen sığır.

4.1.4. Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (OTİP)

OTİP etki kategorisi bir kangal sucuk üretimi çevresel etki sonuçları (kg CFC-11 eşd.) ve üretim aşamalarının % katkıları Tablo 4.9'da ve Şekil 4.5'te verilmiştir. Toplam OTİP etki değeri 1,52E-07 kg CFC-11 eşd. olup en fazla katkıyı %55,53 oranı ile hammadde aşaması (8,44E-08 kg CFC-11 eşd.) oluşturmaktadır. Pazara dağıtım aşaması %15,98 ve soğutma aşaması %15,54 oranında katkı oluşturmaktadır. Hammadde transferi aşamasının katkısı ise %11,12'dir. Hammadde aşamasında OTİP'ye en fazla katkı canlı hayvan girdisinden kaynaklanmaktadır ve kirletici envanterinin proses katkısına etki eden envanter sonuçlarına (EK 4) göre, %85'i Halon 1301 (Bromotriflorometan), %10'u Halon 1211 (Bromoklorodiflorometan) ve %5'ini CFC-114 (1,2-Diklorotetrafloroetan) oluşturduğu havaya emisyonlardır.

Pazara dağıtım aşamasında OTİP'ye en fazla katkı sağlayan soğutucu-dondurucu transfer araç girdisi olup toplam kirletici envanterinin proses katkısına (EK 4) göre %80,61'i Halon 1301 ve %18,29'u CFC-113 oluşturduğu havaya emisyonlardır. Soğutma aşamasında elektrik harcamasından kaynaklı kirletici envanterinin proses katkısına (EK 4) göre %89,07'si Halon 1301 ve diğer %10,93'lük kısmını CFC-114, Halon 1211 ve CFC-10 bileşikleri oluşturmaktadır. Et ürünlerinin soğutulmasının ozon tabakasının incelmeye ve küresel ısınmaya katkı verdiği literatürde belirtilmiştir (Djekic ve Tomasevic, 2016).

Hammadde transferi aşamasında en fazla katkı sağlayan canlı hayvan ve Euro 4 tipi araç girdisi olup toplam kirletici envanterinin proses katkısına (EK 4) bakıldığında %84,51'i Halon 1301, %8,27'si Halon 1211, %3,82'si CFC-114 ve %3,40'ı CFC-10 bileşiklerinin oluşturduğu havaya emisyonlardır. OTİP'ye CML-IA hesaplama metoduna göre sucuk üretiminin kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden proses katkıları Halon 1301 (%84,66), Halon 1211 (%6,28), CFC-114 (%3,84), CFC-113 (%2,87) ve CFC-10 (%2,36) havaya emisyonlar olmak üzere en fazla emisyon Halon 1301 (Bromotriflorometan) kaynaklanan metan bileşenidir.



Şekil 4.5: 1 kantal sucuk üretiminin OTİP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.9: 1 kantal sucuk üretimi için OTİP'ye etki eden faktörler (kg CFC-11 eşd.).

Faktörler	Miktar	%
Hammadde	8,44E-08	55,53
Hammadde transferi	1,69E-08	11,12
Kesim	1,24E-09	0,82
Soğutma	2,36E-08	15,54
Kıyma	1,62E-10	0,11
Mikser	7,43E-11	0,05
Dolum	4,92E-10	0,32
Fırınlama	7,93E-10	0,52
Duşlama	1,12E-11	0,01
Pazara dağıtım	2,43E-08	15,98

Literatürde et entegre tesislerinde sucuk üretimine dair bir YDA çalışmasına rastlanılmamıştır. Tablo 4.10'da et üretimi ile ilgili literatür çalışmalarında karşılaşılan OTİP etki değerleri yer almaktadır. Et üretimi ile ilgili YDA çalışmaları için seçilen fonksiyonel birim, sistem sınırları, yazılım paketleri ve hesaplama metotları farklılık içerdiğinden elde edilen sonuçlar ile literatürde doğrudan karşılaştırılma yapılamamaktadır. Literatür çalışmalarına bakıldığında tarım ve çiftlik aşamalarının da dahil edildiği çalışmalarda, daha yüksek etki değerlerinin elde edildiği görülmektedir.

Bu çalışmalar kendi içerisinde incelendiğinde, aynı gıda ürünü için dahi farklı hesaplama metotlarının seçiminin, etki değerlerinin farklı çıkmasına sebep olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak veritabanında kullanılan yerel ve bölgesel veri setlerinin farklı olmasının da bu sebeplere dahil olduğu düşünülmektedir.

Desideiro ve diğ. (2023) tarafından yapılan bitki bazlı köfte üretimi çalışmasında 1 kg bezelye köftesi için dahi daha yüksek bir değer ($1,11\text{E-}05$ kg CFC-11 eşd.) bulunduğu dikkati çekmiştir. OTİP etki değeri sonuçlarına bakıldığında farklı fonksiyonel birim ve sistem sınırlarına rağmen aynı hesaplama metodunun kullanıldığı Chen ve diğ. (2021)'nin çalışmasında bu tez çalışması ile birbirine yakın sonuç elde edildiği görülmüştür.



Tablo 4.10: OTİP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	OTİP Etki Değeri (kg CFC-11 eşd.)	Örnek Çalışma
100 g sığır eti	Tarım + kesim + işleme + paketlenme + dağıtım + tüketim	ReCiPe	7,71E-08	Arrigoni ve diğ. (2023)
100 g işlenmiş domuz eti			3,02E-08	
1 kg bezelye proteini konsantresi	Yeşil bezelye ekimi + protein işleme + et ürünlerine dönüştürme (sosis vb.)	ReCiPe 2016 Midpoint (E)	4,74E-05	Desiderio ve diğ. (2023)
1 kg bezelye proteinli sosis			1,11E-05	
1 kg köfte (sığır eti)	Tarım (hammaddeler) + paketlenme	CML-IA	1,13E-07	Ahmad ve diğ. (2023)
1 kg sığır eti	Tarım + üretim + işleme + perakende satış + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	5,94E-04	Putman ve diğ. (2023)
1 kg domuz karkas eti	Tarım + çiftlik + kesim + üretim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	2,73E-05	Qalase ve diğ. (2022)
1 kg dana burger köftesi	Tarım + çiftlik + hammadde transferi + depolama + üretim	ReCiPe Midpoint (H)	8,8E-08	Saerens ve diğ. (2021)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + transfer + üretim + pazara dağıtım + satış + tüketim ve yaşam sonu	CML2001	5,45E-07 ¹	Chen ve diğ. (2021)

¹ Çalışmada sığır eti üretimi modellemesi için yerel üretim ve pazar verileri olarak İrlanda için etki değerleri verilmiştir.

Tablo 4.10 devamı: OTİP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

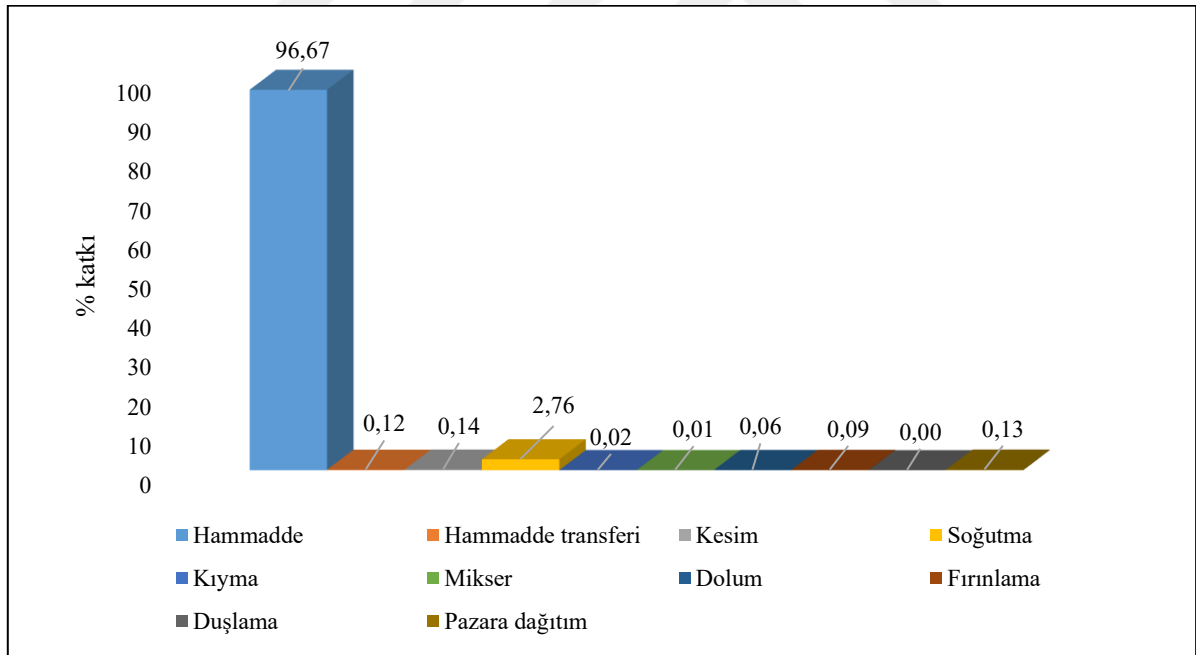
Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	OTİP Etki Değeri (kg CFC-11 eşd.)	Örnek Çalışma
1 kg et	Tarım + çiftlik + üretim + transfer + paketlenme + tüketim	EF 3.0	3,17E-05 (sığır eti) 2,95E-05 (domuz eti) 2,86E-05 (kanatlı et)	Ferronato ve diğ. (2021)
0,113 kg pişmiş hamburger köftesi	Tarım + çiftlik + üretim + paketlenme + transfer + depolama + tüketim	Avrupa komisyonu, 2018	6,1E-08 ¹ 8,6E-08 ² 1,2E-07 ³	Saget ve diğ. (2021)
1000 kg canlı ağırlık sığır eti	Hammadde transferi + kesim + soğutma + üretim + paketlenme + soğuk depolama	TRACI v2.1	1,2E-05	Li ve diğ. (2020)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + üretim+ paketlenme + pazara dağıtım + tüketici	Eco Efficiency Analysis (EEA)	1,686E-06 ⁴	Asem-Hiable ve diğ. (2019)
1 kangal sucuk (0,5 kg)	Hammadde transferi + kesim + üretim + pazara dağıtım	CML-IA	1,52E-07	Bu çalışma

¹ BB-IR: Birleşik Krallık'ta İrlanda bifteği ile yapılan 0,113 kg hamburger köftesi² BB-BR: Birleşik Krallık'ta Brezilya bifteği ile yapılan 0,113 kg hamburger köftesi³ VB: Küresel kaynaklı bitki bazlı malzemelerle Birleşik Krallık'ta yapılan 0,113 kg hamburger köftesi.⁴ Tüm sekiz aşamanın toplamı:1686 µg CFC-11 eşd. olup birim dönüştürme yapılmıştır.

4.1.5. İnsana Toksikite Potansiyeli (İTP)

İTP etki kategorisi bir kangal sucuk üretimi çevresel etki sonuçları (kg 1,4-DB eşd.) ve üretim aşamalarının % katkıları Tablo 4.11’de ve Şekil 4.6’da verilmiştir. Toplam İTP etki değeri 1,63E+01 kg 1,4-DB eşd. olup katkının büyük bir kısmını %96,67 oranı ile hammadde aşaması (1,57E+01 kg 1,4-DB eşd.) oluşturmaktadır. Soğutma aşamasının katkısı ise %2,76’dır. Diğer aşamaların katkıları %1’in altındadır. Hammadde aşamasında İTP’ye en fazla katkı sağlayan canlı hayvan girdisi olup kirletici envanterinin proses katkısına etki eden envanter sonuçlarına (EK 5) bakıldığında büyük bir kısmını zirai faaliyetlerden kaynaklı tarım toprağına emisyonlar (%31,58’i nikel, %26,79’u kurşun, %17,86’sı çinko, %17,92’si kadmiyum ve %5,71’i bakır) oluşturmaktadır.

İTP’ye CML-IA hesaplama metoduna göre sucuk üretiminin kesme kriteri %1’in üzerinde etki eden kirletici envanterinin proses katkısına (EK 5) göre, nikel (%31,20), kurşun (%26,47), kadmiyum (%17,71), çinko (%17,65) ve bakır (%5,65) olmak üzere toprağına emisyonlar ile selenyum (%1,33) elementleri olmak üzere suya emisyonlardır.



Şekil 4.6: 1 kangal sucuk üretiminin İTP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.11: 1 kangal sucuk üretimi için İTP'ye etki eden faktörler (kg 1,4-DB eşd.).

Faktörler	Miktar	%
Hammadde	1,57E+01	96,67
Hammadde transferi	1,94E-02	0,12
Kesim	2,26E-02	0,14
Soğutma	4,50E-01	2,76
Kıyma	3,09E-03	0,02
Mikser	1,42E-03	0,01
Dolum	9,38E-03	0,06
Fırınlama	1,51E-02	0,09
Duşlama	5,55E-05	0,00
Pazara dağıtım	2,18E-02	0,13

Tablo 4.12’de et üretimi ile ilgili literatür çalışmalarında karşılaşılan İTP etki değerleri yer almaktadır. Et üretimi ile ilgili YDA çalışmaları için seçilen fonksiyonel birim, sistem sınırları, yazılım paketleri ve hesaplama metotları farklılık içerdiğinden elde edilen sonuçlar literatür ile doğrudan karşılaştırılamamaktadır. Tablo 4.12 incelendiğinde bu tez çalışmasında incelenen sucuk üretiminin sığır eti eldesi çalışmalarına göre daha yüksek İTP etki değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan fonksiyonel birime karşılık gelen sığır eti miktarının daha düşük olmasına ve daha dar sistem sınırına rağmen bu sonucun bulunmasında farklı etki inceleme metotlarının, yerel enerji kullanımlarının ve kimyasal işlemlerin etkili olduğu düşünülmektedir. Literatür çalışmalarına bakıldığında (Huerta ve diğ., 2016; Saerens ve diğ., 2021; Zira ve diğ., 2021; Qalase ve diğ., 2022; Arrigoni ve diğ., 2023; Putman ve diğ., 2023), YDA modellemesi için ReCiPe Midpoint (H) hesaplama metodu kullanılmıştır. Tarım ve çiftlik aşamalarının da sistem sınırına dahil edildiği bu çalışmalarda İTP etki değerlerinin farklı hammadde ve atık yönetimi gibi sebeplerden birbirinden farklı olduğu görülmüştür. CML-IA metodunun kullanıldığı Ahmad ve diğ. (2023) çalışmasında işlenmiş et ürünü olan 1 kg sığır köftesi için daha düşük bir OTİP etkisi hesaplanmıştır. Bu çalışmadaki sonucun farklılığının ise etin yanı sıra kullanılan diğer hammaddelerden ve sistem sınırının farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.12: İTP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	İTP Etki Değeri (kg 1,4-DB eşd.)	Örnek Çalışma
100 g sığır eti	Tarım + kesim + işleme + paketlenme + dağıtım + tüketim	ReCiPe	9,75E-02	Arrigoni ve diğ. (2023)
1 kg domuz eti	Tarım + çiftlik + kesim + üretim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	2,35E-02	Qalase ve diğ. (2022)
1 kg köfte (sığır eti)	Tarım (hammadde) + paketlenme	CML-IA	9,56E-01	Ahmad ve diğ. (2023)
1 kg sığır eti	Tarım + üretim + işleme + perakende satış + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	1,52E-01	Putman ve diğ. (2023)
1 kg dana burger köftesi	Tarım + çiftlik + hammadde transferi + depolama + üretim	ReCiPe Midpoint (H)	0,9E+00	Saerens ve diğ. (2021)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + transfer + üretim + pazara dağıtım + satış + tüketim ve yaşam sonu	CML2001	2,06E+00 ¹	Chen ve diğ. (2021)
1000 kg domuz eti	Tarım + çiftlik + kesim + pazara dağıtım + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	2,0E+03	Zira ve diğ. (2021)
1 kg kemiksiz ve yağsız sığır eti	Tarım + çiftlik + üretim + transfer + pazara dağıtım	ReCiPe Midpoint (H)	2,5E-01 ² 1,1E-01 ³	Huerta ve diğ. (2016)
1 kg domuz eti	Çiftlik + kesimhane + üretim + atık su arıtma	CCaLC database	3,72E-01	Djekic ve diğ. (2015)
1 kangal sucuk (0,5 kg)	Hammadde transferi + kesim + üretim + pazara dağıtım	CML-IA	1,63E+01	Bu çalışma

¹ Çalışmada sığır eti üretimi modellemesi için yerel üretim ve pazar verileri olarak İrlanda için etki değerleri verilmiştir.

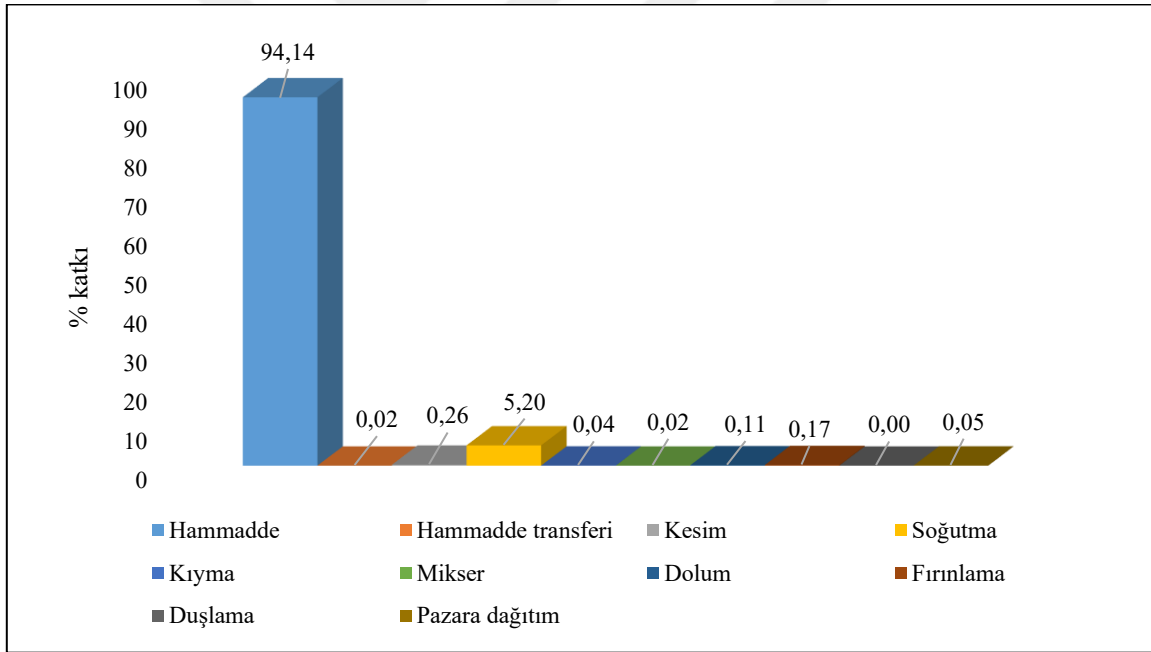
² Kapalı sistem ile beslenen sığır.

³ Açık sistem ile beslenen sığır.

4.1.6. Tatlı su canlılarına ekotoksosite potansiyeli (TSCEP)

TSCEP etki kategorisi bir kangal sucuk üretimi çevresel etki sonuçları (kg 1,4-DB eşd.) ve üretim aşamalarının % katkıları Tablo 4.13'te ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Toplam TSCEP etki değeri 1,19E+01 kg 1,4-DB eşd. olup katkının büyük bir kısmını %94,14 oranı ile hammadde aşaması oluşturmaktadır. Hammadde aşamasında TSCEP'ye en fazla katkı sağlayan canlı hayvan girdisi olup kirletici envanterinin proses katkısına etki eden envanter sonuçlarına (EK 6) bakıldığında büyük bir kısmı zirai faaliyetlerden kaynaklı tarım toprağına emisyonlar (%51,76'sı bakır, %28,52'si nikel ve %19,07'si çinko) oluşturmaktadır.

Kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden kirletici envanterinin proses katkısına (EK 6) göre emisyonlar; bakır (%49,61); nikel (%27,34) ve çinko (%18,28) olmak üzere toprağı emisyonlar ile nikel (%3,20) ve berilyum (%1,57) elementleri olmak üzere yeraltı suyuna emisyonlardır.



Şekil 4.7: 1 kangal sucuk üretiminin TSCEP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.13: 1 kangal sucuk üretimi için TSCEP'ye etki eden faktörler (kg 1,4-DB eşd.).

Faktörler	Miktar	%
Hammadde	1,12E+01	94,14
Hammadde transferi	2,70E-03	0,02
Kesim	3,08E-02	0,26
Soğutma	6,19E-01	5,20
Kıyma	4,26E-03	0,04
Mikser	1,95E-03	0,02
Dolum	1,29E-02	0,11
Fırınlama	2,08E-02	0,17
Duşlama	5,15E-05	0,00
Pazara dağıtım	5,36E-03	0,05

Tablo 4.14'te et üretimi ile ilgili literatür çalışmalarında karşılaşılan TSCEP etki değerleri yer almaktadır. Et üretimi ile ilgili YDA çalışmaları için seçilen fonksiyonel birim, sistem sınırları, yazılım paketleri ve hesaplama metotları farklılık içerdiğinden elde edilen sonuçlar literatür ile doğrudan karşılaştırılamamaktadır. Ancak Tablo 4.14 incelendiğinde sucuk üretiminin literatürde yer alan işlenmemiş sığır eti eldesi (1 kg) çalışmalarından (Huerta ve diğ., 2016; Chen ve diğ., 2021; Putman ve diğ., 2023) daha yüksek TSCEP etki değerine sahip olduğu görülmüştür. Sucuk üretiminde daha az miktarda sığır eti kullanılmasına rağmen daha yüksek etkinin kaynağının sucuk eldesi aşamasındaki işlemler olduğu düşünülmektedir. Aynı fonksiyonel birimin kullanıldığı (1 kg sığır eti), Chen ve diğ. (2021) ile Huerta ve diğ. (2016) çalışmalarında farklı sistem sınırı ve hesaplama yöntemi nedeniyle yine birbirlerinden de oldukça farklı TSCEP etki değeri bulunmuştur. CML-IA metodunun kullanıldığı Ahmad ve diğ. (2023) çalışmasında işlenmiş et ürünü olan 1 kg sığır köftesi için daha düşük bir TSCEP etkisi hesaplanmıştır. Bu çalışmadaki sonucun farklılığının ise etin yanı sıra kullanılan diğer hammaddelerden ve sistem sınırının farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.14: TSCEP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	TSCEP Etki Değeri (kg 1,4-DB eşd.)	Örnek Çalışma
100 g sığır eti	Tarım + kesim + işleme + paketlenme + dağıtım + tüketim	ReCiPe	2,56E-02	Arrigoni ve diğ. (2023)
1 kg bezelye proteini konsantresi	Yeşil bezelye ekimi + protein işleme + et ürünlerine dönüştürme (sosis vb.)	ReCiPe 2016 Midpoint (E)	1,17E-01	Desiderio ve diğ. (2023)
1 kg bezelye proteinli sosis			3,29E-02	
1 kg köfte (sığır eti)	Tarım (hammadde) + paketlenme	CML-IA	4,84E+00	Ahmad ve diğ. (2023)
1 kg sığır eti	Tarım + üretim + işleme + perakende satış + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	7,10E-01	Putman ve diğ. (2023)
1 kg domuz eti	Tarım + çiftlik + kesim + üretim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	1,75E-02	Qalase ve diğ. (2022)
1 kg dana burger köftesi	Tarım + çiftlik + hammadde transferi + depolama + üretim	ReCiPe Midpoint (H)	2,6E-02	Saerens ve diğ. (2021)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + transfer + üretim + pazara dağıtım + satış + tüketim ve yaşam sonu	CML2001	1,26E+00 ¹	Chen ve diğ. (2021)
1000 kg domuz eti	Tarım + çiftlik + kesim + pazara dağıtım + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	8,5E+01	Zira ve diğ. (2021)
kg kemiksiz ve yağsız sığır eti	Tarım + çiftlik + üretim + transfer + pazara dağıtım	ReCiPe Midpoint (H)	1,0E-02	Huerta ve diğ. (2016)
1 kangal sucuk (0,5 kg)	Hammadde transferi + kesim + üretim + pazara dağıtım	CML-IA	1,19E+01	Bu çalışma

¹ Çalışmada sığır eti üretimi modellemesi için yerel üretim ve pazar verileri olarak İrlanda için etki değerleri verilmiştir.

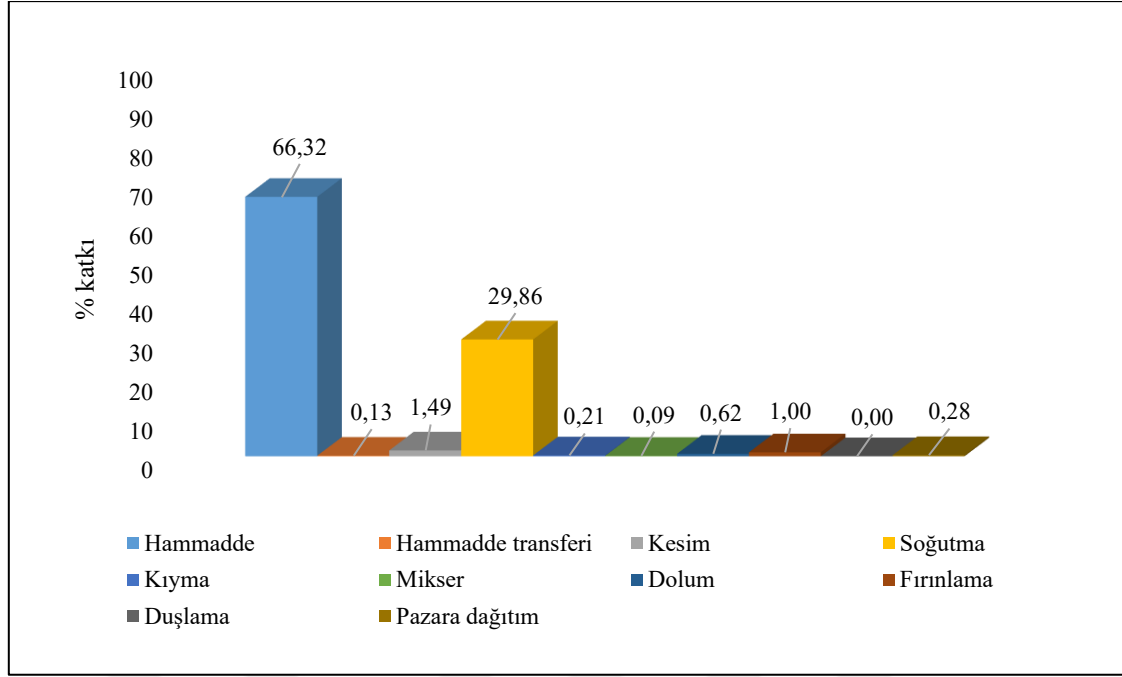
4.1.7. Deniz Canlılarına Ekotoksosite Potansiyeli (DCEP)

DCEP etki kategorisi bir kangal sucuk üretimi çevresel etki sonuçları (kg 1,4-DB eşd.) ve üretim aşamalarının % katkıları Tablo 4.15'te ve Şekil 4.8'de verilmiştir. Toplam DCEP etki değeri $6,39E+03$ kg 1,4-DB eşd. olup, hammadde %66,32 ($4,24E+03$ kg 1,4-DB eşd.) ile en büyük katkıyı oluşturmaktadır. Soğutma aşaması ise %29,86 oranı ile katkı sağlamaktadır. Diğer süreçlerin katkısı %2'nin altındadır. Hayvanın yetiştirilmesi yani çiftlik aşaması her ne kadar sistem sınırları dışında olsa da canlı hayvan girdisi sebebiyle katkıya sebep olmaktadır. Kanta (2019) çalışmasında çiftlik aşamasında yetiştirme amacıyla kullanılan elektriğin toplam DCEP etki kategorisi değerinin %70'ini yansıttığını belirtmiştir.

Hammadde aşamasında DCEP'ye en fazla katkı sağlayan canlı hayvan girdisi olup kirletici envanterinin proses katkısına etki eden envanter sonuçlarına (EK 7) bakıldığında %51,12'si nikel, %27,12'si bakır ve %7,49'u çinko olmak üzere tarım toprağına; %8,59 oranında havaya hidrojen florür (HF) ve %3,98 oranında yeraltı suyuna berilyum emisyonları oluşturmaktadır.

Soğutma aşamasından kaynaklı kirletici envanterinin proses katkısına (EK 7) göre %42,89'u berilyum, %10,86'sı nikel ve toplamda %13,08'ini kobalt, selenyum ve vanadyum elementleri ile yeraltı suyuna emisyonları ile %33,17 oranında HF bileşigi havaya emisyon oluşturmaktadır.

DCEP'ye CML-IA hesaplama metoduna göre, sucuk üretiminin kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden proses katkılarına (EK 7) bakıldığında nikel (%34,29), bakır (%18,19) ve çinko (%5,02) olmak üzere toprağına emisyonlar; berilyum (%16,81); nikel (%4,03); kobalt (%1,81); vanadyum (%1,64) ve selenyum (%1,52) elementleri olmak üzere yeraltı suyuna emisyonlar ile hidrojenflorür (%16,68) bileşigi olmak üzere havaya emisyonlardır.



Şekil 4.8: 1 kangal sucuk üretiminin DCEP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.15: 1 kangal sucuk üretimi için DCEP'ye etki eden faktörler (kg 1,4-DB eşd.).

Faktörler	Miktar	%
Hammadde	4,24E+03	66,32
Hammadde transferi	8,35E+00	0,13
Kesim	9,50E+01	1,49
Soğutma	1,91E+03	29,86
Kıyma	1,31E+01	0,21
Mikser	6,01E+00	0,09
Dolum	3,98E+01	0,62
Fırınlama	6,41E+01	1,00
Duşlama	1,33E-01	0,00
Pazara dağıtım	1,79E+01	0,28

Tablo 4.16'da et üretimi ile ilgili literatür çalışmalarında karşılaşılan DCEP etki değerleri yer almaktadır. Et üretimi ile ilgili YDA çalışmaları için seçilen fonksiyonel birim, sistem sınırları, yazılım paketleri ve hesaplama metotları farklılık içerdiğinden elde edilen sonuçlar literatür ile doğrudan karşılaştırılamamaktadır. Diğer etki kategorilerinde olduğu gibi aynı fonksiyonel birimde domuz eti ile yapılan çalışmalarda, sığır eti çalışmalarına göre daha düşük DCEP etki değerleri bulunmuştur. 1 kg sığır etinin çevresel etkilerinin bu tez çalışması

ile aynı hesaplama metodu ile değerlendirildiği Chen ve diğ. (2021)'nin çalışması ile bu tez çalışmasında aynı derecede DCEP etki değerlerinin elde edildiği görülmüştür.

Chen ve diğ. (2021)'nin çalışmasında tarım ve çiftlik aşamalarının dahil olmasına rağmen sucuk üretiminde daha yüksek değerler elde edilmesinde sucuk üretim aşamalarının etkili olduğu düşünülmektedir.

Ahmad ve diğ. (2023), işlenmiş et ürünü olan 1 kg sığır köftesi için yaptıkları çalışmada daha düşük etki değeri hesaplamışlardır. Ancak bahsi geçen literatür çalışmasında da, bu tez çalışmasında olduğu gibi DCEP'ye en büyük katkının sığır hammaddesinden geldiği ortaya konmuştur.



Tablo 4.16: DCEP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	DCEP Etki Değeri (kg 1,4-DB eşd.)	Örnek Çalışma
100 g sığır eti	Tarım + kesim + işleme + paketlenme + dağıtım + tüketim	ReCiPe	1,81E-02	Arrigoni ve diğ. (2023)
1 kg bezelye proteini konsantresi	Yeşil bezelye ekimi + protein işleme + et ürünlerine dönüştürme (sosis vb.)	ReCiPe 2016 Midpoint (E)	5,15E+02	Desiderio ve diğ. (2023)
1 kg bezelye proteinli sosis			1,39E+02	
1 kg köfte (sığır eti)	Tarım (hammadeler) + paketlenme	CML-IA	1,21E+03	Ahmad ve diğ. (2023)
1 kg sığır eti	Tarım + üretim + işleme + perakende satış + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	9,03E-01	Putman ve diğ. (2023)
1 kg domuz eti	Tarım + çiftlik + kesim + üretim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	1,27E-02	Qalase ve diğ. (2022)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + transfer + üretim + pazara dağıtım + satış + tüketim ve yaşam sonu	CML2001	4,51E+03 ¹	Chen ve diğ. (2021)
1000 kg domuz eti	Tarım + çiftlik + kesim + pazara dağıtım + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	7,7E+01	Zira ve diğ. (2021)
1 kangal sucuk (0,5 kg)	Hammadde transferi + kesim + üretim + pazara dağıtım	CML-IA	6,39E+03	Bu çalışma

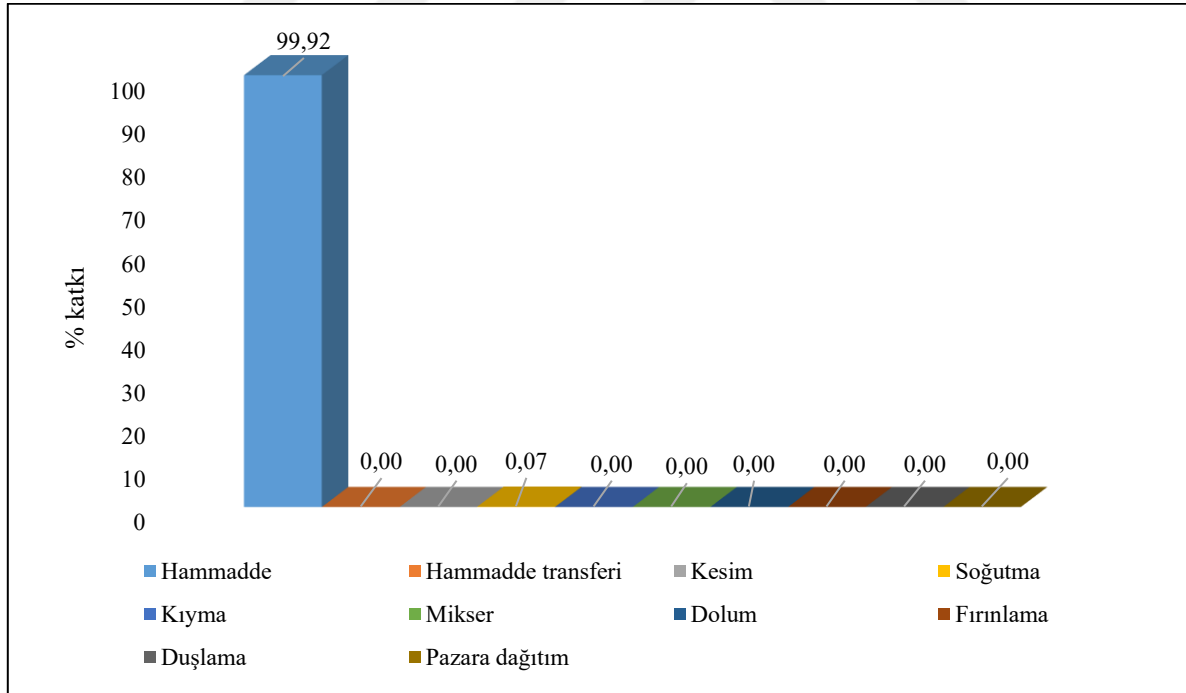
¹ Çalışmada sığır eti üretimi modellemesi için yerel üretim ve pazar verileri olarak İrlanda için etki değerleri verilmiştir.

4.1.8. Kara Canlılarına Ekotoksosite Potansiyeli (KCEP)

KCEP etki kategorisi bir kangal sucuk üretimi çevresel etki sonuçları (kg 1,4-DB eşd.) ve üretim aşamalarının % katkıları Tablo 4.17’de ve Şekil 4.9’da verilmiştir. Toplam KCEP etki değeri 1,74E+00 kg 1,4-DB eşd. olup katkının neredeyse tamamını %99,92 oranı ile hammadde aşaması oluşturmaktadır.

Hammadde aşamasında proses katkısına etki eden envanter sonuçlarına (EK 8) bakıldığında KCEP’ye olan katkının neredeyse tamamı canlı hayvan girdisi olduğu görülmektedir. Kirletici envanterinin proses katkısına etki eden envanter sonuçlarına (EK 8) bakıldığında zirai faaliyetlerden kaynaklı %61,36’sı çinko, %25,18’i nikel ve geriye kalan toplamda %13,46’sı bakır, kurşun, kadmiyum ve sipermetrin olmak üzere tarım toprağına emisyonlar oluşturmaktadır.

KCEP’ye CML-IA hesaplama metoduna göre sucuk üretiminin, kesme kriteri %1’in üzerinde etki eden proses katkılarına (EK 8) göre, emisyonlar çinko (%61,36); nikel (%25,18); bakır (%7,82); kurşun (%2,37) elementleri ile sipermetrin bileşiğı (%1,90) ve kadmiyum (%1,37) elementleri olmak üzere toprağı emisyonlardır.



Şekil 4.9: 1 kangal sucuk üretiminin KCEP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.17: 1 kangal sucuk üretimi için KCEP'ye etki eden faktörler (kg 1,4-DB eşd.).

Faktörler	Miktar	%
Hammadde	1,74E+00	99,92
Hammadde transferi	5,46E-05	0,00
Kesim	6,21E-05	0,00
Soğutma	1,17E-03	0,07
Kıyma	8,04E-06	0,00
Mikser	3,68E-06	0,00
Dolum	2,44E-05	0,00
Fırınlama	3,92E-05	0,00
Duşlama	9,54E-08	0,00
Pazara dağıtım	7,52E-05	0,00

Tablo 4.18'de et üretimi ile ilgili literatür çalışmalarında karşılaşılan KCEP etki değerleri yer almaktadır. Et üretimi ile ilgili YDA çalışmaları için seçilen fonksiyonel birim, sistem sınırları, yazılım paketleri ve hesaplama metotları farklılık içerdiğinden elde edilen sonuçlar literatür ile doğrudan karşılaştırılamamaktadır. Tablo 4.18 incelendiğinde, KCEP etki değerinin aynı hesaplama metodunun kullanıldığı Chen ve diğ. (2021) çalışmasından oldukça yüksek olduğu görülmektedir. CML-IA metodunun kullanıldığı Ahmad ve diğ. (2023) çalışmasında işlenmiş et ürünü olan 1 kg sığır köftesi için çok daha yüksek bir KCEP etkisi hesaplanmıştır.

Tablo 4.18: KCEP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	KCEP Etki Değeri (kg 1,4-DB eşd.)	Örnek Çalışma
100 g sığır eti	Tarım + kesim + işleme + paketlenme + dağıtım + tüketim	ReCiPe	1,47E-02	Arrigoni ve diğ. (2023)
1 kg bezelye proteini konsantresi	Yeşil bezelye ekimi + protein işleme + et ürünlerine dönüştürme (sosis vb.)	ReCiPe 2016 Midpoint (E)	1,27E+01	Desiderio ve diğ. (2023)
1 kg bezelye proteinli sosis			3,44E+00	
1 kg köfte (sığır eti)	Tarım (hammadde) + paketlenme	CML-IA	1,21E+03	Ahmad ve diğ. (2023)
1 kg sığır eti	Tarım + üretim + işleme + perakende satış + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	2,21E-01	Putman ve diğ. (2023)
1 kg domuz eti	Tarım + çiftlik + kesim + üretim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	6,56E+00	Qalase ve diğ. (2022)
1 kg dana burger köftesi	Tarım + çiftlik + hammadde transferi + depolama + üretim	ReCiPe Midpoint (H)	1,1E-01	Saerens ve diğ. (2021)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + transfer + üretim + pazara dağıtım + satış + tüketim ve yaşam sonu	CML2001	9,71E-02 ¹	Chen ve diğ. (2021)
1000 kg domuz eti	Tarım + çiftlik + kesim + pazara dağıtım + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	1,0E+01	Zira ve diğ. (2021)
1 kanğal sucuk (0,5 kg)	Hammadde transferi + kesim + üretim + pazara dağıtım	CML-IA	1,74E+00	Bu çalışma

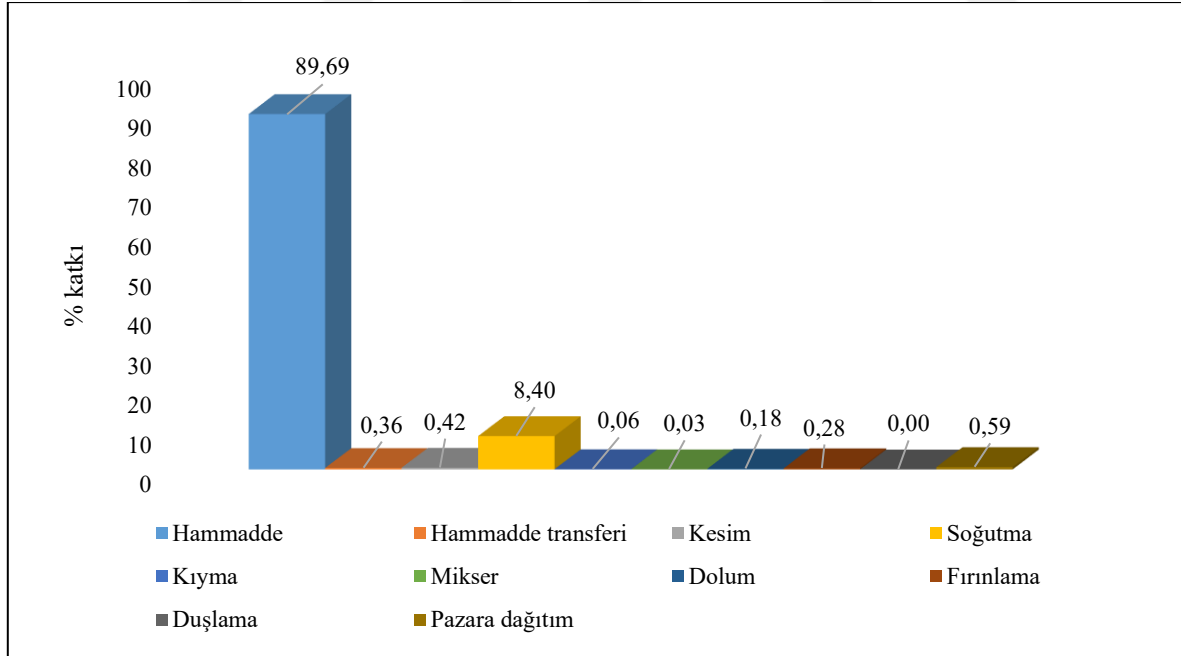
¹ Çalışmada sığır eti üretimi modellemesi için yerel üretim ve pazar verileri olarak İrlanda için etki değerleri verilmiştir.

4.1.9. Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli (FOP)

FOP etki kategorisi bir kungal sucuk üretimi çevresel etki sonuçları (kg C₂H₄ eşd.) ve üretim aşamalarının % katkıları Tablo 4.19’da ve Şekil 4.10’da verilmiştir. Toplam FOP etki değeri 2,50E-03 kg C₂H₄ eşd. olup hammadde aşaması %89,69 ile en büyük katkıyı oluşturmaktadır. Soğutma aşaması %8,40 oranı ile katkı sağlamaktadır. Diğer aşamaların katkıları %1’in altındadır. Hammadde aşamasındaki katkının büyük bir kısmı canlı hayvan girdisi olup FOP’ye sebep olan kirletici envanterinin proses katkılarına etki eden envanter sonuçlarına (EK 9) bakıldığında, %94,’ü biyogenik CH₄, %4,36’sı SO₂ ve %1,63’ü C₂H₄ (etilen) olmak üzere havaya emisyonlar oluşturmaktadır. Canlı hayvanın sindirim faaliyetleri sırasında oluşan ve biyogenik metan olarak ifade edilen CH₄ emisyonu, bu etki kategorindeki kirleticinin ana faaliyet kaynağıdır.

Soğutma aşamasından kaynaklı kirletici envanterinin proses katkısına (EK 9) göre %99,65’i SO₂ ve geri kalan kısmını ise CH₄ (%0,35) kaynaklı havaya emisyonlar oluşturmaktadır.

FOP’ye CML-IA hesaplama metoduna göre sucuk üretiminin, kesme kriteri %1’in üzerinde etki eden proses katkılarına (EK 9) göre CH₄-biyogenik (%85,61), SO₂ (%12,90) ve C₂H₄ (%1,49) bileşikler olmak üzere havaya emisyonlardır.



Şekil 4.10: 1 kungal sucuk üretiminin FOP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.19: 1 kangal sucuk üretimi için FOP'ye etki eden faktörler (kg C₂H₄ eşd.).

Faktörler	Miktar	%
Hammadde	2,24E-03	89,69
Hammadde transferi	8,89E-06	0,36
Kesim	1,06E-05	0,42
Soğutma	2,10E-04	8,40
Kıyma	1,44E-06	0,06
Mikser	6,60E-07	0,03
Dolum	4,37E-06	0,18
Fırınlama	7,04E-06	0,28
Duşlama	2,10E-08	0,00
Pazara dağıtım	1,48E-05	0,59

Tablo 4.20'de et üretimi ile ilgili literatür çalışmalarında karşılaşılan FOP etki değerleri yer almaktadır. Literatürde et entegre tesislerinde sucuk üretimine dair bir YDA çalışmasına rastlanılmamıştır. Et üretimi ile ilgili YDA çalışmaları için seçilen fonksiyonel birim, sistem sınırları, yazılım paketleri, hesaplama metotları ve ürün cinsi bakımından farklılık içerdiğinden elde edilen sonuçlar literatür ile doğrudan karşılaştırılamamaktadır.

Tablo 4.20 incelendiğinde, FOP etki değerinin aynı hesaplama metodunun (CML2001) kullanıldığı Chen ve diğ. (2021) çalışması ile birbirine yakın etki değerlerinin söz konusu olduğu görülmektedir.

CML-IA metodunun kullanıldığı Ahmad ve diğ. (2023) çalışmasında işlenmiş et ürünü olan 1 kg sığır köftesi için yaklaşık 2 katı bir FOP etkisi hesaplanmıştır.

Tablo 4.20: FOP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	FOP Etki Değeri (kg 1,4-DB eşd.)	Örnek Çalışma
1 kg köfte (sığır eti)	Tarım (hammaddeler) + paketlenme	CML-IA	4,17E-03 ¹	Ahmad ve diğ. (2023)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + transfer + üretim + pazara dağıtım + satış + tüketim ve yaşam sonu	CML2001	3,76E-03 ²	Chen ve diğ. (2021)
1 kg domuz karkas eti	³ Tarım + çiftlik + kesim + kesimhane	ReCiPe	7,26E-03 ⁴	Pazmiño ve Ramirez (2021)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + üretim+ paketlenme + pazara dağıtım + tüketici	Eco Efficiency Analysis (EEA) metodoloji	1,47E-01 ⁵	Asem-Hiablie ve diğ. (2019)
1 kangal sucuk (0,5 kg)	Hammadde transferi + kesim + üretim + pazara dağıtım	CML-IA	2,50E-03	Bu çalışma

¹ Çalışmada FOP etki değeri birimi kg NO_x eşd. olarak verilmiştir.

² Çalışmada sığır eti üretimi modellemesi için yerel üretim ve pazar verileri olarak İrlanda için etki değerleri verilmiştir.

³ Bu çalışma için sistem sınırı, beşikten mezbahaya kadar kapsamı olan domuz eti sistemidir ve veriler 2019 yılı için elde edilmiştir.

⁴ Çalışmanın mevcut senaryosu, Senaryo 1: Ana ürün domuzun %79'unun domuz karkasından oluşması ve yan ürünlerin ve kalıntıların atılması ve FOP etki değerinin birimi : kg NMVOC-eşd.

⁵ Çalışmada fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli, kg C₂H₄ eşd. biriminde hesaplanmıştır.

4.1.10. Asidifikasyon Potansiyeli (AP)

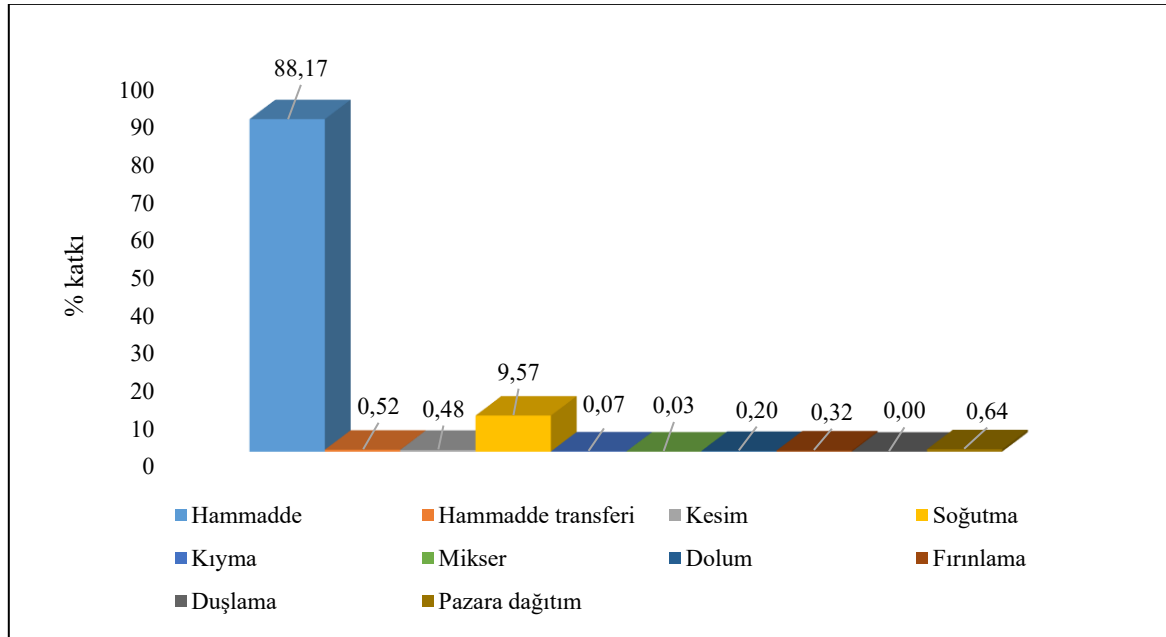
AP etki kategorisi bir kangal sucuk üretimi çevresel etki sonuçları (kg SO₂ eşd.) ve üretim aşamalarının % katkıları Tablo 4.21’de ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Toplam AP etki değeri 6,01E-02 kg SO₂ eşd. olup %88,17 oranı ile en büyük katkıyı hammadde aşaması oluşturmaktadır. Soğutma aşaması ise %9,57 oranı ile katkı sağlamaktadır. Diğer aşamaların katkısı %1’in altındadır.

Hammadde aşamasındaki katkının büyük bir kısmı canlı hayvan girdisi olup AP’ye sebep olan kirletici envanterinin proses katkılarına etki eden envanter sonuçlarına (EK 10) bakıldığında, %89,69’u NH₃, %5,89’u NO_x ve %4,42’si SO₂ olmak üzere havaya emisyonlar oluşturmaktadır. Hayvan çiftliklerinden kaynaklı amonyumdan oluşan nitratin, su kaynaklarını asitlendirdiği bilinmektedir.

Soğutma aşamasından kaynaklı kirletici envanterinin proses katkılarına etki eden envanter sonuçlarına (EK 10) göre, %80,31’ini SO₂ ve geri kalan %19,17’si NO_x ile NH₃ (%0,53) kaynaklı havaya emisyonlar oluşturmaktadır.

NH₃, SO₂, NO ve HF asitleşmeye en önemli katkı sağlayan emisyonlardır (Devers ve diğ., 2012).

AP’ye CML-IA hesaplama metoduna göre sucuk üretiminin, kesme kriteri %1’in üzerinde etki eden proses katkısına etki eden envanter sonuçlarına (EK 10) bakıldığında, NH₃ (%79,59); SO₂ (%12,76) ve NO_x (%7,66) bileşikleri olmak üzere havaya emisyonlardır.



Şekil 4.11: 1 kangal sucuk üretiminin AP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.21: 1 kangal sucuk üretimi için AP'ye etki eden faktörler (kg SO₂ eşd.).

Faktörler	Miktar	%
Hammadde	5,30E-02	88,17
Hammadde transferi	3,10E-04	0,52
Kesim	2,89E-04	0,48
Soğutma	5,75E-03	9,57
Kıyma	3,96E-05	0,07
Mikser	1,81E-05	0,03
Dolum	1,20E-04	0,20
Fırınlama	1,93E-04	0,32
Duşlama	5,05E-07	0,00
Pazara dağıtım	3,85E-04	0,64

Tablo 4.22'de et üretimi ile ilgili literatür çalışmalarında karşılaşılan AP etki değerleri yer almaktadır. Literatürde et entegre tesislerinde sucuk üretimine dair bir YDA çalışmasına rastlanılmamıştır. Et üretimi ile ilgili YDA çalışmaları için seçilen fonksiyonel birim, sistem sınırları, yazılım paketleri ve hesaplama metotları farklılık içerdiğinden elde edilen sonuçlar literatür ile doğrudan karşılaştırılamamaktadır.

Tablo 4.22 incelendiğinde, AP etki değerinin aynı hesaplama metodunun kullanıldığı Chen ve diğ. (2021) çalışmasından daha düşük olduğu görülmektedir.

İşlenmiş et ürünü olan 1 kg sığır köftesi için CML-IA metodunun kullanıldığı Ahmad ve diğ. (2023) çalışmasında daha yüksek bir AP etkisi hesaplanmıştır.

Tablo 4.22: AP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	AP Etki Değeri (kg SO ₂ eşd.)	Örnek Çalışma
100 g sığır eti	Tarım + kesim + işleme + paketlenme + dağıtım + tüketim	ReCiPe	6,03E-02	Arrigoni ve diğ. (2023)
1 kg bezelye proteini konsantresi	Yeşil bezelye ekimi + protein işleme + et ürünlerine dönüştürme (sosis vb.)	ReCiPe 2016 Midpoint (E)	8,36E-03	Desiderio ve diğ. (2023)
1 kg bezelye proteinli sosis			3,94E-03	
1 kg köfte (sığır eti)	Tarım (hammadde) + paketlenme	CML-IA	4,06E-01	Ahmad ve diğ. (2023)
1 kg sığır eti	Tarım + üretim + işleme + perakende satış + tüketim	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	3,47E-01	Putman ve diğ. (2023)
1 kg dana burger köftesi	Tarım + çiftlik + hammadde transferi + depolama + üretim	ReCiPe Midpoint (H)	7,0E-01	Saerens ve diğ. (2021)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + transfer + üretim + pazara dağıtım + satış + tüketim ve yaşam sonu	CML2001	1,22E-01 ¹	Chen ve diğ. (2021)
1 kg domuz eti	Tarım + çiftlik + transfer + kesim + üretim	ILCD (2011)	3,1E-02	Dorca-Preda ve diğ. (2021)
1000 kg canlı ağırlık sığır eti	Hammadde transferi + kesim + soğutma + üretim + paketlenme + soğuk depolama	TRACI v2.1	7,26E-03	Li ve diğ. (2020)
1 kangal sucuk (0,5 kg)	Hammadde transferi + kesim + üretim + pazara dağıtım	CML-IA	6,01E-02	Bu çalışma

¹ Çalışmada sığır eti üretimi modellenmesi için yerel üretim ve pazar verileri olarak İrlanda için etki değerleri verilmiştir.

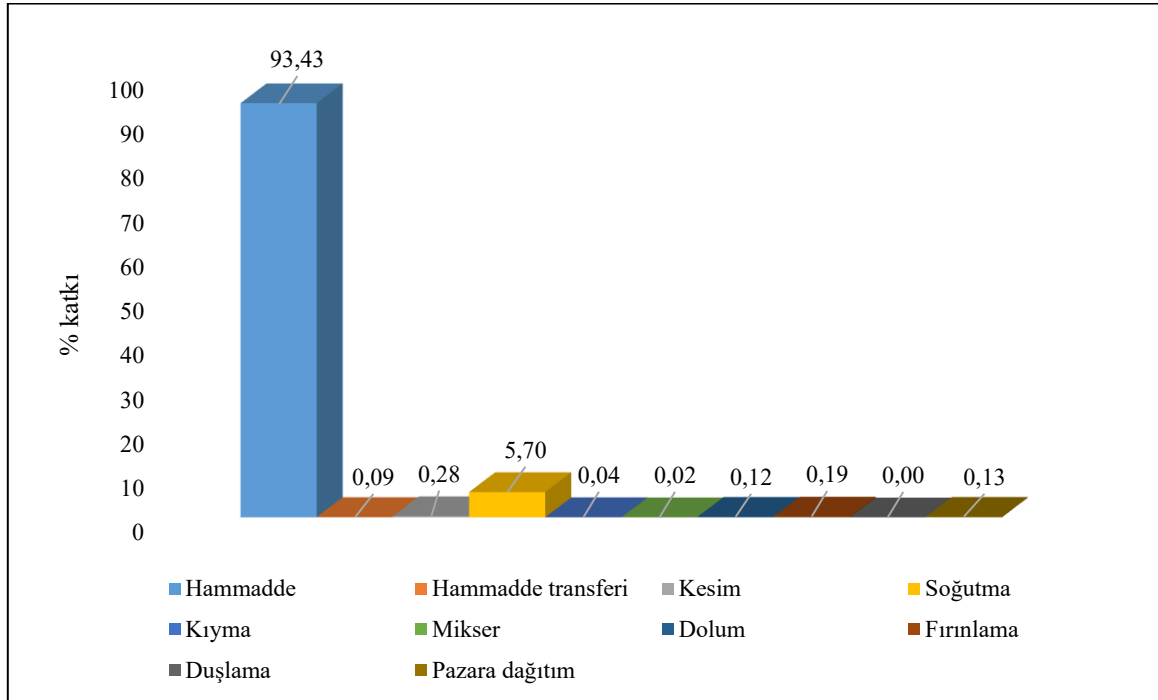
4.1.11. Ötrofikasyon Potansiyeli (ÖP)

ÖP etki kategorisi bir kangal sucuk üretimi çevresel etki sonuçları (kg PO₄ eşd.) ve üretim aşamalarının % katkıları Tablo 4.23'te ve Şekil 4.12'de verilmiştir. Toplam ÖP etki değeri 6,56E-02 kg PO₄ eşd. olup en büyük katkıyı hammadde aşaması (%93,43) oluşturmaktadır. Soğutma aşamasının katkısı %5,70'dir. Diğer aşamaların katkısı %1'in altındadır. Bu çalışmada ÖP'ye sebep olan emisyonları; havaya ve suya salınan amonyak, dinitrojen monoksit, nitrojen oksit, fosfor ve fosfat emisyonları ile ağırlıkla nitrat emisyonu oluşturmaktadır.

Hammadde aşamasındaki katkının neredeyse büyük bir kısmı canlı hayvan girdisi olup ÖP'ye sebep olan kirletici envanterinin proses katkısına etki eden envanter sonuçlarına (EK 11) göre %70,24'ü NO₃⁻ ve %5,17'si P olmak üzere yeraltı suyu ve nehirlerle; %17,02'si NH₃, %5,91'i N₂O ve %1,06'sı NO_x (azot oksitler) olmak üzere havaya emisyonlar oluşturmıştır.

Soğutma aşamasından kaynaklı kirletici envanterinin proses katkılarına etki eden envanter sonuçlarına (EK 11) göre, %91,32'si PO₄³⁻ ve %8,30'u NO_x kaynaklı suya ve havaya emisyonlar oluşturmıştır.

ÖP'ye CML-IA hesaplama metoduna göre sucuk üretiminin, kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden proses katkılarına (EK 11) göre, NO₃⁻ (%66,22), PO₄³⁻ (%5,79) bileşikleri ve P (%4,88) elementi olmak üzere suya; NH₃ (%16,05), N₂O (%5,58) ve NO_x (%1,49) bileşikleri olmak üzere havaya emisyonlardır.



Şekil 4.12: 1 kangal sucuk üretiminin ÖP etki kategorisine yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.23: 1 kangal sucuk üretimi için ÖP'ye etki eden faktörler (kg PO₄ eşd.).

Faktörler	Miktar	%
Hammadde	6,13E-02	93,43
Hammadde transferi	6,19E-05	0,09
Kesim	1,86E-04	0,28
Soğutma	3,74E-03	5,70
Kıyma	2,57E-05	0,04
Mikser	1,18E-05	0,02
Dolum	7,79E-05	0,12
Fırınlama	1,25E-04	0,19
Duşlama	2,21E-07	0,00
Pazara dağıtım	8,44E-05	0,13

Tablo 4.24'te et üretimi ile ilgili literatür çalışmalarında karşılaşılan ÖP etki değerleri yer almaktadır. Literatürde et entegre tesislerinde sucuk üretimine dair bir YDA çalışmasına rastlanılmamıştır. Et üretimi ile ilgili YDA çalışmaları için seçilen fonksiyonel birim, sistem sınırları, yazılım paketleri ve hesaplama metotları farklılık içerdiğinden elde edilen sonuçlar literatür ile doğrudan karşılaştırılamamaktadır.

Tablo 4.24 incelendiğinde, ÖP etki değerinin aynı hesaplama metodunun kullanıldığı Chen ve diğ. (2021) ve Presumido ve diğ. (2020) çalışmalarından daha düşük olduğu görülmektedir. Burada bu iki çalışmanın sistem sınırlarının farklı olmasına rağmen ÖP etki değerinin birbirine yakın olması da dikkati çekmektedir. İşlenmiş et ürünü olarak hamburger köftesi (Khan ve diğ., 2019) ve sucuk üretimini karşılaştırmak istediğimizde farklı fonksiyonel birim ve sistem sınırına rağmen aynı derecede ÖP etki değerinin açığa çıktığı görülmüştür. Daha düşük miktarda et kullanımı ve tarım gibi önemli katkı veren aşamaların olmamasına rağmen yine de sığır etinden sucuk üretiminin ÖP etki değeri, sığır etinden hamburger köftesi üretiminin ÖP etki değerinden yüksek saptanmıştır. Bunun sebebinin farklı hesaplama metodu olduğu düşünülmektedir. İşlenmiş et ürünü olan 1 kg sığır köftesi için CML-IA metodunun kullanıldığı Ahmad ve diğ. (2023) çalışmasında ise daha yüksek bir ÖP etkisi hesaplanmıştır.

Tablo 4.24: ÖP etki kategorisi sonuçlarını içeren bazı literatür çalışmaları.

Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Hesaplama Metodu	ÖP Etki Değeri (kg PO ₄ eşd.)	Örnek Çalışma
1 kg köfte (sığır eti)	Tarım (hammaddeler) + paketlenme	CML-IA	2,54E-01 ¹	Ahmad ve diğ. (2023)
1 kg sığır eti	Tarım + çiftlik + transfer + üretim + pazara dağıtım + satış + tüketim ve yaşam sonu	CML2001	1,06E-01 ²	Chen ve diğ. (2021)
1 kg domuz eti	Tarım + çiftlik + transfer + kesim + üretim	ILCD (2011)	1,79E-02	Dorca-Preda ve diğ. (2021)
1 kg sığır karkası	Çiftlik + transfer + kesimhane	CML 2001	1,23E-01 - 1,54E-01	Presumido ve diğ. (2020)
1 kg “Impossible Burger” köftesi	Tarım + çiftlik + üretim + dondurma + paketlenme	IMPACT 2002+	1,28E-03	Khan ve diğ. (2019)
1 kg sığır eti hamburger köftesi			1,51E-02	
1 kg sığır karkas ağırlığı	Yem üretimi + yem nakliyesi + işleme + çiftlik	Emisyon faktörleri ve literatür referans alınmış.	2,03E-02 ³	Tsutsumi ve diğ. (2018)
			1,78E-02 ⁴	
1 kangal sucuk (0,5 kg)	Hammadde transferi + kesim + üretim + pazara dağıtım	CML-IA	6,56E-02	Bu çalışma

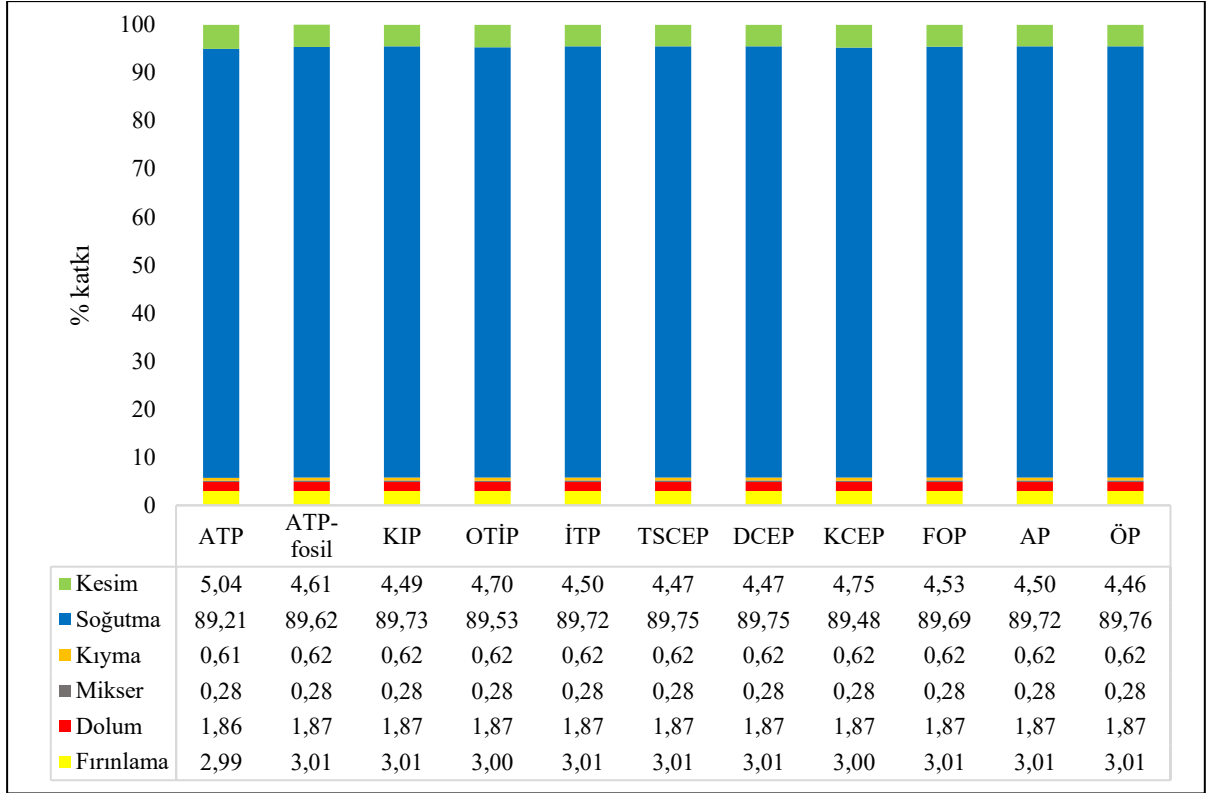
¹ Çalışmada ÖP etki değeri birimi kg P- eşd. olarak verilmiştir.² Çalışmada sığır eti üretimi modellemesi için yerel üretim ve pazar verileri olarak İrlanda için etki değerleri verilmiştir.³ Organik üretim.⁴ Organik olmayan üretim.

4.2. ALTERNATİF ENERJİ SENARYOLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Et entegre tesisinde sucuk üretiminde açığa çıkan çevresel etkilerin başında canlı hayvan girdisi gelmekte olup çevresel etkilerin azaltılması için hammaddenin değiştirilmesi mümkün değildir. İkincil çevresel etkiler ise esas olarak enerji kullanımı ve transfer aşamasından kaynaklı emisyonlardan oluşmaktadır. Özellikle yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı sürdürülebilir bir üretim yöntemi değildir. Bu sebeple sucuk üretim tesisinde meydana gelen çevresel etkileri azaltma ve sürdürülebilirliği iyileştirme amaçlı alternatif enerji senaryoları kurgulanmıştır. Bu bölümde et entegre tesisi sucuk üretimi aşamasında kullanılan şebeke elektriğinin kullanımına ait etki değerlerinin azaltılması amacıyla enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından kullanılması üzerine kurgulanmış 5 adet alternatif enerji senaryosunun (ES-1 jeotermal enerji, ES-2 rüzgar enerjisi, ES-3 güneş enerjisi, ES-4 biyogaz enerjisi ve ES-5 fotovoltaik güneş panelleri) çevresel etkileri ortaya konarak mevcut durum ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu değerlendirmede sucuk üretiminde elektrik enerjisinin kullanıldığı aşamalar dahil edilmiş olup; kesim, kıyma makinesi, mikser, dolum, fırınlama ve soğutmayı kapsamaktadır. Bu aşamalar için MD senaryosuna ait çevresel etki değerleri Tablo 4.25 ve çevresel etkilerinin yüzde katkıları Şekil 4.13'te verilmiştir. 1 kangal sucuk üretim aşamasının MD'de bütün etki kategorilerinde toplam etkiye en fazla katkının soğutma aşamasından (%89,21-%89,76) kaynaklandığı görülmüştür. Kesim aşamasının etki kategorilerine %4,46-%5,04 oranlarında; fırınlama aşamasının %2,99-%3,01 oranlarında; dolum aşamasının %1,86-%1,87 oranlarında katkı sağladığı; kıyma ve mikser süreçlerinin katkılarının ise tüm etki kategorilerinde %1'in altında olduğu görülmüştür.

Tablo 4.25: 1 kangal sucuk üretim aşamasının MD çevresel etki sonuçları.

Etki Kategorisi	Birim	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	TOPLAM (MD)
ATP	kg Sb eşd.	6,90E-08	1,22E-06	8,40E-09	3,85E-09	2,55E-08	4,10E-08	1,37E-06
ATP-fosil	MJ	5,73E-01	1,11E+01	7,66E-02	3,51E-02	2,32E-01	3,74E-01	1,24E+01
KIP	kg CO ₂ eşd.	5,18E-02	1,03E+00	7,11E-03	3,25E-03	2,16E-02	3,47E-02	1,15E+00
OTİP	kg CFC-11 eşd.	1,24E-09	2,36E-08	1,62E-10	7,43E-11	4,92E-10	7,93E-10	2,64E-08
İTP	kg 1,4-DB eşd.	2,26E-02	4,50E-01	3,09E-03	1,42E-03	9,38E-03	1,51E-02	5,02E-01
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	3,08E-02	6,19E-01	4,26E-03	1,95E-03	1,29E-02	2,08E-02	6,90E-01
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	9,50E+01	1,91E+03	1,31E+01	6,01E+00	3,98E+01	6,41E+01	2,13E+03
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	6,21E-05	1,17E-03	8,04E-06	3,68E-06	2,44E-05	3,92E-05	1,31E-03
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	1,06E-05	2,10E-04	1,44E-06	6,60E-07	4,37E-06	7,04E-06	2,34E-04
AP	kg SO ₂ eşd.	2,89E-04	5,75E-03	3,96E-05	1,81E-05	1,20E-04	1,93E-04	6,41E-03
ÖP	kg PO ₄ eşd.	1,86E-04	3,74E-03	2,57E-05	1,18E-05	7,79E-05	1,25E-04	4,16E-03



Şekil 4.13: Üretim aşamasının MD senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.26’da MD senaryosuna göre üretim aşamalarında temel akışların CML-IA hesaplama yönteminde ele alınan ve kesme kriteri %1’in üzerinde olan proses katkısına etki eden envanter sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 4.26’da verilen temel akışlara göre ATP etki kategorisinde altın ve kurşun elementlerinin tüketimi; ATP-fosil’de doğalgaz, linyit, taş kömürü ve ham petrol gibi fosil yakıt tüketimi; KIP’de fosil kaynaklı CO₂ ve CH₄ emisyonları; OTİP’de Halon 1301, CFC-114, Halon 1211 ve R-40 (monokloro metan) olmak üzere havaya emisyonlar; İTP’de selenyum, HF, baryum, nikel, vanadyum, talyum, molibden, berilyum, krom VI ve PM2.5 olmak üzere havaya ve suya emisyonlar; TSCEP’de nikel, berilyum, vanadyum, kobalt, baryum, bakır, selenyum ve çinko olmak üzere suya emisyonlar; DCEP’de berilyum, HF, nikel, kobalt, selenyum, vanadyum ve baryum olmak üzere havaya ve suya emisyonlar; KCEP’de cıva, krom VI ve nikel olmak üzere havaya emisyonlar; FOP’de SO₂, CH₄-fosil ve C₅H₁₂ olmak üzere havaya emisyonlar; AP’de SO₂ ve NO_x olmak üzere havaya emisyonlar ile ÖP’de PO₄, NO_x ve NO₃⁻ olmak üzere havaya ve suya emisyonlar bu etkilerin alt kaynağını oluşturmaktadır.

Tablo 4.26: CML-IA hesaplama metoduna MD üretim aşamalarına göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.

ATP			ATP-fosil			KIP		
Temel akış	Kg Sb eşd.	% dağılım	Temel akış	MJ	% dağılım	Temel akış	Kg CO ₂ eşd.	% dağılım
Altın	1,34E-06	98,88	Doğalgaz	4,60E+00	37,15	CO ₂ , fosil	1,06E+00	96,84
Kurşun	1,52E-08	1,12	Linyit	3,83E+00	30,92	CH ₄ , fosil	3,45E-02	3,16
			Taş kömürü	3,67E+00	29,68			
			Ham petrol	2,78E-01	2,24			
OTİP			İTP			TSCEP		
Temel akış	Kg CFC-11 eşd.	% dağılım	Temel akış	Kg 1,4-DB eşd.	% dağılım	Temel akış	Kg 1,4-DB eşd.	% dağılım
Halon 1301	2,317E-08	88,09	Selenyum	1,97E-01	42,01	Nikel	3,18E-01	46,73
CFC-114	1,82E-09	6,94	Hidrojen florür	4,71E-02	10,04	Berilyum	1,48E-01	21,70
Halon 1211	9,82E-10	3,75	Baryum	4,70E-02	10,03	Vanadyum	8,65E-02	12,72
R-40	3,19E-10	1,22	Nikel	3,78E-02	8,08	Kobalt	7,70E-02	11,32
			Vanadyum	3,05E-02	6,49	Baryum	1,70E-02	2,50
			Talyum	2,91E-02	6,20	Bakır	1,52E-02	2,23
			Molibden	2,90E-02	6,19	Selenyum	9,70E-03	1,43
			Berilyum	2,26E-02	4,82	Çinko	9,40E-03	1,38
			Krom VI	2,25E-02	4,80			
			PM2.5	6,33E-03	1,35			
DCEP			KCEP			FOP		
Temel akış	Kg 1,4-DB eşd.	% dağılım	Temel akış	Kg 1,4-DB eşd.	% dağılım	Temel akış	Kg C ₂ H ₄ eşd.	% dağılım
Berilyum	8,71E+02	41,63	Cıva	1,23E-03	97,03	SO ₂	2,01E-04	93,32
Hidrojen florür	6,73E+02	32,16	Krom VI	1,99E-05	1,57	CH ₄ , fosil	7,39E-06	3,42
Nikel	2,21E+02	10,55	Nikel	1,78E-05	1,40	CO, fosil	4,42E-06	2,05
Kobalt	9,89E+01	4,72				C ₅ H ₁₂ (Pentan)	2,57E-06	1,19
Selenyum	8,40E+01	4,01						
Vanadyum	8,27E+01	3,95						
Baryum	6,22E+01	2,97						
AP			ÖP					
Temel akış	Kg SO ₂ eşd.	% dağılım	Temel akış	Kg PO ₄ eşd.	% dağılım			
SO ₂	5,02E-03	81,27	PO ₄	3,71E-03	90,03			
NOx	1,16E-03	18,73	NOx	3,01E-04	7,31			
			NO ₃ ⁻	1,10E-04	2,67			

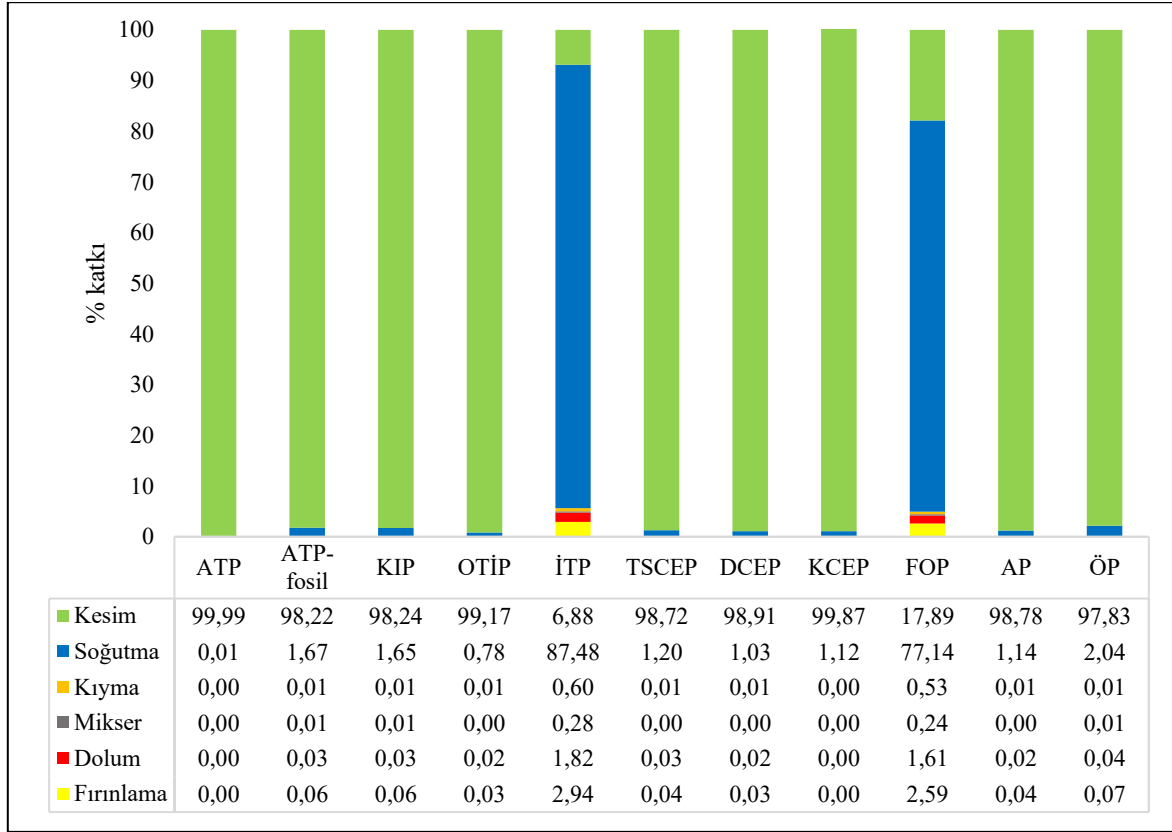
MD senaryosunda sucuk üretimi aşamasında kullanılan şebeke elektriğine alternatif olarak kurgulanmış 5 adet enerji senaryosunun (ES-1 jeotermal enerji, ES-2 rüzgar enerjisi, ES-3 güneş enerjisi, ES-4 biyogaz enerjisi ve ES-5 fotovoltaik güneş panelleri) çevresel etkileri aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.2.1. ES-1: Jeotermal Enerji

Et entegre tesisi sucuk üretim aşamasında kullanılan enerjinin jeotermal enerjiden sağlandığı senaryoya (ES-1) ait çevresel etkiler Tablo 4.27’de verilmiştir. Sucuk üretim prosesinin ES-1 senaryosuna göre etki değerlerinin yüzde katkı grafiği ise Şekil 4.14’te gösterilmiştir.

Tablo 4.27: 1 kangal sucuk üretim aşamasının ES-1 senaryosuna göre çevresel etki sonuçları.

Etki Kategorisi	Birim	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	TOPLAM
ATP	kg Sb eşd.	8,57E-09	9,71E-13	6,68E-15	3,06E-15	2,02E-14	3,26E-14	8,57E-09
ATP-fosil	MJ	2,17E-02	3,70E-04	2,54E-06	1,16E-06	7,70E-06	1,24E-05	2,21E-02
KIP	kg CO ₂ eşd.	6,23E-04	1,05E-05	7,19E-08	3,29E-08	2,18E-07	3,51E-07	6,34E-04
OTİP	kg CFC-11 eşd.	7,23E-11	5,70E-13	3,92E-15	1,79E-15	1,19E-14	1,91E-14	7,29E-11
İTP	kg 1,4-DB eşd.	8,16E-04	1,04E-02	7,13E-05	3,26E-05	2,16E-04	3,48E-04	1,19E-02
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	2,04E-04	2,49E-06	1,71E-08	7,82E-09	5,19E-08	8,35E-08	2,07E-04
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	6,05E-01	6,28E-03	4,32E-05	1,98E-05	1,31E-04	2,11E-04	6,11E-01
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	4,26E-06	5,32E-09	3,66E-11	1,67E-11	1,11E-10	1,78E-10	4,27E-06
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	2,77E-07	1,19E-06	8,21E-09	3,75E-09	2,49E-08	4,01E-08	1,55E-06
AP	kg SO ₂ eşd.	3,88E-06	4,49E-08	3,09E-10	1,41E-10	9,37E-10	1,51E-09	3,93E-06
ÖP	kg PO ₄ eşd.	7,92E-07	1,65E-08	1,13E-10	5,18E-11	3,44E-10	5,53E-10	8,10E-07



Şekil 4.14: Üretim aşamasının ES-1 senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.27 ve Şekil 4.14 birlikte değerlendirildiğinde, MD’de kullanılan şebeke elektriğine alternatif olarak oluşturulan ES-1 senaryosunun bütün etki kategorilerinde toplam etki miktarlarını büyük oranda azalttığı görülmüştür. MD toplam etki sonuçlarına göre ATP 1,37E-06 kg Sb eşd.den 8,57E-09 kg Sb eşd.ne; ATP-fosil 1,24E+01 MJ’den 2,21E-02 MJ’e; KIP 1,15E+00 kg CO₂ eşd.den 6,34E-04 kg CO₂ eşd.ne; OTİP 2,64E-08 kg CFC-11 eşd.den 7,29E-11 kg CFC-11 eşd.ne; İTP 5,02E-01 kg 1,4-DB eşd.den 1,19E-02 kg 1,4-DB eşd.ne; TSCEP 6,90E-01 kg 1,4-DB eşd.den 2,07E-04 kg 1,4-DB eşd.ne; DCEP 2,13E+03 kg 1,4-DB eşd.den 6,11E-01 kg 1,4-DB eşd.ne; KCEP 1,31E-03 kg 1,4-DB eşd.den 4,27E-06 kg 1,4-DB eşd.ne; FOP 2,34E-04 kg C₂H₄ eşd.den 1,55E-06 kg C₂H₄ eşd.ne; AP 6,41E-03 kg SO₂ eşd.den 3,93E-06 kg SO₂ eşd.ne ve ÖP 4,16E-03 kg PO₄ eşd.den 8,10E-07 kg PO₄ eşd.ne azalmaktadır.

MD’de üretim aşamasında elektrik enerjisinin en çok kullanıldığı süreç soğutma aşamasıdır. MD’de ATP, ATP-fosil, KIP, OTİP, TSCEP, DCEP, KCEP, AP ve ÖP etki kategorilerinde soğutma aşamasının katkısı %89,21-%89,76 iken ES-1 senaryosu ile bu katkı %0,01-%2,04 lere; İTP’de %89,72’den %87,48’e ve FOP’de %89,69’dan %77,14’e düştüğü görülmektedir. ES-1 senaryosu ile etki kategorilerinin tümünde önemli oranda azalmalar elde

edilirken en fazla katkı veren üretim aşaması da 11 etki kategorisinin 9'unda soğutma aşaması yerine kesim aşaması olarak değişmiştir. İTP ve FOP etki kategorilerinde ise soğutma aşaması yine en yüksek katkıyı veren üretim aşaması olarak kalmıştır.

Tablo 4.28'de ES-1 senaryosuna göre üretim aşamalarında temel akışların CML-IA hesaplama yönteminde ele alınan ve kesme kriteri %1'in üzerinde olan proses katkısına etki eden envanter sonuçları yer almaktadır.

ES-1 senaryosuna göre temel akışların gösterildiği Tablo 4.28'deki veriler MD'ye göre değerlendirildiğinde İTP'ye olan selenyum, HF, baryum, nikel, vanadyum, talyum, molibden gibi emisyonların etkisi %1'in altına düşmüş veya ortadan kalkmıştır. ES-1 senaryosuna göre İTP'ye temel akış olarak sadece C₆H₆ (benzen) bileşiğinin oluşturduğu emisyon bulunmaktadır. KCEP'ye olan temel akışta ES-1 senaryosunda cıva emisyonu MD senaryosunda olduğu gibi baskın olup krom ve nikel elementlerinin emisyonları %1'in altına düşmüştür. FOP'ye olan temel akışta MD'de SO₂ emisyonları dağılımında %93,2 oranında iken ES-1 senaryosunda %3,49'a düşmüş ve baskın emisyon %94,27 ile benzen (C₆H₆) olarak değişmiştir. Ayrıca ÖP'ye MD'deki temel akışlara ek olarak az bir oranda (%2,19) KOİ suya emisyonu oluşmaktadır.

Tablo 4.28: CML-IA hesaplama metodu ES-1 üretim aşamalarına göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.

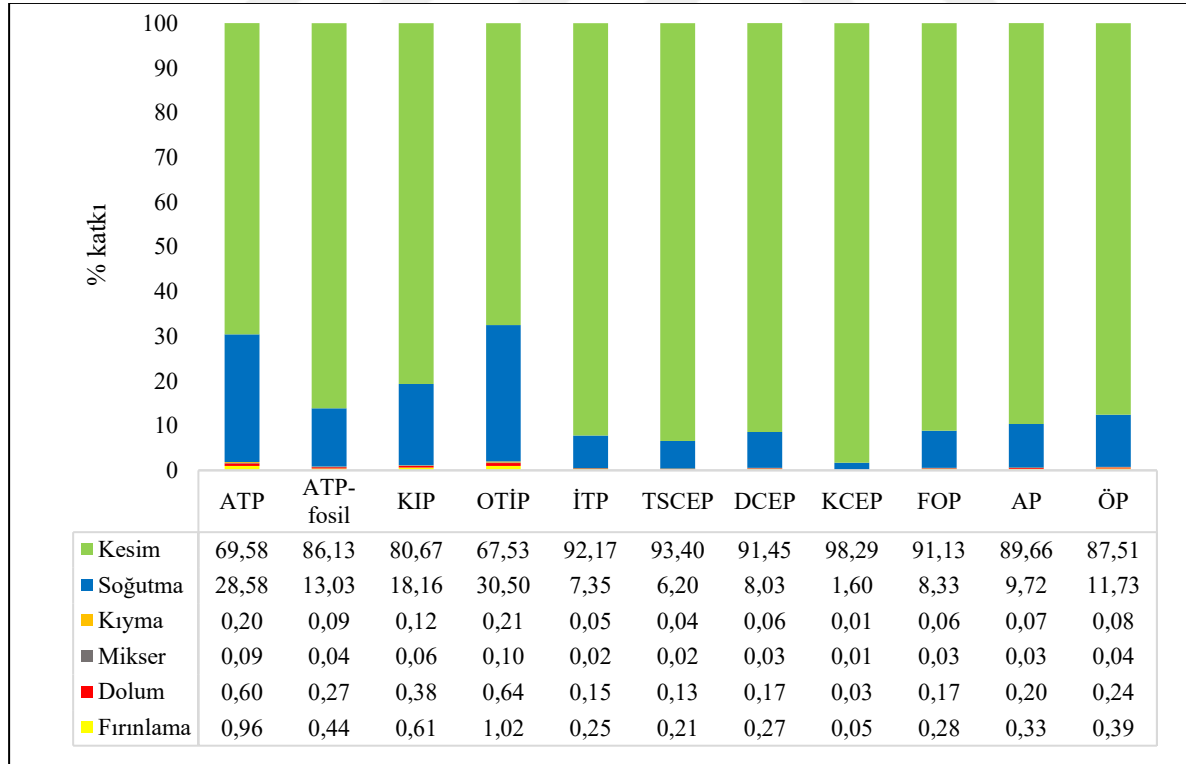
ATP			ATP-fosil			KIP			
<i>Temel akış</i>	<i>Kg Sb eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>MJ</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg eşd.</i>	<i>CO₂</i>	<i>% dağılım</i>
Altın	8,35E-09	98,84	Ham petrol	1,43E-02	65,19	CO ₂ , fosil	2,02E-04		80,73
Kurşun	9,77E-11	1,16	Doğal gaz	4,05E-03	18,47	CH ₄ , fosil	4,82E-05		19,27
			Taş kömürü	3,58E-03	16,34				
OTİP			İTP			TSCEP			
<i>Temel akış</i>	<i>Kg CFC-11 eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i>		<i>% dağılım</i>
Halon 1301	1,33E-11	40,22	C ₆ H ₆	1,17E-02	100	Bakır	5,65E-05		28,55
HCFC-22	1,07E-11	32,19				Nikel	5,15E-05		26,07
Halon 1211	7,65E-12	23,05				Berilyum	4,02E-05		20,34
CFC-114	1,50E-12	4,53				Vanadyum	3,56E-05		17,99
						Kobalt	1,13E-05		5,71
						Baryum	2,65E-06		1,34
DCEP			KCEP			FOP			
<i>Temel akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg eşd.</i>	<i>C₂H₄</i>	<i>% dağılım</i>
Berilyum	2,37E-01	44,98	Cıva, havaya	9,14E-08	67,62	C ₆ H ₆	1,32E-06		94,27
Hidrojen florür	1,73E-01	32,81	Cıva, suya	4,38E-08	32,38	SO ₂	4,9E-08		3,49
Vanadyum	3,40E-02	6,45				CO, fosil	3,16E-08		2,25
Nikel	3,37E-02	6,39							
Kobalt	1,45E-02	2,75							
Selenyum	1,39E-02	2,64							
Bakır	1,13E-02	2,15							
Baryum	9,68E-03	1,83							
AP			ÖP						
<i>Temel akış</i>	<i>Kg SO₂ eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg PO₄ eşd.</i>	<i>% dağılım</i>				
SO ₂	1,22E-06	77,11	PO ₄ , suya	5,36E-07	80,89				
NOx	3,64E-07	22,89	NOx, havaya	9,45E-08	14,27				
			NO ₃ ⁻ , suya	1,63E-08	2,46				
			KOI	1,58E-08	2,39				

4.2.2. ES-2-Rüzgar Enerjisi

Et entegre tesisi sucuk üretim aşamasında kullanılan enerjinin rüzgar enerjisinden sağlandığı senaryoya (ES-2) ait çevresel etkiler Tablo 4.29’da verilmiştir. Sucuk üretim prosesinin ES-2 senaryosuna göre yüzde katkı grafiği Şekil 4.15’te gösterilmiştir.

Tablo 4.29: 1 kangal sucuk üretim aşamasının ES-2 senaryosuna göre çevresel etki sonuçları.

Etki Kategorisi	Birim	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	TOPLAM (ES-2)
ATP	kg Sb eşd.	8,75E-09	3,59E-09	2,47E-11	1,13E-11	7,49E-11	1,21E-10	1,26E-08
ATP-fosil	MJ	2,18E-02	3,30E-03	2,27E-05	1,04E-05	6,89E-05	1,11E-04	2,53E-02
KIP	kg CO ₂ eşd.	6,29E-04	1,42E-04	9,74E-07	4,46E-07	2,95E-06	4,75E-06	7,80E-04
OTİP	kg CFC-11 eşd.	7,40E-11	3,34E-11	2,30E-13	1,05E-13	6,96E-13	1,12E-12	1,10E-10
İTP	kg 1,4-DB eşd.	3,04E-04	2,42E-05	1,67E-07	7,62E-08	5,05E-07	8,13E-07	3,30E-04
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	2,05E-04	1,36E-05	9,35E-08	4,28E-08	2,84E-07	4,56E-07	2,19E-04
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	6,07E-01	5,33E-02	3,67E-04	1,68E-04	1,11E-03	1,79E-03	6,64E-01
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	4,27E-06	6,96E-08	4,79E-10	2,19E-10	1,45E-09	2,34E-09	4,34E-06
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	2,19E-07	2,00E-08	1,38E-10	6,29E-11	4,17E-10	6,71E-10	2,40E-07
AP	kg SO ₂ eşd.	3,90E-06	4,22E-07	2,90E-09	1,33E-09	8,80E-09	1,42E-08	4,35E-06
ÖP	kg PO ₄ eşd.	7,97E-07	1,07E-07	7,34E-10	3,36E-10	2,23E-09	3,58E-09	9,10E-07



Şekil 4.15: Üretim aşamasının ES-2 senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.29 ve Şekil 4.15 birlikte değerlendirildiğinde, MD’de kullanılan şebeke elektriğine alternatif olarak oluşturulan ES-2 senaryosunun bütün etki kategorilerinde toplam etki miktarlarını büyük oranda azalttığı görülmüştür. MD toplam etki sonuçlarına göre ATP 1,37E-06 kg Sb eşd.den 1,26E-08 kg Sb eşd.ne; ATP-fosil 1,24E+01 MJ’den 2,53E-02 MJ’e; KIP 1,15E+00 kg CO₂ eşd.den 7,80E-04 kg CO₂ eşd.ne; OTİP 2,64E-08 kg CFC-11 eşd.den 1,10E-10 kg CFC-11 eşd.ne; İTP 5,02E-01 kg 1,4-DB eşd.den 3,30E-04 kg 1,4-DB eşd.ne; TSCEP 6,90E-01 kg 1,4-DB eşd.den 2,19E-04 kg 1,4-DB eşd.ne; DCEP 2,13E+03 kg 1,4-DB eşd.den 6,64E-01 kg 1,4-DB eşd.ne; KCEP 1,31E-03 kg 1,4-DB eşd.den 4,34E-06 kg 1,4-DB eşd.ne; FOP 2,34E-04 kg C₂H₄ eşd.den 2,40E-07 kg C₂H₄ eşd.ne; AP 6,41E-03 kg SO₂ eşd.den 4,35E-06 kg SO₂ eşd.ne ve ÖP 4,16E-03 kg PO₄ eşd.den 9,10E-07 kg PO₄ eşd.ne azalmaktadır.

MD’de üretim aşamasında tüm basamaklar için elektrik enerjisinin en çok kullanıldığı süreç soğutma aşamasıdır. ES-2 senaryosuna göre ATP, ATP-fosil, KIP, OTİP, TSCEP, DCEP, KCEP, AP ve ÖP etki kategorilerinde soğutma aşamasının katkısı %89,21-%89,76 oranlarında iken ES-2 senaryosu ile bu katkı ATP’de %28,58’e; OTİP’de %30,50’ye, ATP-fosil, KIP ve ÖP’de %11,73-%18,16 oranlarına; İTP, TSCEP, DCEP, KCEP, FOP ve AP’de %9,72-%1,60 oranlarına azaldığı görülmektedir. Fırınlama aşamasında ise bütün etki kategorilerinde %2,99-%3,01 olan katkıyı %0,05-%1,02 oranlarına azaldığı görülmektedir. ES-2 senaryosu ile etki kategorilerinin tümünde önemli oranda azalmalar elde edilirken en fazla katkı veren üretim aşaması da 11 etki kategorisinin tümünde kesim aşaması olarak değişmiştir. ATP ve OTİP etki kategorilerinde soğutma aşaması yine de kayda değer bir katkı vermektedir (%28,58 - %30,50).

Tablo 4.30’da ES-2 senaryosuna göre üretim aşamalarında temel akışların CML-IA hesaplama yönteminde ele alınan ve kesme kriteri %1’in üzerinde olan proses katkısına etki eden envanter sonuçları verilmiştir. ES-2 senaryosuna göre temel akışların gösterildiği Tablo 4.30’daki veriler MD’ye göre değerlendirildiğinde İTP’ye katkı veren selenyum, HF, baryum, nikel, vanadyum, talyum, molibden gibi emisyonların etkisi azalmıştır. ES-2 senaryosuna göre İTP’ye temel akış olarak en yüksek katkıyı (%49,43) C₆H₆ (benzen) bileşiğinin oluşturduğu havaya emisyon bulunmaktadır. KCEP’ye olan temel akışta ES-2 senaryosuna göre havaya ve suya cıva elementinin oluşturduğu emisyon bulunmakta olup MD’de yer alan krom ve nikel elementlerinin emisyonlarını %1’in altına düşürmüş veya ortadan kaldırmıştır. FOP’ye olan temel akışta MD’de SO₂ emisyonlarının katkısı dağılımda %93,2 oranında iken ES-2 senaryosunda etki azalarak katkısı %45,29’a düşmüştür. CO ve CH₄ emisyonları kaynaklı etki azalmasına rağmen katkı yüzdeleri artmıştır. Ayrıca ÖP’ye MD’deki temel akışlara ek olarak az bir oranda (%5,49) KOİ suya emisyonu oluşmuştur.

Küçükkaraca ve Barutçu (2022), çalışmasında alüminyum iletken kablo kullanan rüzgar türbinlerinin KIP, ÖP ve İTP üzerinde büyük etkisi olduğunu; bununla birlikte, Cu (bakır) iletken kablo kullanılan rüzgar türbinlerinin FOP ve TSCEP üzerinde de yüksek bir etkisi olduğunu rapor etmiştir.

Tablo 4.30: CML-IA hesaplama metodu ES-2 üretim aşamalarına göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.

ATP				ATP-fosil			KIP			
Temel	Kg	Sb	%	Temel	MJ	%	Temel	Kg	CO ₂	%
akış	eşd.		dağılım	akış		dağılım	akış	eşd.		dağılım
Altın	1,23E-08		98,85	Ham petrol	1,71E-02	67,94	CO ₂ , fosil	2,51E-04		82,98
Kurşun	1,43E-10		1,15	Doğal gaz	4,36E-03	17,36	CH ₄ , fosil	5,15E-05		17,02
				Taş kömürü	3,70E-03	14,70				
OTİP				İTP			TSCEP			
Temel	Kg	CFC-	%	Temel	Kg	%	Temel	Kg	1,4-DB	%
akış	11 eşd.		dağılım	akış	eşd.	dağılım	akış	eşd.		dağılım
Halon 1301	4,88E-11		70,35	C ₆ H ₆ , havaya	1,26E-04	49,43	Bakır	5,78E-05		27,42
HCFC-22	1,02E-11		14,68	Selenyum,suya	3,29E-05	12,89	Nikel	5,49E-05		26,08
Halon 1211	8,52E-12		12,27	Talyum, suya	2,59E-05	10,12	Berilyum	4,29E-05		20,36
CFC-114	1,87E-12		2,69	Hidrojenflorür	1,37E-05	5,38	Vanadyum	3,79E-05		18,01
				Vanadyum,suya	1,34E-05	5,23	Kobalt	1,21E-05		5,73
				Baryum,suya	1,27E-05	4,98	Baryum	2,84E-06		1,35
				Nikel, havaya	1,01E-05	3,93	Çinko	2,2E-06		1,05
				Berilyum, krom VI, antimon, molibden	2,06E-05	8,04				
DCEP				KCEP			FOP			
Temel	Kg	1,4-DB	%	Temel	Kg	%	Temel	Kg	C ₂ H ₄	%
akış	eşd.		dağılım	akış	eşd.	dağılım	akış	eşd.		dağılım
Berilyum	2,53E-01		44,10	Cıva, havaya	1,21E-07	72,09	SO ₂	6,06E-08		45,29
Hidrojen	1,96E-01		34,18	Cıva, suya	4,68E-08	27,91	CO, fosil	4,06E-08		30,38
florür,hava							C ₆ H ₆	1,45E-08		10,84
Vanadyum	3,63E-02		6,32				CH ₄ fosil	1,1E-08		8,25
Nikel	3,60E-02		6,27				C ₂ H ₆	7,01E-09		5,24
Kobalt	1,55E-02		2,70							
Selenyum	1,49E-02		2,59							
Bakır	1,16E-02		2,02							
Baryum	1,04E-02		1,81							
AP				ÖP						
Temel	Kg	SO ₂	%	Temel	Kg	%				
akış	eşd.		dağılım	akış	eşd.	dağılım				
SO ₂	1,51E-06		77,41	PO ₄ , suya	5,86E-07	77,10				
NOx	4,42E-07		22,59	NOx, havaya	1,15E-07	15,12				
				KO ₂ ,suya	4,17E-08	5,49				
				NO ₃ ,suya	1,74E-08	2,28				

4.2.3. ES-3: Güneş Enerjisi

Et entegre tesisi sucuk üretim aşamasında kullanılan enerjinin güneş enerjisinden sağlandığı senaryoya (ES-3) ait çevresel etkiler Tablo 4.31’de verilmiştir. Sucuk üretim prosesinin ES-3 senaryosuna göre yüzde katkı grafiği Şekil 4.16’da gösterilmiştir.

Tablo 4.31: 1 kangal sucuk üretim aşamasının ES-3 senaryosuna göre çevresel etki sonuçları.

Etki Kategorisi	Birim	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	TOPLAM (ES-3)
ATP	kg Sb eşd.	8,58E-09	1,11E-10	7,63E-13	3,49E-13	2,31E-12	3,72E-12	8,70E-09
ATP-fosil	MJ	2,17E-02	8,25E-05	5,67E-07	2,59E-07	1,72E-06	2,77E-06	2,18E-02
KIP	kg CO ₂ eşd.	6,23E-04	7,78E-06	5,35E-08	2,45E-08	1,62E-07	2,61E-07	6,31E-04
OTİP	kg CFC-11 eşd.	7,23E-11	4,95E-13	3,40E-15	1,56E-15	1,03E-14	1,66E-14	7,29E-11
İTP	kg 1,4-DB eşd.	3,03E-04	3,29E-06	2,26E-08	1,03E-08	6,85E-08	1,10E-07	3,06E-04
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	2,04E-04	3,80E-06	2,61E-08	1,19E-08	7,92E-08	1,27E-07	2,09E-04
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	6,05E-01	1,14E-02	7,86E-05	3,60E-05	2,38E-04	3,84E-04	6,17E-01
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	4,27E-06	4,09E-08	2,82E-10	1,29E-10	8,54E-10	1,37E-09	4,31E-06
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	2,18E-07	1,76E-09	1,21E-11	5,55E-12	3,68E-11	5,92E-11	2,20E-07
AP	kg SO ₂ eşd.	3,88E-06	4,63E-08	3,18E-10	1,46E-10	9,65E-10	1,55E-09	3,93E-06
ÖP	kg PO ₄ eşd.	7,97E-07	1,06E-07	7,26E-10	3,32E-10	2,20E-09	3,54E-09	9,09E-07



Şekil 4.16: Üretim aşamasının ES-3 senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.31 ve Şekil 4.16 birlikte değerlendirildiğinde, MD’de kullanılan şebeke elektriğine alternatif olarak oluşturulan ES-3 senaryosunun bütün etki kategorilerinde toplam etki miktarlarını büyük oranda azalttığı görülmüştür. MD toplam etki sonuçlarına göre ATP 1,37E-06 kg Sb eşd.den 8,70E-09 kg Sb eşd.ne; ATP-fosil 1,24E+01 MJ’dan 2,18E-02 MJ’e; KIP 1,15E+00 kg CO₂ eşd.den 6,31E-04 kg CO₂ eşd.ne; OTİP 2,64E-08 kg CFC-11 eşd.den 7,29E-11 kg CFC-11 eşd.ne; İTP 5,02E-01 kg 1,4-DB eşd.den 3,06E-04 kg 1,4-DB eşd.ne; TSCEP 6,90E-01 kg 1,4-DB eşd.den 2,09E-04 kg 1,4-DB eşd.ne; DCEP 2,13E+03 kg 1,4-DB eşd.den 6,17E-01 kg 1,4-DB eşd.ne; KCEP 1,31E-03 kg 1,4-DB eşd.den 4,31E-06 kg 1,4-DB eşd.ne; FOP 2,34E-04 kg C₂H₄ eşd.den 2,20E-07 kg C₂H₄ eşd.ne; AP 6,41E-03 kg SO₂ eşd.den 3,93E-06 kg SO₂ eşd.ne ve ÖP 4,16E-03 kg PO₄ eşd.den 9,09E-07 kg PO₄ eşd.ne azalmaktadır.

MD’de üretim aşamasında elektrik enerjisinin en çok kullanıldığı süreç soğutma aşamasıdır. ES-3 senaryosuna göre ATP, ATP-fosil, KIP, OTİP, İTP, TSCEP, DCEP, KCEP, FOP ve AP ve etki kategorilerinde soğutma aşamasının katkısı %89,21-%89,76 oranlarında iken ES-3 senaryosu ile bu katkı %0,38-%1,85 oranlarına ve ÖP’de %89,76’dan %11,61 oranına azaldığı görülmektedir. ES-3 senaryosu ile etki kategorilerinin tümünde önemli oranda azalmalar elde edilirken en fazla katkı veren üretim aşaması da 11 etki kategorisinin tümünde kesim aşaması olarak değişmiştir. Sadece ÖP etki kategorisinde soğutma aşaması %11,61 ile kayda değer bir katkı vermektedir.

Tablo 4.32’de ES-3 senaryosuna göre üretim aşamalarında temel akışların CML-IA hesaplama yönteminde ele alınan ve kesme kriteri %1’in üzerinde olan proses katkısına etki eden envanter sonuçları yer almaktadır. ES-3 senaryosuna göre temel akışların gösterildiği Tablo 4.32’deki veriler MD’ye göre değerlendirildiğinde İTP’ye olan selenyum, hidrojenflorür, baryum, nikel, vanadyum, talyum, molibden gibi emisyonların katkısının önemli oranda azaldığı görülmektedir. ES-3 senaryosuna göre İTP’ye temel akış olarak en yüksek katkıyı (%52,34) C₆H₆ (benzen) bileşiğinin oluşturduğu havaya emisyon oluşturmaktadır. KCEP’ye olan temel akışta ES-3 senaryosuna göre havaya ve suya cıva elementinin oluşturduğu emisyon bulunmakta olup MD’de yer alan krom ve nikel elementlerinin emisyonlarını %1’in altına düşürmüş veya ortadan kaldırmıştır. FOP’ye olan temel akışta MD’de SO₂ emisyonlarının katkısı dağılımda %93,2 oranında iken ES-3 senaryosunda etki azalarak katkısı %42,33’e düşmüştür. CO ve CH₄ emisyonları kaynaklı etki azalmasına rağmen katkı yüzdeleri artmıştır. Ayrıca ÖP’ye MD’deki temel akışlara ek olarak %4,19 oranında NH₄⁺, ve %3,63 oranında KOİ ile suya emisyonlar oluşmaktadır.

Tablo 4.32: CML-IA hesaplama metodu ES-3 üretim aşamalarına göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.

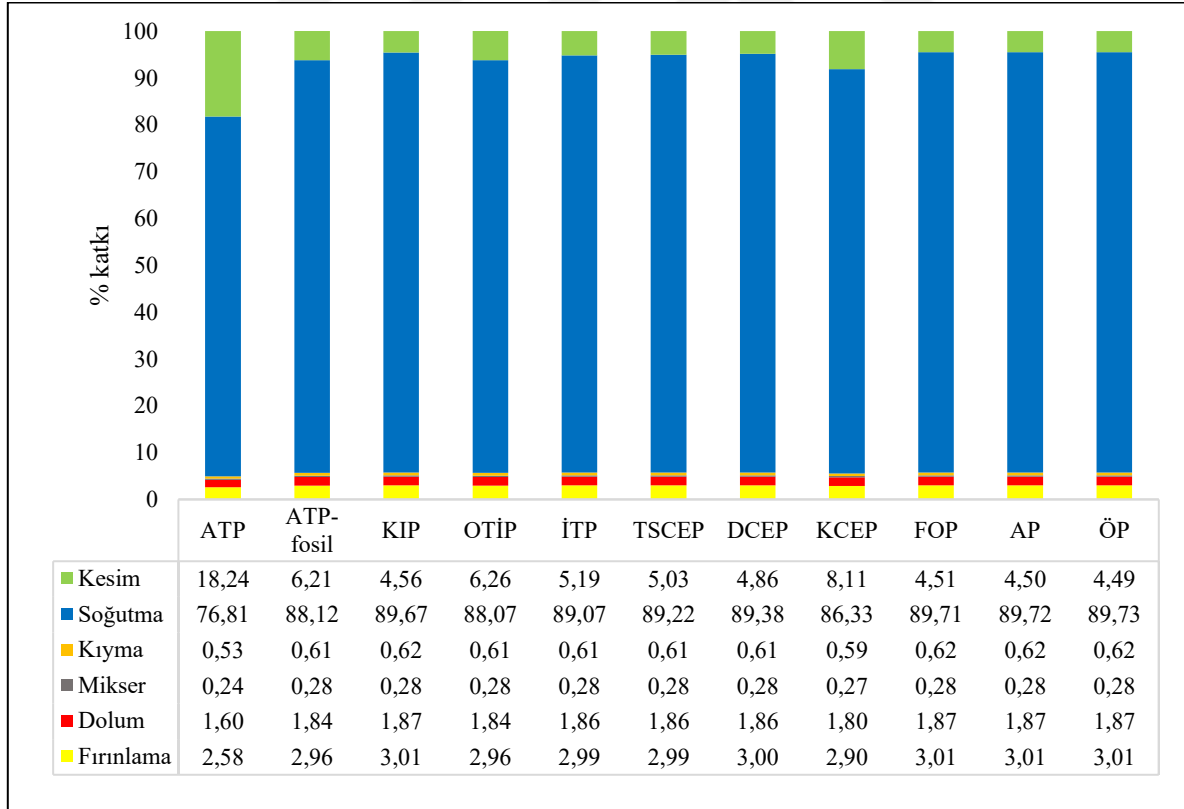
ATP			ATP-fosil			KIP		
<i>Temel</i> <i>akış</i>	<i>Kg Sb eşd.</i> <i>%</i> <i>dağılım</i>		<i>Temel</i> <i>akış</i>	<i>MJ</i> <i>%</i> <i>dağılım</i>		<i>Temel</i> <i>akış</i>	<i>Kg CO₂ eşd.</i> <i>%</i> <i>dağılım</i>	
Altın	8,47E-09	98,84	Ham petrol	1,41E-02	65,36	CO ₂ , fosil	2,08E-04	81,46
Kurşun	9,91E-11	1,16	Doğal gaz	3,97E-03	18,41	CH ₄ , fosil	4,73E-05	18,54
			Taş kömürü	3,50E-03	16,23			
OTİP			İTP			TSCEP		
<i>Temel</i> <i>akış</i>	<i>Kg CFC-11 eşd.</i> <i>%</i> <i>dağılım</i>		<i>Temel</i> <i>akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i> <i>%</i> <i>dağılım</i>		<i>Temel</i> <i>akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i> <i>%</i> <i>dağılım</i>	
Halon 1301	1,35E-11	40,95	C ₆ H ₆ , havaya	1,25E-04	52,34	Bakır	5,67E-05	28,49
HCFC-22	1,01E-11	30,66	Selenyum,suya	3,09E-05	12,88	Nikel	5,17E-05	26,00
Halon 1211	7,72E-12	23,40	Talyum, suya	2,23E-05	9,32	Berilyum	4,02E-05	20,22
CFC-114	1,65E-12	4,99	Hidrojenflorür	1,25E-05	5,20	Vanadyum	3,63E-05	18,25
			Vanadyum,suya	1,28E-05	5,34	Kobalt	1,13E-05	5,70
			Baryum,suya	1,19E-05	4,96	Baryum	2,67E-06	1,34
			Berilyum,suya	6,17E-06	2,57			
			Nikel, molibden, antimon, kromVI	1,77E-05	7,39			
DCEP			KCEP			FOP		
<i>Temel</i> <i>akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i> <i>%</i> <i>dağılım</i>		<i>Temel</i> <i>akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i> <i>%</i> <i>dağılım</i>		<i>Temel</i> <i>akış</i>	<i>Kg C₂H₄ eşd.</i> <i>%</i> <i>dağılım</i>	
Berilyum	2,37E-01	44,51	Cıva, havaya	9,62E-08	68,68	SO ₂	4,93E-08	42,33
Hidrojen	1,78E-01	33,35	Cıva, suya	4,38E-08	31,32	CO, fosil	3,95E-08	33,90
florür,hava						C ₆ H ₆	1,44E-08	12,35
Vanadyum	3,47E-02	6,51				CH ₄ , fosil	1,01E-08	8,69
Nikel	3,38E-02	6,33				C ₂ H ₆	3,18E-09	2,73
Kobalt	1,46E-02	2,73						
Selenyum	1,40E-02	2,62						
Bakır	1,14E-02	2,13						
Baryum	9,77E-03	1,83						
AP			ÖP					
<i>Temel</i> <i>akış</i>	<i>Kg eşd.</i>	<i>SO₂ %</i> <i>dağılım</i>	<i>Temel</i> <i>akış</i>	<i>Kg eşd.</i>	<i>PO₄ %</i> <i>dağılım</i>			
SO ₂	1,23E-06	77,10	PO ₄ , suya	5,60E-07	72,60			
NOx	3,66E-07	22,90	NOx, havaya	9,53E-08	12,35			
			NO ₃ ⁻ ,suya	5,58E-08	7,23			
			NH ₄ ⁺ ,suya	3,23E-08	4,19			
			KOİ, suya	2,80E-08	3,63			

4.2.4. ES-4: Biyogaz Enerjisi

Et entegre tesisi sucuk üretim aşamasında kullanılan enerjinin biyogaz enerjisinden sağlandığı senaryoya (ES-4) ait çevresel etkiler Tablo 4.33'te verilmiştir. Sucuk üretim prosesinin ES-4 senaryosuna göre yüzde katkı grafiği Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

Tablo 4.33: 1 kangal sucuk üretim aşamasının ES-4 senaryosuna göre çevresel etki sonuçları.

Etki Kategorisi	Birim	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	TOPLAM (ES-4)
ATP	kg Sb eşd.	1,08E-08	4,56E-08	3,14E-10	1,43E-10	9,51E-10	1,53E-09	5,94E-08
ATP-fosil	MJ	7,27E-02	1,03E+00	7,10E-03	3,25E-03	2,15E-02	3,46E-02	1,17E+00
KIP	kg CO ₂ eşd.	2,33E-02	4,58E-01	3,15E-03	1,44E-03	9,56E-03	1,54E-02	5,11E-01
OTİP	kg CFC-11 eşd.	2,38E-10	3,35E-09	2,30E-11	1,05E-11	6,98E-11	1,12E-10	3,80E-09
İTP	kg 1,4-DB eşd.	1,99E-03	3,42E-02	2,35E-04	1,08E-04	7,13E-04	1,15E-03	3,84E-02
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	1,67E-03	2,96E-02	2,04E-04	9,32E-05	6,18E-04	9,95E-04	3,32E-02
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	6,63E+00	1,22E+02	8,38E-01	3,83E-01	2,54E+00	4,09E+00	1,36E+02
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	9,01E-06	9,59E-05	6,59E-07	3,02E-07	2,00E-06	3,22E-06	1,11E-04
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	1,43E-05	2,85E-04	1,96E-06	8,97E-07	5,94E-06	9,56E-06	3,18E-04
AP	kg SO ₂ eşd.	2,90E-04	5,78E-03	3,97E-05	1,82E-05	1,21E-04	1,94E-04	6,44E-03
ÖP	kg PO ₄ eşd.	6,65E-05	1,33E-03	9,13E-06	4,18E-06	2,77E-05	4,46E-05	1,48E-03



Şekil 4.17: Üretim aşamasının ES-4 senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.33 ve Şekil 4.17 birlikte değerlendirildiğinde, MD’de kullanılan şebeke elektriğine alternatif olarak oluşturulan ES-4 senaryosunun bütün etki kategorilerinde toplam etki miktarlarını azalttığı görülmüştür. MD toplam etki sonuçlarına göre ATP 1,37E-06 kg Sb eşd.den 5,94E-08 kg Sb eşd.ne; ATP-fosil 1,24E+01 MJ’dan 1,17E+00 MJ’e; KIP 1,15E+00 kg CO₂ eşd.den 5,11E-01 kg CO₂ eşd.ne; OTİP 2,64E-08 kg CFC-11 eşd.den 3,80E-09 kg CFC-11 eşd.ne; İTP 5,02E-01 kg 1,4-DB eşd.den 3,84E-02 kg 1,4-DB eşd.ne; TSCEP 6,90E-01 kg 1,4-DB eşd.den 3,32E-02 kg 1,4-DB eşd.ne; DCEP 2,13E+03 kg 1,4-DB eşd.den 1,36E+02 kg 1,4-DB eşd.ne; KCEP 1,31E-03 kg 1,4-DB eşd.den 1,11E-04 kg 1,4-DB eşd.ne; ve ÖP 4,16E-03 kg PO₄ eşd.den 1,48E-03 kg PO₄ eşd.ne azalmaktadır. Ancak 2 etki kategorisinde çevresel etkide artış söz konusudur. Çevresel etki FOP etki kategorisinde 2,34E-04 kg C₂H₄ eşd.den 3,18E-04 kg C₂H₄ eşd.ne ve AP etki kategorisinde 6,41E-03 kg SO₂ eşd.den 6,44E-03 kg SO₂ eşd.ne artmıştır.

MD’de üretim aşamasında elektrik enerjisinin en çok kullanıldığı süreç soğutma aşamasıdır. ES-4 senaryosu ile en fazla katkı veren üretim aşaması 11 etki kategorisinin tümünde yine soğutma aşamasıdır. Ancak ES-4 senaryosunun bütün etki kategorilerinde etki miktarlarını azalttığı görülmüştür.

Tablo 4.34’te ES-4 senaryosuna göre üretim aşamalarında temel akışların CML-IA hesaplama yönteminde ele alınan ve kesme kriteri %1’in üzerinde olan proses katkısına etki eden envanter sonuçları verilmiştir. ES-4 senaryosuna göre temel akışlar MD temel akışlarına göre değerlendirildiğinde ATP-fosil temel akışında tüm emisyonlardaki azalmanın yanı sıra %1’in üzerine çıkan maden gazı (%1,10) dikkati çekmektedir. KIP’de MD’de fosil kaynaklı CH₄ ve CO₂ temel akış emisyonları yer alırken ES-4 senaryosunda CH₄-biyojenik (%61,92) ve N₂O (%29,86) oluşmaktadır. OTİP’de MD’deki temel akışlara ek olarak havaya HCFC-22 bileşeni oluşmaktadır. KCEP’ye olan temel akışta ES-4 senaryosuna göre havaya ve suya cıva elementinin oluşturduğu emisyon bulunmakta olup MD’de yer alan krom ve nikel elementlerinin emisyonlarını %1’in altına düşürmüş veya ortadan kaldırmıştır. FOP’ye temel akış olarak MD’de CO-fosil ve C₅H₁₂ (pentan) bileşiğinin emisyonunu %1’in altına düşürmüş ve onun yerine %56,44 oranında CH₄-biyojenik ve %20,63 oranına CO-biyojenik bileşiklerinin oluşturduğu emisyonlar bulunmaktadır. FOP’de SO₂ emisyonundaki azalma da dikkat çekicidir. Ayrıca AP ve ÖP’de %78,95 oranında NH₃ ve %8,71 oranında N₂O havaya emisyonlar oluşmaktadır. Bu etki değerlerinde ortaya çıkan temel akışların sebebinin biyogaz enerjisi üretim aşamalarından kaynaklandığı öngörülmektedir.

Tablo 4.34: CML-IA hesaplama metodu ES-4 üretim aşamalarına göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.

ATP			ATP-fosil			KIP		
Temel akış	Kg Sb eşd.	% dağılım	Temel akış	MJ	% dağılım	Temel akış	Kg CO ₂ eşd.	% dağılım
Altın	5,74E-08	98,87	Taş kömürü	7,82E-01	66,75	CH ₄ , biyojenik	2,58E-01	61,92
Kurşun	6,58E-10	1,13	Ham petrol	2,20E-01	18,74	N ₂ O	1,24E-01	29,86
			Doğal gaz	1,01E-01	8,59	CO ₂ , fosil	2,59E-02	6,21
			Linyit	5,65E-02	4,82	CH ₄ , fosil	8,43E-03	2,02
			Maden gazı	1,29E-02	1,10			
OTİP			İTP			TSCEP		
Temel akış	Kg CFC-11 eşd.	% dağılım	Temel akış	Kg 1,4-DB eşd.	% dağılım	Temel akış	Kg 1,4-DB eşd.	% dağılım
Halon 1301	2,93E-09	78,50	Selenyum, suya	8,16E-03	32,06	Nikel	1,33E-02	40,95
CFC-114	4,60E-10	12,32	Talyum,suya	4,98E-03	19,56	Berilyum	9,08E-03	28,06
Halon 1211	2,66E-10	7,13	Baryum,suya	2,92E-03	11,48	Vanadyum	3,95E-03	12,21
HCFC-22	7,68E-11	2,05	Hidrojenflorür	1,54E-03	6,04	Kobalt	3,12E-03	9,64
			Berilyum	1,39E-03	5,47	Baryum	1,06E-03	3,27
			Vanadyum	1,39E-03	5,47	Bakır	9,97E-04	3,08
			Nikel	1,35E-03	5,32	Çinko	4,82E-04	1,49
			Molibden	1,30E-03	5,12	Selenyum	4,25E-04	1,31
			C ₆ H ₆ , havaya	1,14E-03	4,48			
			Krom VI	8,78E-04	3,45			
			Antimon	3,97E-04	1,56			
DCEP			KCEP			FOP		
Temel akış	Kg 1,4-DB eşd.	% dağılım	Temel akış	Kg 1,4-DB eşd.	% dağılım	Temel akış	Kg C ₂ H ₄ eşd.	% dağılım
Berilyum	5,36E+01	53,56	Cıva, havaya	2,05E-05	65,90	CH ₄ , biyojenik	5,53E-05	56,44
Hidrojen florür	2,19E+01	21,92	Cıva, suya	1,06E-05	34,10	SO ₂	2,25E-05	22,93
Nikel	9,20E+00	9,20				CO,biyojenik	2,02E-05	20,63
Kobalt	4,01E+00	4,00						
Baryum	3,86E+00	3,86						
Vanadyum	3,78E+00	3,78						
Selenyum	3,69E+00	3,68						
	AP			ÖP				
	Temel akış	Kg SO ₂ eşd.	% dağılım	Temel akış	Kg PO ₄ eşd.	% dağılım		
	NH ₃	5,25E-03	88,10	NH ₃ , havaya	1,15E-03	78,95		
	SO ₂	5,62E-04	9,42	PO ₄ , suuya	1,41E-04	9,70		
	NOx	1,48E-04	2,48	N ₂ O,havaya	1,27E-04	8,71		
			NOx, havaya	3,84E-05	2,64			

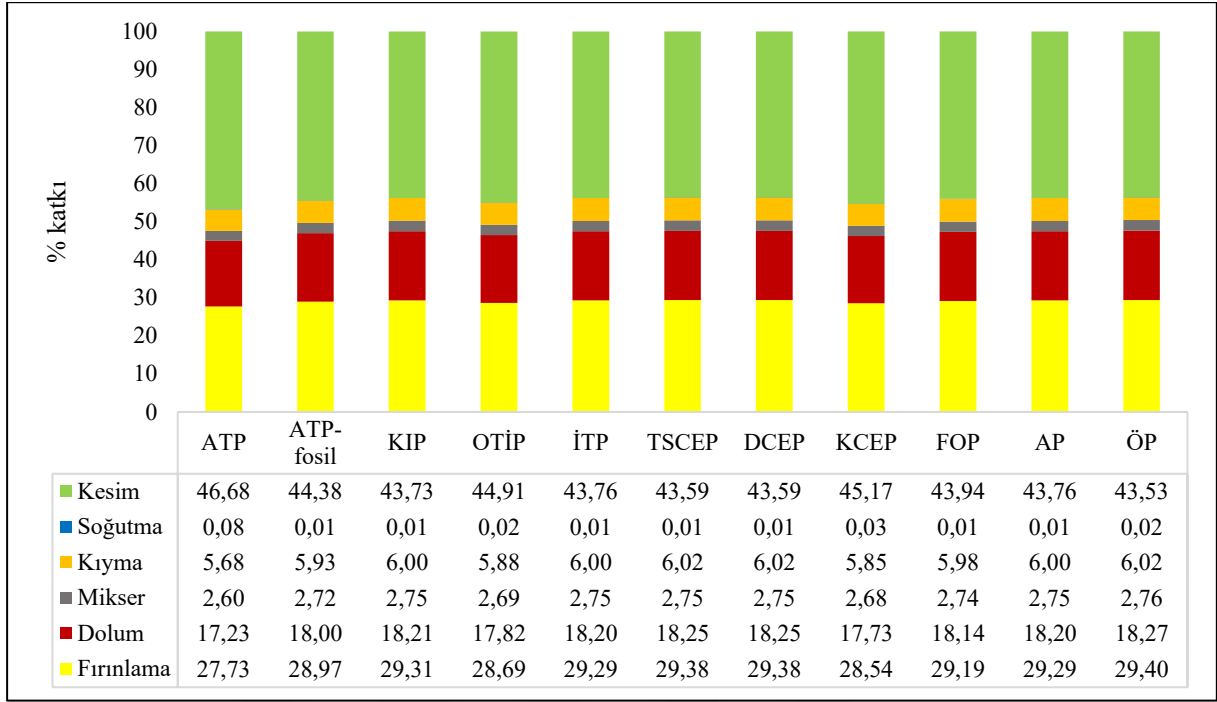
4.2.5. ES-5: Soğutucularda Güneş Enerjisi

Et entegre tesisi sucuk üretim aşamasında soğutucularda kullanılan enerjinin güneş enerjisi panelleri kurularak sağlandığı senaryoya (ES-5) ait toplam çevresel etkileri yüzde katkı grafiği Tablo 4.35'te verilmiştir.

Tablo 4.35: 1 kangal sucuk üretim aşamasının ES-5 senaryosuna göre çevresel etki sonuçları.

Etki kategorisi	Birim	Soğutma (MD)	Soğutma (ES-5)	Azalma %
ATP	kg Sb eşd.	1,22E-06	1,11E-10	89,20
ATP-fosil	MJ	1,11E+01	8,25E-05	89,63
KIP	kg CO ₂ eşd.	1,03E+00	7,78E-06	89,76
OTİP	kg CFC-11 eşd.	2,36E-08	4,95E-13	89,54
İTP	kg 1,4-DB eşd.	4,50E-01	3,29E-06	89,71
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	6,19E-01	3,80E-06	89,75
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	1,91E+03	1,14E-02	89,75
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	1,17E-03	4,09E-08	89,52
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	2,10E-04	1,76E-09	89,69
AP	kg SO ₂ eşd.	5,75E-03	4,63E-08	89,72
ÖP	kg PO ₄ eşd.	3,74E-03	1,06E-07	89,75

Et entegre tesisinde üretim aşamalarında MD'de soğutucular için şebeke elektriğine alternatif olarak oluşturulan ES-5 senaryosunun bütün etki kategorilerinde etki miktarlarını azalttığı görülmektedir. Sucuk üretim prosesinin ES-5 senaryosuna göre etki değerlerinin karşılaştırılması grafiği Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18: Üretim aşamasının ES-5 senaryosuna ait çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.

Üretimde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı soğutuculara ve kesim aşamasına harcanmaktadır.

Tablo 4.35 ve Şekil 4.18 birlikte değerlendirildiğinde MD’de soğutma aşamasında kullanılan şebeke elektriğine alternatif olarak oluşturulan ES-5 senaryosunun soğutuculardaki etki sonuçlarına göre ATP 1,22E-06 kg Sb eşd.den 1,11E-10 kg Sb eşd.ne; ATP-fosil 1,11E+01 MJ’den 8,25E-05 MJ’e; KIP 1,03E+00 kg CO₂ eşd.den 7,78E-06 kg CO₂ eşd.ne; OTİP 2,36E-08 kg CFC-11 eşd.den 4,95E-13 kg CFC-11 eşd.ne; İTP 4,50E-01 kg 1,4-DB eşd.den 3,29E-06 kg 1,4-DB eşd.ne; TSCEP 6,19E-01 kg 1,4-DB eşd.den 3,80E-06 kg 1,4-DB eşd.ne; DCEP 1,91E+03 kg 1,4-DB eşd.den 1,14E-02 kg 1,4-DB eşd.ne; KCEP 1,17E-03 kg 1,4-DB eşd.den 4,09E-08 kg 1,4-DB eşd.ne; FOP 2,10E-04 kg C₂H₄ eşd.den 1,76E-09 kg C₂H₄ eşd.ne; AP 5,75E-03 kg SO₂ eşd.den 4,63E-08 kg SO₂ eşd.ne ve ÖP 3,74E-03 kg PO₄ eşd.den 1,06E-07 kg PO₄ eşd.ne azalmaktadır. Alternatif enerji olarak güneş enerjisinin sadece soğutucularda uygulanması durumunda dahi çevresel etkinin önemli oranda azaltıldığı görülmüştür.

MD’de soğutma prosesinde bütün etki kategorilerinde %89,21-%89,76 oranlarında olan katkı, ES-5 senaryosu uygulandığı takdirde bütün etki kategorilerinde soğutuculardan kaynaklı katkıyı %0,1’in altına düşürdüğü görülmektedir. Bu durumda kesim aşamasının katkı oranı %4,46-%5,04 oranlarından %43,53-%46,68 oranlarına yükselmiştir.

Dolum aşamasında MD’de %1,87 olan katkıyı bütün etki kategorilerinde %17,23-%18,27’ye yükseltmiştir. Fırınlama aşamasında ise MD’de bütün etki kategorilerinde %2,99-%3,01 oranlarındaki katkıyı %27,73-%29,40 oranlarına yükseltmiştir.

Tablo 4.36’da ES-5 senaryosuna göre üretim aşamalarında temel akışların CML-IA hesaplama yönteminde ele alınan ve kesme kriteri %1’in üzerinde olan proses katkısına etki eden envanter sonuçları verilmiştir.

ES-5 senaryosuna göre temel akışların gösterildiği Tablo 4.36’deki veriler MD’ye göre değerlendirildiğinde, ATP element tüketiminde altın ve kurşun miktarlarında, ATP-fosil kaynaklı yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketiminde, KIP’ye neden olan havaya salınımlara neden olan emisyon bileşiklerinde, OTİP’ye neden olan havaya salınımlara neden olan etan ve metan formlarında azalma meydana gelmiştir. İTP, TSCEP ve KCEP’de zirai kaynaklı toprağa emisyonlara neden olan elementlerin; DCEP’de havaya, suya ve toprağa emisyonların neden olduğu element ve bileşiklerin; FOP ve AP’de havaya salınımına neden olan bileşiklerin; ÖP’de suya ve havaya salınım yapan element ve bileşiklerin emisyon miktarlarında azalma görülmüştür.

Tablo 4.36: CML-IA hesaplama metodu ES-5 soğutuculara göre kesme kriteri %1'in üzerinde etki eden envanter sonuçları.

ATP			ATP-fosil			KIP		
<i>Temel akış</i>	<i>Kg Sb eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>MJ</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg CO₂ eşd.</i>	<i>% dağılım</i>
Altın	1,08E-10	98,82	Taş kömürü	3,37E-05	41,12	CO ₂ , fosil	6,02E-06	99,06
Kurşun	1,29E-12	1,18	Doğal gaz	2,93E-05	35,74	N ₂ O	3,23E-08	0,53
			Linyit	1,05E-05	12,78	CH ₄ , fosil	2,49E-08	0,41
			Ham petrol	8,50E-06	10,36			
OTİP			İTP			TSCEP		
<i>Temel akış</i>	<i>Kg CFC-11 eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i>	<i>% dağılım</i>
Halon 1301	1,89E-13	49,09	Kurşun	6,96E-08	59,53	Bakır	4,55E-08	67,32
CFC-114	1,30E-13	33,88	Nikel	1,92E-08	16,45	Nikel	1,21E-08	17,94
Halon 1211	6,55E-14	17,04	Çinko	1,33E-08	11,39	Çinko	9,97E-09	14,74
			Kadmiyum	7,59E-09	6,49			
			Bakır	7,18E-09	6,14			
DCEP			KCEP			FOP		
<i>Temel akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg 1,4-DB eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg C₂H₄ eşd.</i>	<i>% dağılım</i>
Hidrojen	4,52E-03	99,58	Çinko	5,14E-09	58,51	SO ₂	6,55E-10	97,52
florür, _{havaya}			Nikel	1,71E-09	19,52	C ₂ H ₄	1,13E-11	1,69
Bakır, nikel	1,91E-05	0,42	Bakır	1,10E-09	12,54	CH ₄ , biyogenik	5,34E-12	0,80
ve çinko,			Kurşun	6,89E-10	7,85			
toprağa			Süpermetrin	7,49E-11	0,85			
			Kadmiyum	6,47E-11	0,74			
AP			ÖP					
<i>Temel akış</i>	<i>Kg SO₂ eşd.</i>	<i>% dağılım</i>	<i>Temel akış</i>	<i>Kg PO₄ eşd.</i>	<i>% dağılım</i>			
SO ₂	1,64E-08	72,30	NO _x , _{havaya}	1,30E-09	93,63			
NO _x	6,14E-09	27,14	N ₂ O, _{havaya}	3,29E-11	2,37			
NH ₃	1,27E-10	0,56	NH ₃ , _{havaya}	2,77E-11	2,00			
			NO ₃ ⁻ , _{suya}	2,35E-11	1,69			
			P, _{suya}	4,38E-12	0,32			

4.2.6. Alternatif enerji senaryolarının toplu değerlendirilmesi

Sucuk üretimi aşamasında enerji kullanım süreçleri (kesim, soğutma, kıyma, mikser, dolum, fırınlama) MD şebeke enerjisi kullanımı ile alternatif enerji senaryoları (ES-1 jeotermal enerji, ES-2 rüzgar enerjisi, ES-3 güneş enerjisi, ES-4 biyogaz enerjisi ve ES-5 fotovoltaik güneş panelleri) toplu halde Tablo 4.17’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.37: Enerji senaryoları ile MD’ye göre 1 kangal sucuk üretim aşamasının etki kategorilerinde görülen azalma (%).

Etki Kategorisi	Birim	ES-1  Jeotermal Enerji	ES-2  Rüzgar enerjisi	ES-3  Güneş enerjisi	ES-4  Biyogaz Enerjisi	ES-5  Soğutucularda Fotovoltaik Güneş Panelleri
ATP	kg Sb eşd.	99,37	99,08	99,37	95,66	89,20
ATP-fosil	MJ	99,82	99,80	99,82	90,59	89,63
KIP	kg CO ₂ eşd.	99,94	99,93	99,95	55,66	89,76
OTİP	kg CFC-11 eşd.	99,72	99,58	99,72	85,60	89,54
İTP	kg 1,4-DB eşd.	97,63	99,93	99,94	92,34	89,71
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	99,97	99,97	99,97	95,19	89,75
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	99,97	99,97	99,97	93,61	89,75
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	99,67	99,67	99,67	91,51	89,52
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	99,34	99,90	99,91	-36,01	89,69
AP	kg SO ₂ eşd.	99,94	99,93	99,94	-0,41	89,72
ÖP	kg PO ₄ eşd.	99,98	99,98	99,98	64,46	89,75

Tablo 4.37’de verilen senaryolara göre % azalma oranları değerlendirildiğinde, ES-1, ES-2 ve ES-3 senaryolarının üçünde de etki değerlerinde oldukça yüksek oranda azalma olduğu görülmektedir. Toplam azalmaya bakıldığında ES-3 senaryosu çok az bir farkla öne çıkmaktadır. ES-5 senaryosu, güneş enerjisinin sadece soğutucularda kullanıldığı senaryo olup etkiyi oldukça azaltmaktadır; fakat ES-3 senaryosunda yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi tüm proseslerde kullanıldığında toplam çevresel etkideki azalma daha fazladır. Jeotermal, rüzgar ve güneş enerji kaynakları üretim prosesinde iyi bir alternatif olarak görülmüştür. ES-4 senaryosunun ise FOP’ye olan etkiyi %36,01 oranında ve AP’ye olan etkiyi ise %0,41 oranında artırmakta olduğu belirlenmiştir. KIP’ye olan etkiyi, diğer senaryolar %89,76-%99,95 oranlarında azaltırken; ES-4 senaryosu KIP’ye olan etkiyi %55,66 ve ÖP’ye olan etkiyi ise %64,46 oranlarında azaltmıştır.

4.3. ALTERNATİF TRANSFER SENARYOLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Sucuk üretimi için gerekli hammaddelerin transferi ve pazara dağıtım aşamalarında kullanılan araçların ve taşıma sistemlerinin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik alternatif transfer senaryoları oluşturulmuştur. Transfer senaryosu-1 olarak isimlendirilen TS-1 senaryosu, hammaddelerin transferi ve pazara dağıtım aşamalarında MD’de kullanılan Euro 4 tipi araç yerine Euro 6 tipi araç kullanımındır. Transfer Senaryosu-2 olarak isimlendirilen TS-2 senaryosu ise, hammaddelerin transferi aşamasında MD’de kullanılan karayolu yerine raylı taşıma (tren yolu) tercih edilmesi yani hammaddelerin yük treni ile taşınmasıdır.

4.3.1. TS-1: Euro-6 araç tipi

TS-1’e ait hammadde transferi ve pazara dağıtım aşamalarını kapsayan çevresel etki kategorilerine ait etki değerleri ve hesaplanan değişim oranları sırasıyla Tablo 4.38 ve Tablo 4.39’da verilmiştir. Negatif değerler etki değerlerinde artış olduğunu vurgulamaktadır.

Tablo 4.38: Et entegre tesisi hammadde transferi ve tüketiciye transfer aşamalarına ait TS-1 senaryosuna ve MD’ye ait çevresel etki değerleri.

Etki Kategorisi	Birim	MD			TS-1		
							
		Hammadde Transferi	Pazara Dağıtım	TOPLAM (MD)	Hammadde Transferi	Pazara Dağıtım	TOPLAM (TS-1)
ATP	kg Sb eşd.	2,87E-08	5,17E-08	8,04E-08	2,88E-08	5,01E-08	7,88E-08
ATP-fosil	MJ	1,33E+00	1,74E+00	3,07E+00	1,33E+00	1,74E+00	3,07E+00
KIP	kg CO ₂ eşd.	9,41E-02	1,23E-01	2,17E-01	9,48E-02	1,19E-01	2,14E-01
OTİP	kg CFC-11 eşd.	1,69E-08	2,43E-08	4,12E-08	1,69E-08	2,14E-08	3,82E-08
İTP	kg 1,4-DB eşd.	1,94E-02	2,18E-02	4,12E-02	1,90E-02	2,14E-02	4,04E-02
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	2,70E-03	5,36E-03	8,06E-03	2,70E-03	5,35E-03	8,05E-03
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	8,35E+00	1,79E+01	2,62E+01	8,35E+00	1,78E+01	2,62E+01
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	5,46E-05	7,52E-05	1,30E-04	5,44E-05	7,49E-05	1,29E-04
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	8,89E-06	1,48E-05	2,37E-05	7,51E-06	1,33E-05	2,08E-05
AP	kg SO ₂ eşd.	3,10E-04	3,85E-04	6,95E-04	1,61E-04	2,18E-04	3,79E-04
ÖP	kg PO ₄ eşd.	6,19E-05	8,44E-05	1,46E-04	2,38E-05	4,17E-05	6,55E-05

Tablo 4.39: TS-1 senaryosuna göre hammadde transferi ve pazara dağıtım aşamalarında etki kategorilerinde elde edilen değişimler.

Etki Kategorisi	Birim	Hammadde Transferi			Pazara Dağıtım			TOPLAM
		MD	TS-1	%	MD	TS-1	%	%
ATP	kg Sb eşd.	2,87E-08	2,88E-08	0,0	5,17E-08	5,01E-08	3,2	2,0
ATP-fosil	MJ	1,33E+00	1,33E+00	0,0	1,74E+00	1,74E+00	0,0	0,0
KIP	kg CO ₂ eşd.	9,41E-02	9,48E-02	-0,7	1,23E-01	1,19E-01	2,6	1,4
OTİP	kg CFC-11 eşd.	1,69E-08	1,69E-08	0,0	2,43E-08	2,14E-08	12,0	7,3
İTP	kg 1,4-DB eşd.	1,94E-02	1,90E-02	1,8	2,18E-02	2,14E-02	1,9	1,9
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	2,70E-03	2,70E-03	0,1	5,36E-03	5,35E-03	0,2	0,1
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	8,35E+00	8,35E+00	0,0	1,79E+01	1,78E+01	0,1	0,0
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	5,46E-05	5,44E-05	0,5	7,52E-05	7,49E-05	0,3	0,8
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	8,89E-06	7,51E-06	15,5	1,48E-05	1,33E-05	10,5	12,2
AP	kg SO ₂ eşd.	3,10E-04	1,61E-04	48,1	3,85E-04	2,18E-04	43,3	45,5
ÖP	kg PO ₄ eşd.	6,19E-05	2,38E-05	61,6	8,44E-05	4,17E-05	50,5	55,1

Tablo 4.38 incelendiğinde MD'ye göre TS-1 ile ATP 8,04E-08 kg Sb eşd.den 7,88E-08 kg Sb eşd.ne; KIP 2,17E-01 kg CO₂ eşd.den 2,14E-01 kg CO₂ eşd.ne; OTİP 4,12E-08 kg CFC-11 eşd.den 3,82E-08 kg CFC-11 eşd.ne; İTP 4,12E-02 kg 1,4-DB eşd.den 4,04E-02 kg 1,4-DB eşd.ne; TSCEP 8,06E-03 kg 1,4-DB eşd.den 8,05E-03 kg 1,4-DB eşd.ne; KCEP 1,30E-04 kg 1,4-DB eşd.den 1,29E-04 kg 1,4-DB eşd.ne; FOP 2,37E-05 kg C₂H₄ eşd.den 2,08E-05 kg C₂H₄ eşd.ne; AP 6,95E-04 kg SO₂ eşd.den 3,79E-04 kg SO₂ eşd.ne ve ÖP 1,46E-04 kg PO₄ eşd.den 6,55E-05 kg PO₄ eşd.ne azalmıştır. ATP-fosil 3,07E+00 MJ ve DCEP 2,62E+01 kg 1,4-DB eşd. olarak TS-1 senaryosu ile değişmemiştir.

Tablo 4.39 incelendiğinde TS-1 senaryosuna göre hammadde transferi aşamasında FOP, AP ve ÖP etki kategorilerinde sırasıyla %15,5; %48,1 ve %61,6 oranında dikkate değer bir azalma görülmektedir. Pazara dağıtım aşamasında OTİP, FOP, AP ve ÖP etki kategorilerinde sırasıyla %12,0; %10,5; %43,3 ve %50,5 oranında dikkate değer bir azalma görülmektedir. Toplam azalma oranlarına bakıldığında; ATP etki kategorisinde %2,0; OTİP etki kategorisinde %7,3; FOP etki kategorisinde %12,2; AP etki kategorisinde %45,5 ve ÖP etki kategorisinde ise %55,1 oranlarında azalma olduğu görülmektedir. Toplam etkide en fazla azalma ÖP ve AP etki kategorilerinde saptanmıştır.

4.3.2. TS-2: Raylı Taşıma

TS-2 senaryosu, fonksiyonel birim bazında hammaddelerin taşınmasında karayolu yerine raylı sistemle taşınmasıdır. Tablo 4.40'ta TS-2 ve MD çevresel etki değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.40: Et entegre tesisi hammadde transferi aşamasına ait TS-2 senaryosuna ve MD'ye göre çevresel etki değerleri ve yüzde azalmaları.

Etki Kategorisi	Birim	Hammadde Transferi (MD) 	Hammadde Transferi (TS-2) 	% Azalma
ATP	kg Sb eşd.	2,87E-08	1,77E-09	93,84
ATP-fosil	MJ	1,33E+00	8,69E-02	93,45
KIP	kg CO ₂ eşd.	9,41E-02	6,55E-03	93,04
OTİP	kg CFC-11 eşd.	1,69E-08	1,02E-09	93,95
İTP	kg 1,4-DB eşd.	1,94E-02	1,11E-03	94,28
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	2,70E-03	6,66E-04	75,36
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	8,35E+00	2,21E+00	73,52
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	5,46E-05	1,96E-06	96,41
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	8,89E-06	1,20E-06	86,50
AP	kg SO ₂ eşd.	3,10E-04	5,19E-05	83,25
ÖP	kg PO ₄ eşd.	6,19E-05	1,48E-05	76,10

Hammadde transferi aşamasında raylı sistemin kullanıldığı TS-2 senaryosunun KCEP'yi 5,46E-05 kg 1,4-DB eşd.den 1,96E-06 kg 1,4-DB eşd.ne; İTP'yi 1,94E-02 kg 1,4-DB eşd.den 1,11E-03 kg 1,4-DB eşd.ne; OTİP'yi 1,69E-08 kg CFC-11 eşd.den 1,02E-09 kg CFC-11 eşd.ne; ATP'yi 2,87E-08 kg Sb eşd.den 1,77E-09 kg Sb eşd.ne; ATP-fosil'i 1,33E+00 MJ'den 8,69E-02 ve KIP'yi 9,41E-02 kg CO₂ eşd.den 6,55E-03 kg CO₂ eşd.ne azalttığı görülmektedir. Bütün etki kategorilerinde hammadde transferine ait etki değerleri %73,52-%96,41 oranlarında azalmıştır. En fazla azalma görülen etki kategorileri sırasıyla KCEP (%96,41), İTP (%94,28), OTİP (%93,95), ATP (%93,84), ATP-fosil (%93,45) ve KIP (%93,04)'dir.

4.4. SENARYOLARIN TOPLU DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma, et entegre tesisinde sucuk üretiminin sistem sınırları içerisinde hammadde transferinden, kesim, üretim ve pazara dağıtım aşaması da dahil tüm süreçlerin çevresel etkilerini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Tesiste kesim ve üretim aşamalarında enerji tüketimi sebebiyle alternatif yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına ilişkin senaryolar ortaya konulmuştur. 1 kangal sucuk üretiminden kaynaklanan toplam çevresel etki değerlerinin mevcut durum için ve şebeke enerjisi yerine yenilenebilir enerjinin kullanıldığı enerji senaryolarının ve taşıma sisteminde değişiklik yapılan transfer senaryolarının tüm sürece dahil edildiği durum için değerlendirilme Tablo 4.41’de verilmiştir.

Tablo 4.41: Mevcut durum ve tüm senaryoların et entegre tesisinde sucuk üretimi toplam çevresel etki değerleri.

Etki Kategorisi	MD 	SENARYOLAR						
		Enerji Senaryoları					Transfer Senaryoları	
		ES-1 	ES-2 	ES-3 	ES-4 	ES-5 	TS-1 	TS-2 
ATP	3,94E-05	3,80E-05	3,80E-05	3,80E-05	3,80E-05	3,81E-05	3,93E-05	3,93E-05
ATP-fosil	2,46E+01	1,22E+01	1,22E+01	1,22E+01	1,33E+01	1,34E+01	2,46E+01	2,34E+01
KIP	1,56E+01	1,45E+01	1,45E+01	1,45E+01	1,50E+01	1,46E+01	1,56E+01	1,55E+01
OTİP	1,52E-07	1,26E-07	1,26E-07	1,26E-07	1,29E-07	1,28E-07	1,49E-07	1,36E-07
İTP	1,63E+01	1,58E+01	1,58E+01	1,58E+01	1,58E+01	1,58E+01	1,63E+01	1,62E+01
TSCEP	1,19E+01	1,12E+01	1,12E+01	1,12E+01	1,13E+01	1,13E+01	1,19E+01	1,19E+01
DCEP	6,39E+03	4,27E+03	4,27E+03	4,27E+03	4,40E+03	4,48E+03	6,39E+03	6,39E+03
KCEP	1,74E+00	1,74E+00	1,74E+00	1,74E+00	1,74E+00	1,74E+00	1,74E+00	1,74E+00
FOP	2,50E-03	2,27E-03	2,26E-03	2,26E-03	2,58E-03	2,29E-03	2,50E-03	2,49E-03
AP	6,01E-02	5,37E-02	5,37E-02	5,37E-02	6,01E-02	5,43E-02	5,98E-02	5,98E-02
ÖP	6,56E-02	6,15E-02	6,15E-02	6,15E-02	6,30E-02	6,19E-02	6,56E-02	6,56E-02

Tablo 4.41’den elde edilen verilere göre oluşturulan senaryolar ile toplam etkilerde gerçekleşen değişimler Tablo 4.42’de gösterilmiştir. Tabloda verilen negatif değerler etkilerde azalma yerine artış olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 4.42: Senaryoların dahil edilmesi ile faaliyetin tamamında toplam etkilerde hesaplanan değişimler.

Etki kategorisi	Birim	Senaryolar ile Toplam Etkilerde Gerçekleşen % Değişim						
		Enerji Senaryoları					Transfer Senaryoları	
		ES-1 	ES-2 	ES-3 	ES-4 	ES-5 	TS-1 	TS-2 
ATP	kg Sb eşd.	3,5	3,5	3,5	3,3	3,1	0,0	0,1
ATP-fosil	MJ	50,5	50,5	50,5	45,8	45,3	0,0	5,0
KIP	kg CO ₂ eşd.	7,4	7,4	7,4	4,1	6,6	0,0	0,6
OTİP	kg CFC-11 eşd.	17,3	17,3	17,3	14,9	15,6	1,9	10,4
İTP	kg 1,4-DB eşd.	3,0	3,1	3,1	2,8	2,8	0,0	0,1
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	5,8	5,8	5,8	5,5	5,2	0,0	0,0
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	33,3	33,3	33,3	31,1	29,9	0,0	0,1
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	9,3	9,4	9,4	-3,4	8,4	0,1	0,3
AP	kg SO ₂ eşd.	10,7	10,7	10,7	0,0	9,6	0,5	0,4
ÖP	kg PO ₄ eşd.	6,3	6,3	6,3	4,1	5,7	0,1	0,1

Tablo 4.41’de verilen mevcut durum ve tüm senaryoların et entegre tesisi sucuk üretimi toplam çevresel etki değerleri ve Tablo 4.42’de verilen senaryolar ile toplam etkilerde gerçekleşen % değişim miktarları, her bir etki kategorisi için aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir.

4.4.1. Abiyotik Tüketim Potansiyeli (ATP)

Alternatif enerji kaynakları değerlendirildiğinde, ATP etki kategorisindeki çevresel etkinin yenilenebilir enerjilerden jeotermal, rüzgar ve güneş enerjilerinin kullanılması ile %3,5; biyogaz enerjisinin kullanılması ile %3,3; soğutucular için güneş panelleri kurulması ile enerjinin karşılanması senaryosunda ise %3,1 oranında azaldığı görülmüştür. Transfer senaryolarından TS-2 senaryosu ile çevresel etkiyi ATP etki kategorisinde %0,1 oranında azalttığı hesaplanmıştır. TS-2 senaryosunda ise herhangi bir değişim saptanmamıştır.

4.4.2. Abiyotik Tüketim Potansiyeli-fosil yakıtlar (ATP-fosil)

ATP-fosil etki kategorisi tüm enerji senaryolarında çevresel etkide en yüksek azalmanın elde edildiği kategoridir. Jeotermal, rüzgar ve güneş enerjilerinin kullanıldığı ES-1, ES-2 ve ES-3 senaryolarının dahil edilmesi ile 1 kangal sucuk üretiminin tüm aşamalarında çevresel etki

değerlerinde toplamda %50,5 oranında azalma hesaplanmıştır. Biyogaz enerjisinin kullanıldığı ES-4 senaryosu ve güneş enerjisinin sadece soğutucularda kullanıldığı ES-5 senaryosu ile de sırasıyla %45,8 ve %45,3 azalma sağlamıştır. ATP-fosil etki kategorisindeki bu %50'ye ulaşan azalmalar yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklı olup, fosil yakıt kullanımını önemli oranda azalttığı için doğal kaynakların korunmasına ve üretimin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır. TS-1 senaryosunun ATP-fosil etki kategorisine herhangi bir etkisi saptanmamıştır. TS-2 senaryosu ile çevresel etkide ise %5 oranında azalma saptanmıştır. TS-2 ile elde edilen bu azalma, kısıtlı olsa da raylı sistemin kullanılmasının ATP-fosil etki kategorisinde etkili olduğunu göstermektedir.

4.4.3. Küresel Isınma Potansiyeli (KIP)

Değerlendirilen enerji senaryolarından jeotermal, rüzgar ve güneş enerjisinin oluşturduğu senaryoların (ES-1, ES-2 ve ES-3) KIP etki azaltma oranı %7,4 iken biyogaz enerji senaryosu (ES-4) %4,1 ve soğutucular için güneş panellerinin kurulması senaryosu (ES-5) %6,6 oranında hesaplanmıştır. Et entegre tesisinde 1 kangal sucuk üretim sisteminin tamamına transfer senaryolarının dahil edilmesi durumunda KIP etki kategorisinde TS-1 ile bir azalma görülmemiş ve TS-2'de ise ihmal edilebilir azalma (%0,6) saptanmıştır.

4.4.4. Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (OTİP)

Enerji senaryoları değerlendirildiğinde OTİP etki kategorisinde çevresel etki; ES-1, ES-2 ve ES-3 enerji senaryolarının dahil edilmesi ile %17,3 oranında; biyogaz enerji senaryosu (ES-4) ile %14,9 ve güneş panelleri senaryosunda (ES-5) %15,6 oranında azalma hesaplanmıştır. Bu durumda şebeke elektriğinin kullanımından kaynaklı emisyonların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, OTİP etki değerinde görülen emisyonların belirgin oranda azaltılmasına katkı sağladığı görülmüştür. Transfer senaryoları değerlendirildiğinde raylı taşıma sistemi üzerine kurgulanan TS-2 senaryosu ile %10,4 oranında azalma hesaplanırken Euro 6 tipi araç kullanılması üzerine kurgulanan TS-1 senaryosu ile %1,9 oranında bir azalma saptanmıştır. Transfer senaryolarından özellikle raylı taşımacılığın tercih edilmesi durumunda OTİP etki değerinde ortaya çıkan emisyonlarda önemli oranda azalma görülmüştür.

4.4.5. İnsana Toksisite Potansiyeli (İTP)

İTP etki kategorisi için enerji senaryoları değerlendirildiğinde, çevresel etkiyi kurgulanan tüm enerji senaryolarından ES-2 ve ES-3 %3,1 oranında; ES-1 %3,0 oranında azaltırken ES-4 ve ES-5 senaryolarının %2,8 oranlarında azalttığı hesaplanmıştır. Transfer

senaryolarından ise raylı sistem ile taşınması üzerine kurgulanan TS-2 senaryosu ile %0,1 oranında bir azalma saptanırken; Euro 6 tipi araç ile taşınması üzerine kurgulanan TS-1 senaryosunda herhangi bir değişim saptanmamıştır.

4.4.6. Tatlı Su Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (TSCEP)

TSCEP etki kategorisi için enerji senaryoları değerlendirildiğinde jeotermal, rüzgar ve güneş enerjisi kullanımına ilişkin kurgulanan ES-1, ES-2 ve ES-3 senaryoları %5,8 oranında azaltırken biyogaz enerjisi (ES-4) ve soğutucular için kullanılması kurgulanan güneş panelleri (ES-5) senaryolarının sırasıyla %5,5 ve %5,2 oranlarında azalttığı hesaplanmıştır. Transfer senaryolarının kurgulandığı her iki senaryo (TS-1 ve TS-2) için TSCEP'ye olan toplam etkide herhangi bir değişim saptanmamıştır.

4.4.7. Deniz Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (DCEP)

DCEP etki kategorisi için değerlendirilen enerji senaryolarından ES-1, ES-2 ve ES-3 senaryoları için %33,3 oranında; ES-4 enerji senaryosu ile %31,1 oranında çevresel etkide azalma hesaplanmıştır. Son olarak oluşturulan soğutucular için güneş panelleri kurulumu üzerine kurgulanan ES-5 senaryosu ile %29,9 oranında azalma olduğu hesaplanmıştır. Enerji senaryoları ile bu etki kategorisinde büyük oranda azalmanın nedeninin şebeke elektriğinde linyit madenciliği aşamasında ağır metallerin suya salınımındaki azalmadan kaynaklandığı düşünülmektedir (Atılğan ve Azapagic, 2015). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı üzerine kurgulanan enerji senaryoları ile zehirli kimyasalların oluşumunda çevresel anlamda azalmaya önemli katkı sağladığı bu çalışma sonuçları ile saptanmıştır. Transfer senaryolarından TS-2 senaryosu %0,1 oranında azaltırken, TS-1 senaryosunun DCEP'ye olan toplam etkisinde herhangi bir değişim saptanmamıştır. Bunun nedeni DCEP etki kategorisine esas katkıyı veren aşamanın hammadde aşaması olmasıdır.

4.4.8. Kara Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (KCEP)

Et entegre tesisinde sucuk üretimi için oluşturulan tüm enerji senaryolarının KCEP etki kategorisindeki toplam etkiyi yalnızca %0,1 oranlarında azalttığı görülmüştür. Transfer senaryolarının her ikisi için de toplam etkide bir değişim saptanmamıştır. Burada gözle görülür bir değişim olmamasının nedeni KCEP etki kategorisine katkının esas olarak hammadde aşamasından gelmesidir. Önerilen alternatif senaryoların hammadde aşamasına katkısı olmaması nedeniyle bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

4.4.9. Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli (FOP)

FOP etki kategorisinde çevresel etki, rüzgâr ve güneş enerjisi senaryoları ile (ES-2 ve ES-3) %9,4; jeotermal enerji senaryosu (ES-1) ile %9,3 oranlarında azaltıldığı hesaplanmıştır. Soğutucular için güneş panelleri kurulumu üzerine kurgulanan ES-5 senaryosu ile de FOP etki değeri %8,4 oranında azaltılmıştır. Burada FOP etki kategorisinde MD'de %8,40 olan soğutma aşamasının katkısının yenilenebilir enerji kullanımlarıyla azaltılmasının etkili olduğu görülmektedir. Üç enerji senaryosunun aksine biyogaz enerji senaryosu (ES-4) ile FOP etki kategorisinde %3,4 oranında artış hesaplanmıştır. Bu etki değerlerinde ortaya çıkan emisyon artışının, biyogaz enerjisi üretim aşamalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Transfer senaryolarından raylı sistem üzerine kurgulanmış TS-2 senaryosunun ise %0,3 ve TS-1 senaryosunun ise %0,1 oranlarında FOP toplam etki değerini azalttığı hesaplanmıştır. Buradaki etki oranlarının düşük olması, FOP etki kategorisinde ana katkıyı veren hammadde aşamasına TS-1 senaryosu ile değişiklik yapılmamasından kaynaklanmaktadır.

4.4.10. Asidifikasyon Potansiyeli (AP)

AP etki kategorisinde enerji senaryoları üzerine kurgulanan çevresel etkiler değerlendirildiğinde jeotermal, rüzgâr ve güneş enerjilerinden (ES-1, ES-2 ve ES-3) oluşan senaryolar ile %10,7 oranında azalma hesaplanmışken; soğutucular için güneş panelleri üzerine kurgulanan ES-5 senaryosunun ise %9,6 oranında azalttığı hesaplanmıştır. Kullanılan enerjinin biyogaz enerjisinden sağlanması üzerine kurgulanan ES-4 senaryosu ile herhangi bir değişim saptanmamıştır. Transfer senaryolarının her ikisinin de AP etki kategorisinde meydana gelen toplam çevresel etkiyi TS-1 ile %0,5 ve TS-2 ile %0,4 oranlarında azalttığı hesaplanmıştır.

4.4.11. Ötrofikasyon Potansiyeli (ÖP)

Enerji senaryoları ÖP etki kategorisinde değerlendirildiğinde toplam çevresel etki jeotermal, rüzgar ve güneş enerjileri (ES-1, ES-2 ve ES-3) senaryolarının tüm sürece dahil edilmesi ile %6,3 oranında azaltma hesaplanırken; biyogaz enerjisi üzerine kurgulanan ES-4 senaryosu ile %4,1 ve soğutucular için güneş panelleri üzerine kurgulanan ES-5 senaryosu ile %5,7 oranında azaltma hesaplanmıştır. Bu azalma MD'de ÖP etki kategorisinde %5,7 olan soğutma aşamasının katkısının sıfıra inmesinden kaynaklanmaktadır. Euro 4 araç tipi yerine Euro 6 ve raylı sistem üzerine kurgulanan transfer senaryolarının her ikisinin de ÖP etki kategorisindeki çevresel etkide yalnızca %0,1 oranlarında bir azalma saptanmıştır. Buradaki etki oranının düşük olmasının nedeni, ÖP etki kategorisine katkının MD'de esas olarak hammadde aşamasından ve tesis içi soğutma aşamasından gelmesidir.

4.5. ENERJİ VE TRANSFER SENARYOLARININ BİRLİKTE UYGULANMASI İLE ELDE EDİLEN BÜTÜNLEŞİK SENARYO

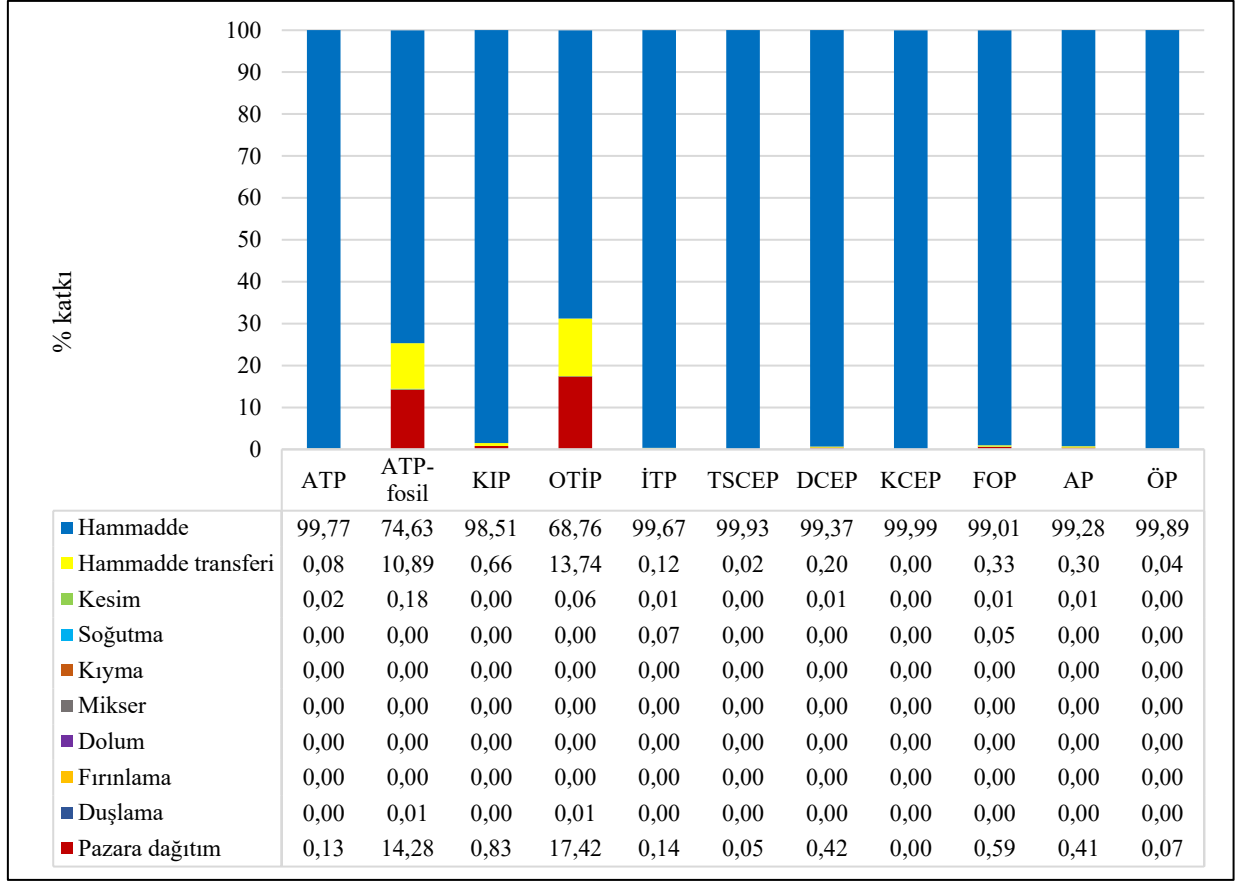
Bu bölümde, et entegre tesisinde sucuk üretiminin YDA ile modellenmesinde mevcut durum (MD) üzerine kurgulanan alternatif enerji ve transfer senaryolarından elde edilen veriler değerlendirilerek enerji ve transfer senaryolarının her birinden en iyi senaryo seçilip tüm sisteme entegre edilmiştir. Jeotermal, rüzgar ve güneş enerjisi kullanımı ile çevresel etki kategorilerinde toplamda birbirine yakın azalmalar elde edilmiştir. Bu üç alternatif enerji arasında enerji kaynağına yakınlığı dikkate alınarak jeotermal enerji (ES-1) en iyi alternatif enerji kaynağı olarak öne çıkmıştır.

Transfer senaryolarından ise en iyi senaryo olan TS-1 (Euro 6 araç kullanımı) seçilerek en iyi enerji ve en iyi transfer senaryosu, mevcut duruma entegre edilerek yeniden karakterize edilmiştir. Tablo 4.43'te mevcut durumda 1 kangal sucuk üretiminde şebeke enerjisi yerine jeotermal enerjinin ve aynı zamanda transferlerde Euro 4 araçlar yerine Euro 6 araçlarının kullanıldığı senaryoya (bütünleşik senaryo) ait çevresel etki sonuçları verilmiştir.

Şekil 4.19'da ise bütünleşik senaryolar kullanılarak oluşturulan sucuk üretiminin çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı verilmiştir. Ayrıca, Tablo 4.44'te bütünleşik senaryo ile sucuk üretimi ile MD sucuk üretiminde toplam etkilerde hesaplanan azalmalar verilmiştir.

Tablo 4.43: Bütünleşik senaryoya göre1 kangal sucuk üretiminin çevresel etki sonuçları.

Etki Kategorisi	Birim	Hammadde	Hammadde Transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara Dağıtım	TOPLAM
ATP	kg Sb eşd.	3,79E-05	2,88E-08	8,57E-09	9,71E-13	6,68E-15	3,06E-15	2,02E-14	3,26E-14	6,68E-10	5,01E-08	3,80E-05
ATP-fosil	MJ	9,09E+00	1,33E+00	2,17E-02	3,70E-04	2,54E-06	1,16E-06	7,70E-06	1,24E-05	1,53E-03	1,74E+00	1,22E+01
KIP	kg CO ₂ eşd.	1,42E+01	9,48E-02	6,23E-04	1,05E-05	7,19E-08	3,29E-08	2,18E-07	3,51E-07	1,18E-04	1,19E-01	1,45E+01
OTİP	kg CFC-11 eşd.	8,44E-08	1,69E-08	7,23E-11	5,70E-13	3,92E-15	1,79E-15	1,19E-14	1,91E-14	1,12E-11	2,14E-08	1,23E-07
İTP	kg 1,4-DB eşd.	1,57E+01	1,90E-02	8,16E-04	1,04E-02	7,13E-05	3,26E-05	2,16E-04	3,48E-04	5,55E-05	2,14E-02	1,58E+01
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	1,12E+01	2,70E-03	2,04E-04	2,49E-06	1,71E-08	7,82E-09	5,19E-08	8,35E-08	5,15E-05	5,35E-03	1,12E+01
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	4,24E+03	8,35E+00	6,05E-01	6,28E-03	4,32E-05	1,98E-05	1,31E-04	2,11E-04	1,33E-01	1,78E+01	4,27E+03
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	1,74E+00	5,44E-05	4,26E-06	5,32E-09	3,66E-11	1,67E-11	1,11E-10	1,78E-10	9,54E-08	7,49E-05	1,74E+00
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	2,24E-03	7,51E-06	2,77E-07	1,19E-06	8,21E-09	3,75E-09	2,49E-08	4,01E-08	2,10E-08	1,33E-05	2,26E-03
AP	kg SO ₂ eşd.	5,30E-02	1,61E-04	3,88E-06	4,49E-08	3,09E-10	1,41E-10	9,37E-10	1,51E-09	5,05E-07	2,18E-04	5,34E-02
ÖP	kg PO ₄ ³ eşd.	6,13E-02	2,38E-05	7,92E-07	1,65E-08	1,13E-10	5,18E-11	3,44E-10	5,53E-10	2,21E-07	4,17E-05	6,14E-02



Şekil 4.19: Bütünleşik senaryo ile sucuk üretiminin çevresel etkilerinin yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.44: Bütünleşik senaryo ile sucuk üretimi ile MD sucuk üretiminde toplam etkilerde hesaplanan azalmalar.

Etki Kategorisi	Birim	% Azalma
ATP	kg Sb eşd.	3,6
ATP-fosil	MJ	50,4
KIP	kg CO ₂ eşd.	7,0
OTİP	kg CFC-11 eşd.	19,1
İTP	kg 1,4-DB eşd.	2,5
TSCEP	kg 1,4-DB eşd.	5,9
DCEP	kg 1,4-DB eşd.	33,2
KCEP	kg 1,4-DB eşd.	-
FOP	kg C ₂ H ₄ eşd.	9,6
AP	kg SO ₂ eşd.	11,2
ÖP	kg PO ₄ eşd.	6,4

Bütünleşik senaryo (Tablo 4.43) ile mevcut durum (MD) senaryosunun (Tablo 4.2) çevresel etkileri karşılaştırıldığında KCEP etki kategorisi dışında kalan tüm etki kategorilerinde toplam çevresel etkilerde azalma olduğu görülmüştür (Tablo 4.44). KCEP etki kategorisinde %99,92 katkı veren aşama hammadde aşamasıdır. Dolayısıyla bütünleşik senaryo ile

hammadde aşamasında değişiklik yapılmadığı için KCEP etki kategorisinde değişiklik beklenmemektedir. Etki kategorilerinde en belirgin azalma ATP-fosil etki kategorisinde (%50,4) ve DCEP etki kategorisinde (%33,2) elde edilmiştir. Bu olumlu değişimin nedeni şebeke enerjisinden yenilenebilir enerji olan jeotermal enerjiye geçilmesidir. Dikkati çeken diğer azalmalar OTİP (%19,1) ve AP (%11,2) etki kategorilerinde elde edilmiştir. Bu etki kategorilerindeki azalmalarda yenilenebilir enerji kullanımının yanı sıra Euro 6 tipi araçların kullanımı etkili olmuştur. Diğer etki kategorilerinde ise %2,5-9,6 arasında azalmalar görülmüş olup esas olarak jeotermal enerji kullanımından kaynaklanan bir iyileşmeye işaret etmektedir.

Sucuk üretiminin aşamalarının çevresel etki değerlerine yüzde katkıları incelendiğinde (Şekil 4.18) MD'ye göre (Şekil 4.1) değişiklikler gözlenmiştir. ATP çevresel etki kategorisine olan toplam etkide katkının büyük bir kısmını her iki senaryoda da hammadde aşaması oluşturmaktadır. Buna ilave olarak bütünleşik senaryo ile birlikte hammadde aşamasının katkısı tüm etki kategorilerinde artmıştır. ATP-fosil etki kategorisinde jeotermal enerjinin kullanımı ile soğutma aşamasının katkısı sıfırlanmış ve bu durum yüzdesel dağılımda katkının hammadde ve hammadde transferi aşamasında ve hatta pazara dağıtımda artmasına neden olmuştur.

4.6. HASSASİYET ANALİZİ

Bu tezde kullanılan etki değerlendirme metodunun (CML-IA) sonuçlarının sağlamlığını (robustness) kontrol etmek amacıyla mevcut durum ve enerji senaryolarına ait öne çıkan etki kategorileri SimaPro yazılım programında ReCiPe 2016 Midpoint (H) ve IMPACT 2002+ etki değerlendirme metotları ile değerlendirilmiştir. CML-IA etki analizi sonuçlarına göre enerji senaryolarının uygulanması ile MD'de %10'un üzerinde değişim gösteren 4 etki kategorisi ATP-fosil, OTİP, DCEP ve AP için sonuçlar Şekil 4.20-4.21'de verilmiştir. Her bir metot ile senaryoların uygulanması sonucunda MD'de açığa çıkan çevresel etkilerde elde edilen değişimler Tablo 4.45'de verilmiştir.

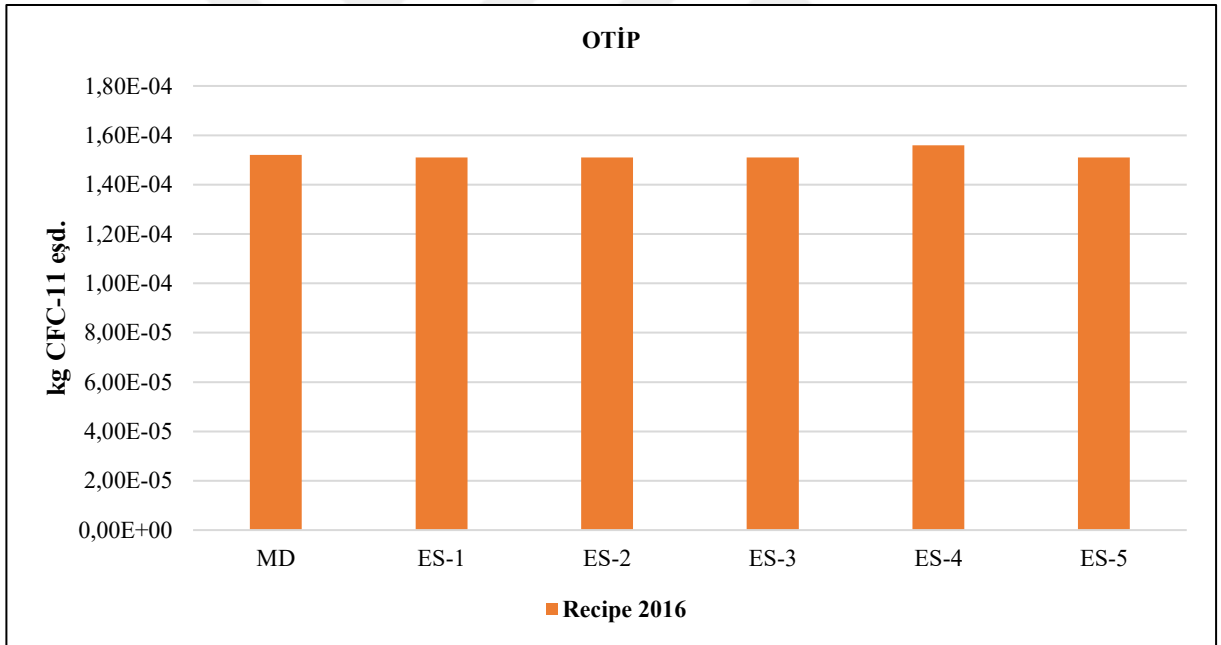
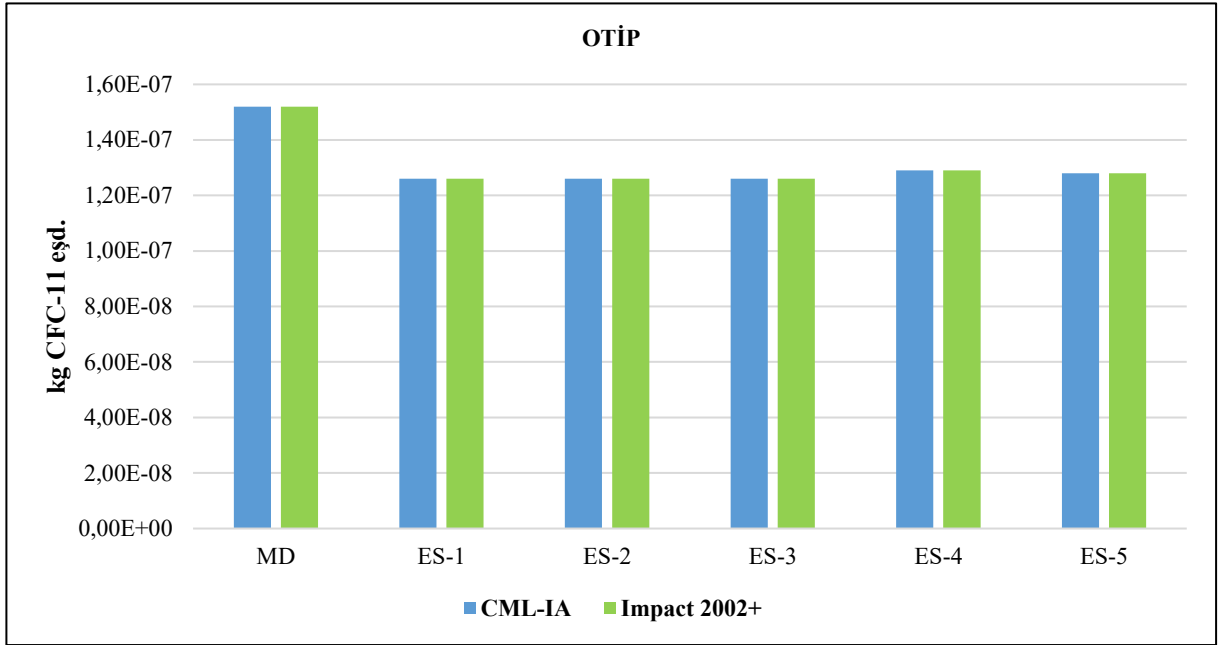
OTİP etki kategorisi için ReCiPe 2016 metodu ile CML-IA ve IMPACT 2002+ metoduna göre oldukça yüksek sonuçlar elde edilmiştir. CML-IA ve IMPACT 2002+ metotları ise aynı sonuçları vermiştir (Şekil 4.20). CML-IA ve IMPACT 2002+ metotları kullanıldığında enerji senaryoları ile MD'ye göre OTİP etkisinde aynı şekilde azalma (%15-17) elde edildiği dikkati çekmiştir. ReCiPe 2016 metodu ile ise ES-1, ES-2, ES-3 ve ES-5 senaryoları için OTİP etkisinde iyileşme ihmal edilebilecek seviyede iken (%0,2) ES-4 senaryosu ile kötüleşme görülmüştür (Tablo 4.45).

ATP-fosil için aynı birim ile ifade edilen CML-IA metodu ve IMPACT 2002+ metodu karşılaştırıldığında benzer sonuçlar verdikleri görülmüştür (Şekil 4.21). IMPACT 2002+ metodu ile ATP-fosil için tüm senaryolarda %12 civarında daha yüksek etki hesaplanmıştır. ReCiPe 2016 metodu ile ATP-fosil için elde edilen değer farklı birim nedeni ile karşılaştırılmamıştır. Ancak her 3 metot ile de tüm senaryolar ile ATP-fosil etki kategorisinde hemen hemen aynı miktarda (%45-51) ve aynı şekilde azalma olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.45).

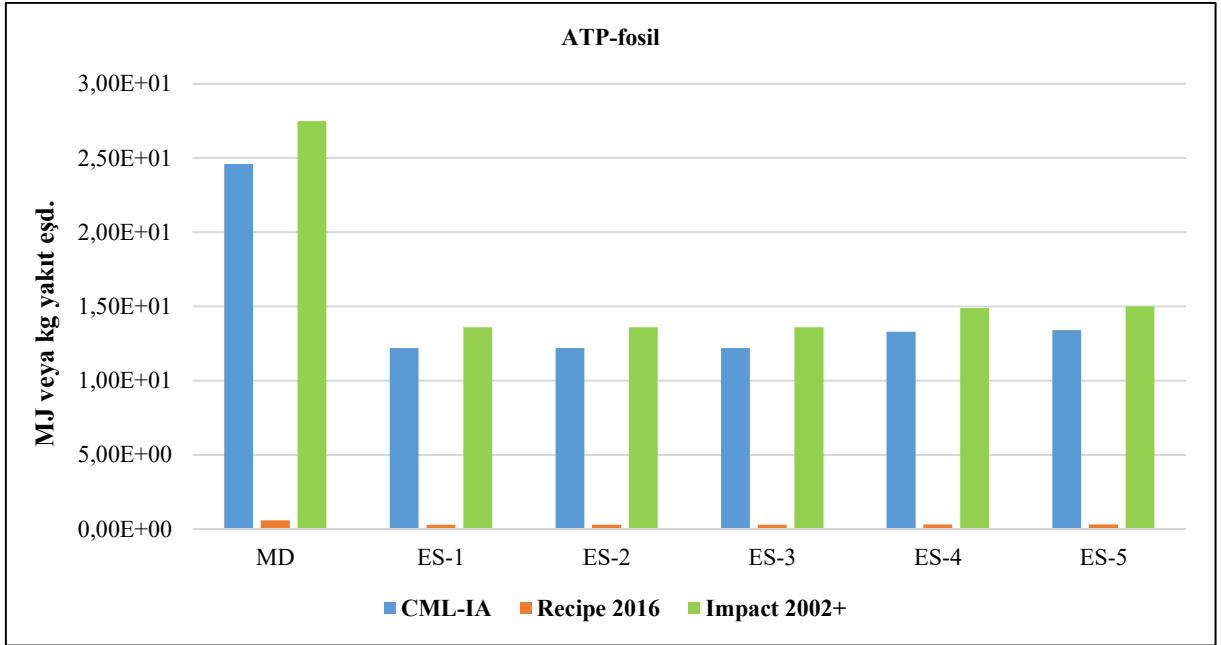
AP etki kategorisinde ReCiPe 2016 metodu ile MD'de %13; alternatif senaryolarda ise %17 civarında daha yüksek etki hesaplanmıştır. IMPACT 2002+ sonuçları ise yaklaşık 10 katı bulunmuştur (Şekil 4.22). Her üç metotta da aynı birim ile sonuçların verilmesine rağmen bu kadar farklı sonuçların elde edilmesinde karakterize edilen maddelerin sayısındaki ve karakterizasyon faktörlerindeki farklılıkların rol oynadığı düşünülmektedir (Matthews ve diğ., 2014).

Senaryoların uygulanması ile AP etkisindeki değişimlere baktığımızda ise ES-1, ES-2, ES-3 ve ES-5 senaryoları için CML-IA metodu ile %10-11 civarı iyileşmeler ölçülürken; ReCiPe 2016 metodu ile %7-8 ve IMPACT 2002+ metodu ile %3-4 iyileşme hesaplanmıştır. ES-4 senaryosu için CML-IA metodu ile bir değişiklik elde edilemezken ReCiPe 2016 ve IMPACT 2002+ metotlarında kötüleşme (sırasıyla %3 ve %7 oranlarında) hesaplanmıştır (Tablo 4.45).

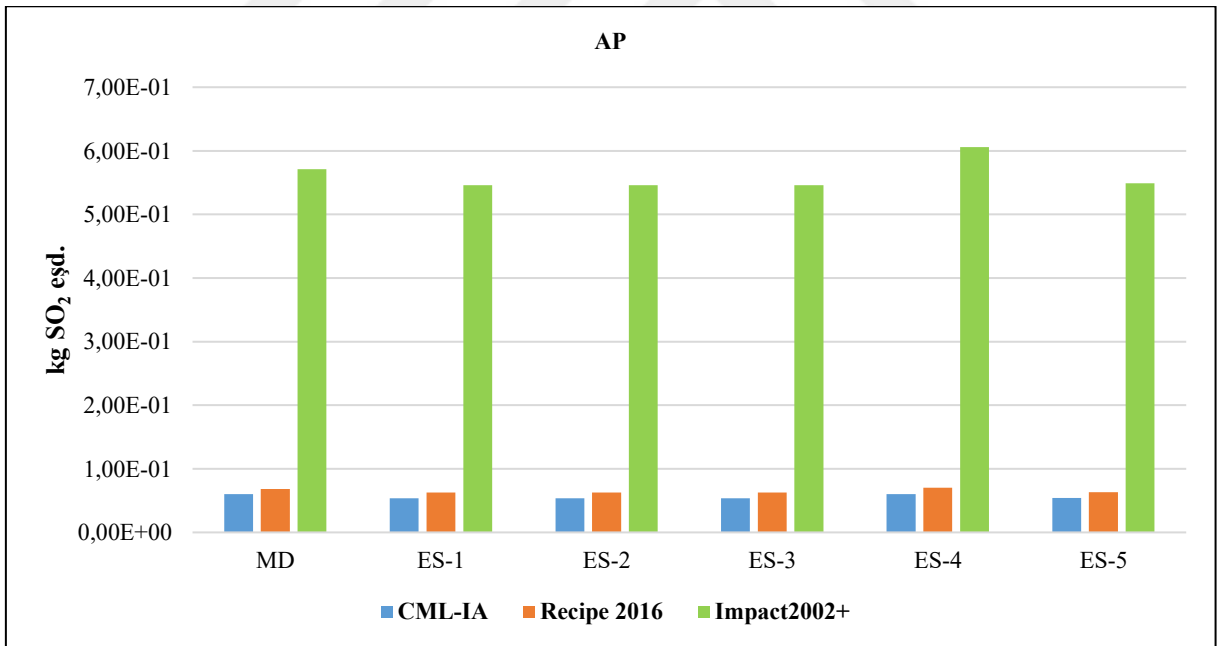
DCEP etki kategorisinde ise her üç metot için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Aynı birim ile ifade edilen CML-IA metodu ve ReCiPe 2016 metodu karşılaştırıldığında, ReCiPe 2016 ile çok daha düşük sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Şekil 4.23). Ancak CML-IA metodu ile MD'ye göre enerji senaryolarında DCEP etkisinde %30-33 gibi yüksek oranda bir iyileşme elde edilirken IMPACT 2002+ ve ReCiPe 2016 metotları ile çevresel etkide bir iyileşme bulunamamıştır (Tablo 4.45).



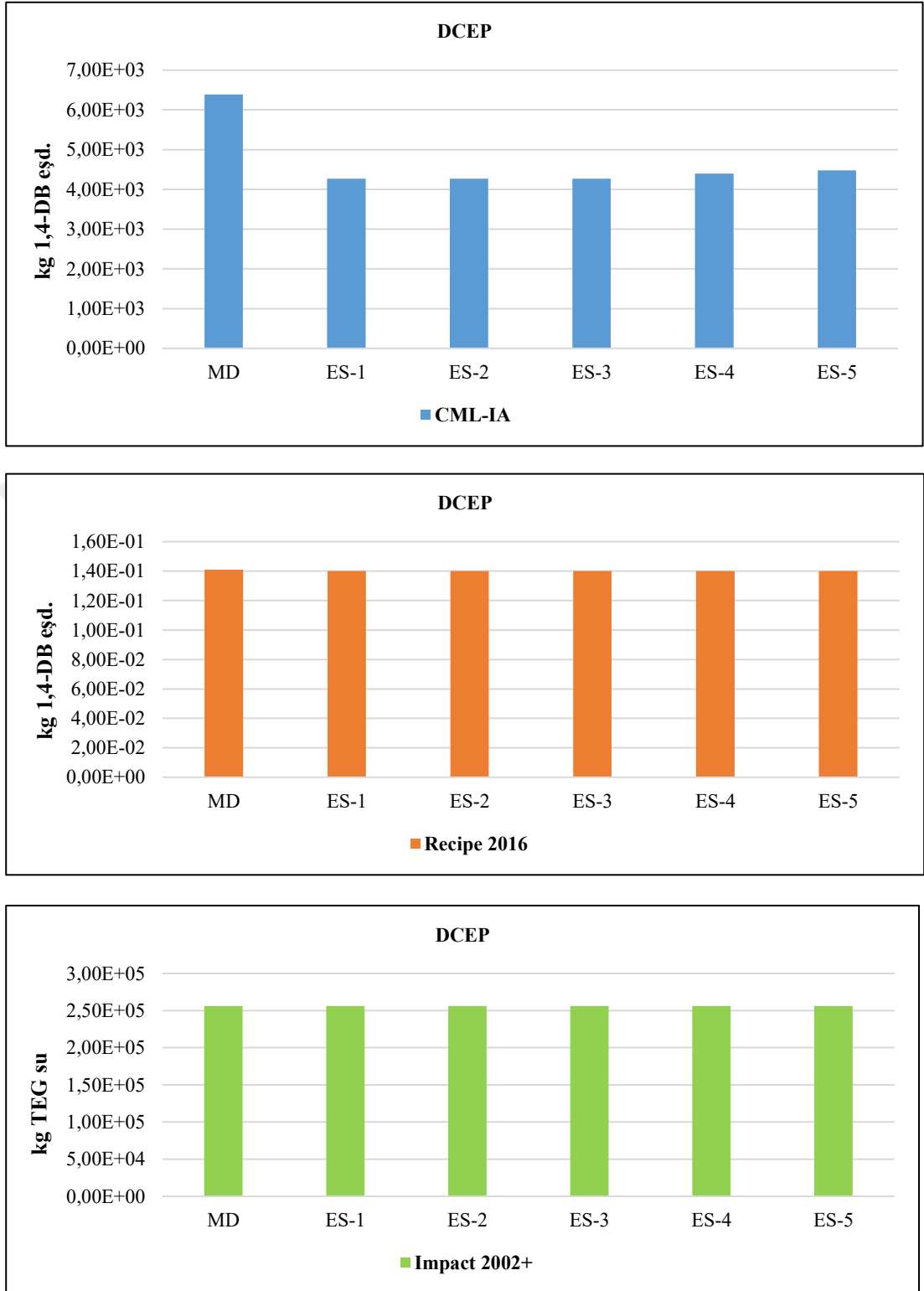
Şekil 4.20: CML-IA, ReCiPe 2016 ve IMPACT 2002+ metotlarıyla elde edilen OTİP sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 4.21: CML-IA, ReCiPe 2016 ve IMPACT 2002+ metotlarıyla elde edilen ATP-fosil sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 4.22: CML-IA, ReCiPe 2016 ve IMPACT 2002+ metotlarıyla elde edilen AP sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 4.23: CML-IA, ReCiPe2016 ve IMPACT 2002+ metotlarıyla elde edilen DCEP sonuçlarının karşılaştırılması.

Tablo 4.45: Enerji senaryoları ile faaliyetin tamamında toplam etkilerde farklı metotlar ile hesaplanan değişimler.

Hesaplama Metodu	Etki kategorisi	Birim	Senaryolar ile Toplam Etkilerde Gerçekleşen % Değişim				
			Enerji Senaryoları				
			ES-1 	ES-2 	ES-3 	ES-4 	ES-5 
CML-IA baseline	ATP-fosil	MJ	50,5	50,5	50,5	45,8	45,3
	OTİP	kg CFC-11 eşd.	17,3	17,3	17,3	14,9	15,6
	DCEP	kg 1,4-DB eşd.	33,3	33,3	33,3	31,1	29,9
	AP	kg SO ₂ eşd.	10,7	10,7	10,7	0,0	9,6
ReCiPe 2016 Midpoint H	ATP-fosil	kg oil eşd.	51,2	51,2	51,2	46,7	46,0
	OTİP	kg CFC-11 eşd.	0,2	0,2	0,2	-3,2	0,2
	DCEP	kg 1,4-DB eşd.	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
	AP	kg SO ₂ eşd.	7,7	7,7	7,7	-3,2	6,9
IMPACT 2002+	ATP-fosil	MJ birincil	50,50	50,49	50,50	45,82	45,34
	OTİP	kg CFC-11 eşd.	17,32	17,30	17,32	14,87	15,55
	DCEP	kg TEG water	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
	AP	kg SO ₂ eşd.	4,28	4,28	4,28	-6,13	3,84

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye’de bir et entegre tesisinde sucuk üretiminin çevresel etkilerinin belirlenmesi üzerine yapılan ilk detaylı çalışmadır. Çalışmada YDA yaklaşımı ile SimaPro yazılımı ve CML-IA hesaplama metodu kullanılarak sucuk üretiminin çevresel etkileri modellenmiştir. Modellemede fonksiyonel birim olarak 1 kangal sucuk alınmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında sucuk üretiminin hammadde transferinden ürünün (1 kangal sucuk) pazara dağıtımına kadar mevcut koşullarda (MD) 11 etki kategorisindeki çevresel etkileri belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise çevresel etkileri azaltabilmek ve sürdürülebilirliği iyileştirmek amacıyla üretim aşamasında yenilenebilir enerjinin kullanıldığı enerji senaryoları ve transfer aşamasında çevre dostu araç ve taşıma sistemlerinin kullanıldığı transfer senaryoları oluşturularak çevresel etkileri belirlenmiştir. Bu senaryolar ile değişiklik yapılan aşamalardaki değişimler değerlendirilmiş ve mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Üçüncü aşamada ise bu senaryoların dahil edilmesi ile tüm proseste toplam çevresel etkilerde meydana gelen değişimler incelenerek yorumlanmıştır.

1. aşama: 1 kangal sucuk üretiminin hammadde transferinden pazara dağıtımına kadar olan tüm süreç için mevcut durumda (MD) çevresel etkilerinin ortaya konması:

Çalışmamızda çiftlik ve tarım aşamaları sistem dışında bırakılmasına rağmen canlı hayvanın üreticiden alınıp tesise transferi aşaması nedeniyle büyükbaş sığır kaynaklı hammadde girdisinin ATP, KIP, OTİP, İTP, TSCEP, DCEP, KCEP, FOP, AP ve ÖP (%88,17-%96,92) olmak üzere on etki kategorisinde çevresel etkiye en fazla katkı veren unsur olduğu görülmüştür. Sadece ATP-fosil etki kategorisinde en fazla katkıya sebep olan unsur farklı olup, şebeke elektriği kullanılarak 7/24 yapılan *soğutma prosesi* bunda etkili olmuştur. *Hammadde transferi* aşamasında OTİP etki kategorisinin Euro 4 tipi araç kullanımından kaynaklı havaya emisyonlar nedeniyle oluştuğu saptanmıştır. OTİP etki kategorisine dikkate değer bir katkı sağlayan diğer süreçler ise *soğutma ve pazara dağıtım* aşamalarıdır. Soğutma aşamasında elektrik harcamasından kaynaklı havaya emisyonlar ile pazara dağıtım aşamasında soğutuculu araçların kullanılmasından kaynaklı havaya emisyonların oluştuğu görülmüştür. Sucuğun karkas etin işlenmesiyle kıyma haline getirilmesi, doldurma, kurutma vb. işlemlerin gerçekleştirildiği üretim aşamasında ise bütün etki kategorilerinde yaklaşık %89-90 ile toplam etkiye en fazla katkı soğutma aşamasından gelmiştir. Kesim aşamasının etki kategorilerine

yaklaşık %5 oranlarında; fırınlama aşamasının yaklaşık %3 oranlarında; dolum aşamasının yaklaşık %2 oranlarında katkı sağladığı; kıyma ve mikser süreçlerinin katkılarının ise tüm etki kategorilerinde %1'in altında olduğu görülmüştür.

2. aşama: A) 1 kangal sucuk için tesis içerisinde sucuk üretiminde şebeke enerjisi yerine yenilenebilir enerjilerin kullanılması durumunda her bir üretim aşaması için çevresel etkilerin belirlenmesi ve şebeke elektriği kullanımına göre karşılaştırılması:

Üretimden kaynaklı çevresel etkiler bütün etki kategorilerinde ES-1, ES-2, ES-3 ve ES-5 senaryoları ile azalırken; ES-4 senaryosu ile FOP (%36,01) ve AP (%0,41) etki kategorilerinde artış görülmüştür. ES-1, ES-2, ES-3 ve ES-5 senaryolarında çevresel etkilerdeki en önemli azalmalar %45-50 ile ATP-fosil etki kategorisinde, %15-17 ile OTİP etki kategorisinde ve %30-33 ile DCEP etki kategorisinde elde edilmiştir. Enerji senaryoları ile *doğal kaynak kullanımı* azaltılarak (ATP-fosil) çevresel sürdürülebilirlik iyileştirilirken SKH 12'ye katkı sağlanmıştır. Ayrıca OTİP ve DCEP etki kategorilerindeki iyileşme ile de hem *ekosisteme* hem de *canlılara* etkilerde azalma elde edilirken SKH 13'e ve SKH 14'e katkı sağlanmıştır. ES-4 senaryosu ile FOP ve AP iki etki kategorilerindeki artışın, biyogaz enerji santralinin çalışma sisteminden kaynaklı olduğu öngörülmektedir. Paolini ve diğ. (2018) çalışmasında, biyogaz tesislerinin fosil yakıt tüketimini azaltırken KIP'yi düşürdüğünü; ancak istenmeyen CH₄ ve N₂O emisyonlarına dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Biyogaz endüstrisinin iklim değişikliği üzerindeki etkisinin değerlendirilmesinde CH₄ emisyonları birincil öneme sahiptir. Biyogazın tam yanmaması nedeniyle CH₄ salınabilir. Ayrıca biyokütle depolama ve çürütülmüş atık yönetiminden kaynaklanan CH₄ emisyonu da önemli bir kaynaktır (Paolini ve diğ., 2018). ES-4 senaryosunun negatif etkisinin önüne geçmek için biyogaz tesislerinin CH₄ emisyonlarını düşürmeye yönelik bazı önlemler uygulanabilir. CH₄ deşarjını önleyen bir alev kullanmak, tankları örtmek, birleşik ısı ve güç ünitelerinin verimliliğini artırmak, elektrik gücünü iyileştirmek ve sızıntıları önlemek için mümkün olduğu kadar çok termal enerjiden yararlanmak bu önlemler arasında yer alır (Paolini ve diğ., 2018; Hijazi ve diğ., 2016).

Bu çalışmada gerçekleştirilen YDA çalışması ile sucuk üretiminde yenilenebilir enerji alternatifleri olan jeotermal enerji, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisinin kullanılması ile çevresel etki değerleri açısından birbirine yakın etki sonuçları verdiği ortaya konmuştur. Bu sonuçlar, SKH 7 - *Erişilebilir ve Temiz Enerji* hedefinde öngörülen yenilenebilir enerjiye yatırımın teşvik edilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Jeotermal enerji, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisinin sucuk üretiminde şebeke elektriğinin yerine kullanılması ile çevresel etkilerde önemli

miktarlarda azalmalar elde edilmiştir. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla, jeotermal enerji Afyonkarahisar ili çevresinde sondaj kuyuları ile çıkarılan yerel bir enerji kaynağı olması nedeniyle öne çıktığı gibi istikrarlı ve tutarlı elektrik üretim potansiyeline sahip olması ve aynı zamanda düşük atık çıkarması (Li ve diğ., 2023) açısından da avantajlıdır. Afyonkarahisar İli çevresinde bölgenin jeolojik yapısından kaynaklı mevcut jeotermal enerji kapasitesi de dikkate alındığında sucuk üretiminde şebeke elektriğine alternatif olarak jeotermal enerjinin kullanımı önerilmektedir.

2. Aşama: B- 1 kangal sucuk için hammadde transferinde alternatif kara aracının ve raylı taşımanın ve ürünün pazara dağıtımında alternatif kara aracının kullanılması durumunda bu aşamalar için çevresel etkilerin belirlenmesi ve mevcut duruma göre karşılaştırılması:

Euro standartlarına göre çevresel açıdan (NO_x ve PM için) emisyon miktarlarını azaltan Euro 6 tipi araçların kullanımı senaryosu (TS-1), hammadde transferi aşamasında ÖP (%61,6), AP (%48,1) ve FOP (%15,5) etki kategorilerine gözle görülür oranlarda azalma sağlamıştır. Pazara dağıtım aşamasında da ÖP (%50,5), AP (%43,3) ve OTİP (%12) etki kategorilerinde gözle görülür azalma görülmüştür. Hammadde transferi ve pazara dağıtımını birlikte ele alındığında yine ÖP (%55,1), AP (%45,5), FOP (%12,2) ve OTİP (%7,3) etki kategorilerinde azalma sağlamıştır.

Hammadde transferi aşamasında raylı taşıma sisteminin kullanılması (TS-2) durumunda bu aşama için bütün etki kategorilerinde etkinin büyük oranda (tüm etki kategorilerinde %73,52-%96,41 aralığında) azaldığı saptanmıştır.

Bu sonuçlar transfer senaryoları ile çevresel sürdürülebilirliği iyileştirme amacına yönelik olarak *sorumlu tüketim ve üretime* (SKH 12), *iklim eylemine* (SKH 13) ve *sudaki yaşama* (SKH 14) önemli oranda katkı sağlandığını göstermektedir.

Sonuç olarak, raylı sistem çevresel etki değerlendirmesi dikkate alındığında özellikle soğutma gerekmeyen hammaddelerin transferinde raylı sisteme geçilmesi önerilmektedir. Sucuğun pazara dağıtım aşamasında da Euro 6 tipi araçların kullanımı katkı verecektir.

3. Aşama: Senaryoların tüm sürece dahil edilmesi ile tüm proste toplam çevresel etkilerde meydana gelen değişimlerin değerlendirilmesi:

Senaryoların tüm sürece dahil edilmesi ile toplam etkilerde gerçekleşen % değişimler incelendiğinde en yüksek iyileşme oranları enerji senaryolarının uygulanması ile ATP-fosil etki kategorisinde %45,3-%50,5 ile görülmüştür. Enerji senaryoları ile kayda değer iyileşmenin görüldüğü bir diğer etki kategorisi ise DCEP etki kategorisidir (%33,3-%29,9). OTİP etki

kategorisinde hem enerji senaryoları (%14,9-%17,3) ile hem de transfer senaryoları (TS-2 için %10,4 ve TS-1 için %1,9) ile kayda değer iyileşmeler elde edilmiştir. ATP, KIP, İTP, TSCEP ve ÖP etki kategorilerinde enerji senaryolarında %2,8-%7,4 oranında iyileşme hesaplanmıştır. FOP ve AP etki kategorilerinde jeotermal, rüzgar, güneş enerjisi ve güneş panelleri kullanılan enerji senaryolarında %8,4-%10,7 oranında iyileşme elde edilirken biyogaz enerjisi kullanılan ES-4 senaryosu ile etkilerde artış yani kötüleşme saptanmıştır. ATP-fosil etki kategorisinde de raylı taşıma üzerine kurulu TS-2 senaryosu ile %5 oranında bir iyileşme elde edilmiştir. KIP, İTP, TSCEP, DCEP, FOP, AP ve ÖP etki kategorilerinde transfer senaryolarının etkisi yoktur veya çok düşüktür (<%1). KCEP etki kategorisinde ise alternatif senaryolar ile iyileşme elde edilememiştir.

Sonuç olarak, üretimde kullanılan yenilenemeyen enerji kaynaklı şebeke enerjisi yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile ATP-fosil etki kategorisinde yani *doğal kaynak kullanımında* %50'yi aşan azalma elde edilebilmiştir. Böylelikle, 1 kangal sucuk üretiminde fosil yakıt kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile SKH 12 (*sorumlu tüketim ve üretim*) ve SKH 7 (*erişilebilir ve temiz enerji*) üzerinden çevresel sürdürülebilirlik iyileştirilmiştir.

Doğal kaynak kullanımının yanı sıra *ekosisteme olana etkilerde* FOP ve AP etki kategorilerinde %10'a varan iyileşmeler ile azalma kaydedilmiştir. Böylece, 1 kangal sucuk üretimi için oluşturulan senaryolar ile SKH 13 (*iklim eylemi*) kapsamında iyileştirme elde edilebildiği sonucuna varılmıştır.

Ayrıca, *canlılara etki* kapsamında DCEP etki kategorisinde %33 azalma ile enerji senaryolarının bir başka katkısıdır. SKH 14 (*sudaki yaşam*) ile deniz kirliliğinin tüm biçimlerinin önlenmesi ve önemli ölçüde azaltılması hedeflenmekte olup DCEP için senaryolar ile elde edilen iyileşme ile bu çevresel sürdürülebilirlik hedefine katkıda bulunulmuştur.

4. Aşama: Enerji ve transfer senaryolarının birlikte uygulanması ile elde edilen bütünleşik senaryonun mevcut duruma göre çevresel etkilerinin değerlendirilmesi:

Mevcut duruma göre alternatif enerji ve transfer senaryolarından en iyi iki senaryo seçilip sucuk üretimi için tüm sisteme entegre edildiğinde (jeotermal enerji ve Euro-6 tipi transfer aracı) KCEP etki kategorisi dışındaki on etki kategorisinde azalmalar elde edilmiştir. ATP-fosil etki değerinde %50,4 oranı ile en iyi azalma gözlenirken DCEP'de %33,2; OTİP'de %19,1 ve AP'de %11,2 oranlarında azalmalar gözlenmiştir. Bunun yanı sıra FOP'de %9,6; KIP'de %7,0; ÖP'de %6,4; TSCEP'de %5,9; ATP'de %3,6 ve İTP'de de %2,5 oranlarında azalmalar hesaplanmıştır. Bütünleşik senaryonun uygulanması ile 1 kangal sucuğun üretiminde

çevresel sürdürülebilirlik pek çok SKH kapsamında iyileştirilmiştir. ATP-fosil etki değerinde elde edilen iyileşme ile en yüksek katkı SKH 12 (*sorumlu tüketim ve üretim*) için sağlanırken bunu DCEP ve OTİP etki değerlerindeki azalma sayesinde sırasıyla SKH 14 (*sudaki yaşam*) ve SKH 13 (*iklim eylemi*) takip etmektedir. Bütünleşik senaryo kapsamında yenilenebilir enerjinin araştırılması ve önerilmesi ile de SKH 7 (*erişilebilir ve temiz enerji*) çerçevesinde çevresel sürdürülebilirlik için katkıda bulunulmuştur. Diğer etki kategorilerinde elde edilen iyileşmeler ise yine SKH 3 (*sağlıklı bireyler*), SKH 7 (*erişilebilir ve temiz enerji*), SKH 12 (*sorumlu tüketim ve üretim*), SKH 13 (*iklim eylemi*) ve SKH 14 (*sudaki yaşam*) hedefleri kapsamındadır. Tüm bunların yanı sıra bu tesiste enerji tedarikinde gerçekleştirilmesi öngörülen altyapı değişikliği ile SKH 9'a (*sanayi, yenilikçilik ve altyapı*) katkıda bulunulmuştur.

CML-IA etki analizi metodunun hassasiyet analizinin sonuçları ATP-fosil ve OTİP etki kategorileri için IMPACT 2002+ metodu ile benzer sonuçların elde edilebildiğini göstermiştir. Ayrıca senaryolar ile elde edilen değişimlerin de bu iki etki kategorisinde CML-IA ve IMPACT 2002+ için aynı olduğu görülmüştür. Etki metotlarının karşılaştırılmasında en belirgin farklılık DCEP etki kategorisinde saptanmıştır.

Sonuç olarak bu çalışma, et ve et ürünleri sektörü için Yaşam Döngüsü Analizi ile kütesel olarak sucuk üretiminin çevresel yüklerini belirlemeye yardımcı olmakla birlikte üretim aşamasında harcanan enerji düşünüldüğünde Türkiye'nin daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılmasını ve endüstride daha fazla bu kaynaklardan yararlanılmasını desteklemektedir.

Afyonkarahisar bölgesindeki bir tesis ele alınarak yapılan çalışmada, bölgenin yeraltı enerji kaynakları düşünüldüğünde her ne kadar güneş ve rüzgar enerjileri de şebeke elektriğine iyi bir alternatif olarak benzer sonuçlar verse de jeotermal enerji kullanımı, yerel enerji kaynağı özelliği taşıması sebebiyle iyi bir alternatif oluşturmaktadır.

Ayrıca karayolu taşımacılığına alternatif olarak ülkenin jeolojik yapısının raylı taşıma sistemine uygunluğu da düşünüldüğünde modelleme sonuçları, raylı taşımacılığa yatırımın önemini ortaya koymaktadır. Özellikle çalışması yapılan tesisin yer aldığı bölgenin jeolojik yapısının son derece uygun bir raylı sistem ağı içerisinde yer aldığı da dikkate alınmalıdır.

Hammaddelerin transferi aşamasında, hem Afyonkarahisar bölgesinde hem de incelenen tesisin faaliyet alanı içerisinde yer aldığı OSB'de birçok sucuk üretimi yapan şirket bulunması sebebiyle ortak tedarik zincirinin kurulması ve kullanılması önerilmektedir. Bu sayede Türkiye'nin farklı illerinden bölgeye transfer edilen baharat, ip, bağırsak gibi

hammaddelerin transferinde kullanılan araçların meydana getireceği emisyonlarda azalma sağlanabilecektir.

Ülkemizde yerleşik sucuk tüketimi göz önüne alındığında belki de kabul görmeyecek olan bir başka öneri ise sucuk üretiminin esas olarak çevresel etkisindeki en büyük katkıyı oluşturan sığır eti kullanımı ile ilgili bir takım alternatifler geliştirilmesidir. Bu kapsamda günümüzde bitki bazlı (bezelye, patates vb) (Desiderio ve diğ., 2023) veya yapay et (Heller ve Keoleian, 2018; Khan ve diğ., 2019) bazlı sucuk üretimi öngörülebilir.



KAYNAKLAR

- Abyar, H., Younesi, H., Nowrouzi, M., 2020, Life cycle assessment of A₂O bioreactor for meat processing wastewater treatment: An endeavor toward the achievement of environmental sustainable development, *Journal of Cleaner Production*, 257, 120575.
- Ahmad, S., Wong, K.Y., Rashid, A.F.A., Khan, M., 2023, Environmental impacts and improvement implications for industrial meatballs manufacturing: scenario in a developing country, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1-13. DOI:10.1007/s11367-023-02146-0
- Akın, A.C., Arıkan, M.S., Çevrimli, M.B., 2020, Effect of import decisions in Turkey on the red meat sector, *Mehmet Akif Ersoy Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 5 (2), 83-89.
- Akpulat, O., Baş, D., Demirer, G. N., Alpas, H., Mete, M. H., Keskin, B. A., Dönmez, N., Evren, M. ve Gündoğan, A.C., 2016, *Et ve Et Ürünleri İmalatı Kaynak Verimliliği Rehberi No:2*. Bölgesel Çevre Merkezi REC Türkiye, Ankara.
- Arıkan, M., 2017, *Türkiye’de Coğrafi İşaretili Ürünlerin Kırsal Alana Olan Etkilerinin Üretici Açısından Belirlenmesi: Finike Portakalı Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arrigoni, A., Marveggio, D., Allievi, F., Dotelli, G., Scaccabarozzi, G., 2023, Environmental and health-related external costs of meat consumption in Italy: estimations and recommendations through life cycle assessment, *Science of the Total Environment*, 869, 161773.
- Asem-Hiablíe, S., Battagliese, T., Stackhouse-Lawson, K.R., Rotz, C.,E., 2019, A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24, 441–455.
- Atilgan, B. & Azapagic, A., 2015, Life cycle environmental impacts of electricity from fossil fuels in Turkey, *Journal of Cleaner Production*, 106, 555–564.
- Bengtsson, J. & Seddon, J., 2013, Cradle to retailer or quick service restaurant gate life cycle assessment of chicken products in Australia, *Journal of Cleaner Production*, 41, 291-300.
- Birleşmiş Milletler (BM) Türkiye, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs> , [Ziyaret tarihi: 20 Mart 2024].
- Bonou, A. & Birkved, M., 2016, *LCA of pork products & evaluation of alternative super-chilling techniques*, Technical University of Denmark.

- Boyraz, M., 2019, Coğrafi İşaretli Ürünler: Afyonkarahisar, *International Journal Entrepreneurship and Management Inquiries (Journal EMI) Dergisi*, 3 (4), 26-46.
- Budavari, Z., Szalay, Z., Brown, N., Malmqvist, T., Peuportier, B., Zabalza, I., Krigsvoll, G., Wetzel, C., Cai, X., Staller, H., Tritthart, W., 2011, Indicators and weighting systems, including normalisation of environmental profiles, LoRE-LCA-Deliverable 5.1 Final version, 80 p.
- Cesari, V., Zucali, M., Sandrucci, A., Tamburini, A., Bava, L., Toschi, I., 2016, Environmental impact assessment of an Italian vertically integrated broiler system through a Life Cycle approach, *Journal of Cleaner Production*, 143, 904-911.
- Ceylan, A., 2014, *Bakır Boru Üretiminin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chen, W., Jafarzadeh, S., Thakur, M., Ólafsdóttir, G., Mehta, S., Bogasan, S., Holden, N.M., 2021, Environmental impacts of animal-based food supply chains with market characteristics, *Science of the Total Environment*, 783, 147077.
- Dagevos, H. & Voordouw, J., 2013, Sustainability and meat consumption: is reduction realistic?, *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 9 (2), 60-69.
- Dalmış, Ü., 2007, *Sucukta Üretim ve Depolama Sırasında Meydana Gelen Mikrobiyolojik ve Biyokimyasal Değişmeler*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Da Luz, L. M., De Francisco, A.C., Moro Piekarski, C., Salvador, R., 2018, Integrating life cycle assessment in the product development process: A methodological approach, *Journal of Cleaner Production*, 193, 28-42.
- Da Silva Junior, V.P., Cherubini, E., Soares, S.R., 2012, Comparison of two production scenarios of chickens consumed in France, *8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector*, Rennes, France, 2-4 October 2012.
- Desiderio, E., Shanmugam, K., Ostergren, K., 2023, Plant based meat alternative, from cradle to company-gate: A case study uncovering the environmental impact of the Swedish pea protein value chain, *Journal of Cleaner Production*, 418, 138173.
- Devers, L., Kleynhans, T.E., Mathijs, E., 2012, Comparative life cycle assessment of Flemish and Western Cape pork production, *Agrekon (Agricultural Economics Association of South Africa)*, 51, 105–128.
- Djekic, I., 2015, Environmental impact of meat industry – current status and future perspectives, *Procedia Food Science*, 5, 61 – 64.
- Djekic & Tomasevic, 2016, Environmental impacts of the meat chain - Current status and future perspectives, *Trends in Food Science & Technology* 54, 94-102.

- Dorca-Preda, T., Mogensen, L., Kristensen, T., Knudsen, T.M., 2021, Environmental impact of Danish pork at slaughterhouse gate – a life cycle assessment following biological and technological changes over a 10-year period, *Livestock Science*, 251, 104622.
- Dos Santos, R.A., da Costa, J.S., Maranduba, H.L., de Almeida Neto, J.A., Rodrigues, L.B., 2023, Reducing the environmental impacts of Brazilian chicken meat production using different waste recovery strategies, *Journal of Environmental Management*, 341, 118021.
- Ernst & Young LLP (EY), 2020, Impossible Foods – Impossible Sausage Made from Plants Life Cycle Assessment, October 10, 2020 – Final Report 6.
- FAO, 2019, Technical Platform on the Measurement and Reduction of Food Loss and Waste. <http://www.fao.org/platform-food-loss-waste/food-waste/food-waste-measurement/en/>, [Ziyaret tarihi: 4 Mayıs 2020].
- Ferronato, G., Corrado, S., De Laurentiis, V., Sala, S., 2021, The Italian meat production and consumption system assessed combining material flow analysis and life cycle assessment, *Journal of Cleaner Production*, 321, 128705.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Hirschler, R., Hellweg, S., Humbert, S., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M., Nemecek, T., 2007, *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods*, Ecoinvent Report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- González-García, S., Gomez-Fernández, Z., Dias, A. C., Feijoo, G., Moreira, M.T., Arroja, L., 2014, Life Cycle Assessment of broiler chicken production: a Portuguese case study, *Journal of Cleaner Production*, 74, 125-134.
- Geß A., Tolsdorf A., Ko, N., 2022, A life cycle perspective of lamb meat production systems from Turkey and the EU, *Small Ruminant Research*, 208, 106637.
- Gedik, Y., 2020, Sosyal, Ekonomik ve Çevresel Boyutlarla Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma, *International Journal of Economics, Politics, Humanities & Social Sciences*, 3, 3, e-ISSN: 2636-8137.
- Guinée, J.B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A., 2001, Life Cycle Assessment: an Operational Guide to the ISO Standards, *Centre of Environmental Science*, Leiden, The Netherlands.
- Güler, E., 2023, Afyon sucuğu, Türkiye Turizm Ansiklopedisi. <https://turkiyeturizmansiklopedisi.com/afyon-sucugu>, [Ziyaret tarihi: 31 Aralık 2023].
- Heller, M.C. & Keoleian, G.A., 2018, *Beyond Meat's Beyond Burger Life Cycle Assessment: A detailed comparison between a plant-based and an animal-based protein source*, Report No. CSS18-10 September 14, 2018, Center for Sustainable Systems University of Michigan.
- Hijazi, O., Munro, S., Zerhusen, B., Effenberger, M., 2016, Review of life cycle assessment for biogas production in Europe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1291–130.

- Hoekstra, A.Y., 2017, Water footprint assessment: Evolvment of a new research field, *Water Resour Manage*, 31, 3061–3081.
- Houshyar, S., Fehrest-Sani, M., Ardakani, A.F., Sani, M.B., Cotton, M., 2023, Comparison of sustainability in livestock supply chain, *Environment, Development and Sustainability*, <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03538-w>
- Huerta, A.R., Güereca, L.P., De la Salud Rubio Lozano, M., 2016, Environmental impact of beef production in Mexico through life cycle assessment. Resources, *Conservation and Recycling*, 109, 44-53.
- Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., Van Zelm, R., 2017, ReCiPe2016: A harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22, 138–147.
- ISO, 2006a. Environmental management-Life cycle assessment - principles and framework ISO 14040, Geneva, Switzerland, 1-20.
- ISO, 2006b. Environmental management-Life cycle assessment - requirements and guidelines, ISO 14044, Geneva, Switzerland, 1-46.
- Iswara, A.P., Farahdiba, A.U., Nadhifatin, E.N., Pirade, F., Andhikaputra, G., Mufliah, I., Boedisantoso, R., 2020, A Comparative Study of Life Cycle Impact Assessment using Different Software Programs, *Earth and Environmental Science*, 506, 012002.
- Kadioğlu, S. ve Söylemez Kaya, P., 2022, Çevresel ve Sağlıklı Beslenme: Sürdürülebilir Diyetler, *Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi, Journal of Samsun Health Sciences*, e-ISSN: 2458-8857, 7(1): 29-46.
- Kalhor, T., Rajabipour, A., Akram, A., Sharifi, M., 2016, Environmental impact assessment of chicken meat production using life cycle assessment, *Information Processing in Agriculture*, 3 (4), 262-271.
- Kanta M.E.S., 2019, *Environmental Impact Assessment Of Meat Product In Greece*, Master of Science (MSc) in Environmental Management and Sustainability, International Hellenic University, Thessaloniki-Greece.
- Kart, N., Saraç, Ö., Pamukçu, H., Sandıkcı, M., 2022, Afyon Sucuğu Üreticilerinin Sürdürülebilir Gastronomi Kapsamında Coğrafi İşaret Tesciline Yönelik Algıları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24 (1), 381-404.
- Khan, S., Dettling, J., Hester, J., Moses, R., 2019, Comparative Environmental LCA of the Impossible Burger with Conventional Ground Beef Burger, Final Report, https://assets.ctfassets.net/hhv516v5f7sj/4exF7Ex74UoYku640WSF3t/cc213b148ee80fa2d8062e430012ec56/Impossible_foods_comparative_LCA.pdf

- Kurt, A., 2012, *Fermente Sucuk Üretiminde Kuru İncir ve Taze Siyah İncir Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Küçükkaraca, B. & Barutçu, B., 2022, Life Cycle Assessment of Wind Turbine in Turkey, *Balkan Journal Of Electrical&Computer Engineering*, 10, 3.
- Li, S., Qin, Y., Subbiah, J., Dvorak, B., 2020, Life Cycle Assessment of the US Beef Processing through Integrated Hybrid Approach, *Journal of Cleaner Production*, 265, 121813.
- Lopez-Andres, J.J., Aguilar-Lasserre, A.A., Morales-Mendoza, L.F., Azzaro-Pantel, C., Perez-Gallardo, J.R., Rico-Contreras, J.O., 2018, Environmental impact assessment of chicken meat production via an integrated methodology based on LCA, simulation and genetic algorithms, *Journal of Cleaner Production*, 174, 477-491.
- Matthews, H.S., Hendrickson, C.T., Matthews, D.H., 2020, *Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi: Önemli Kararlar İçin Nicel Yaklaşımlar*, Akademisyen kitapevi, Ankara, ISBN:978-605-258-851-2.
- Mazzetto, A.M., Falconer, S., Ledgard, S., 2023, Carbon footprint of New Zealand beef and sheep meat exported to different markets, *Environmental Impact Assessment Review*, 98, 106946.
- McAuliffe, G.A., Chapman, D.V., Sage, C.L., 2016, A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production, *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 12–22.
- MfE, 2020. New Zealand's Greenhouse Gas Inventory 1990–2018. NZ Ministry of the Environment Report, Wellington, New Zealand. Available at. <https://www.mfe.govt.nz/publications/climate-change/new-zealands-greenhouse-gas-inventory-1990-2018>.
- Mogensen, L., Nguyen, T.L.T., Madsen, N.T., Pontoppidan, O., Preda, T., Hermansen, J.E., 2016, Environmental impact of beef sourced from different production systems - focus on the slaughtering stage: input and output, *Journal of Cleaner Production*, 133, 284-293.
- Moreno, A., Cappellaro, F., Masoni, P., Amato, A., 2011, Application of product data technology standards to LCA data, *Journal of Industrial Ecology*, 15 (4), 483-495.
- Nguyen, T.L.T., Hermansen, J.E., Mogensen, L., 2010, Environmental consequences of different beef production systems in the EU, *Journal of Cleaner Production*, 18 (8), 756-66.
- Noya, I., Aldea, X., González-García, S., Gasol, C.M., Moreira, M.T., Amores, M.J., Marín, D., Boschmonart-Rives, J., 2017, Environmental assessment of the entire pork value chain in Catalonia – A strategy to work towards circular economy, *Science of the Total Environment*, 589, 122–129.
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B., Steinfeld, H., 2013, Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains – A global life cycle assessment, *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, Rome, E-ISBN 978-92-5-107945-4.

- ORAN Kalkınma Ajansı, 2020, Et Entegre Tesisi Yatırım Fizibilitesi, Guide to citing internet sources, <http://www.oran.org.tr/tr/kurumsal/dokuman-merkezi/yatirim-destek>, [Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2020].
- Öven, D.C., 2017, *Sucukların Bazı Fizikokimyasal ve Tekstürel Özellikleri Üzerine Farklı Yağ Oranlarının Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öztan, A., 2010, Et Bilimi ve Teknolojisi, TMMOB Gıda Mühendisleri Odası 7. Baskı, Ankara, Türkiye.
- Paolini, V., Petracchini, F., Segreto, M., Tomassetti, L., Naja, N., Cecinato, A., 2018, Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge, *Journal of Environmental Science and Health*, 53 (10), 899-906.
- Pazmiño, M.L. & Ramirez, A.D., 2021, Life cycle assessment as a methodological framework for the evaluation of the environmental sustainability of pig and pork production in Ecuador, *Sustainability*, 13, 11693.
- Pelletier, N., Pirog, R., Rasmussen, R., 2010, Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States, *Agricultural Systems*, 103, 380–389.
- Perez-Martinez, M.M., Noguerol, R., Casales, B.I., Lois, R., Soto, B., 2018, Evaluation of environmental impact of two ready-to-eat canned meat products using Life Cycle Assessment, *Journal of Food Engineering*, 237, 118-127.
- PRé. various authors, SimaPro Database Manual Methods Library, SimaPro software, version 9.1.1.7, 2020.
- Presumido, P.H., Sousa, F., Gonçalves, A., Dal Bosco, T.C., Feliciano, M., 2018, Environmental impacts of the beef production chain in the northeast of Portugal using life cycle assessment, *Agriculture*, 8, 165.
- Putman, B., Rotz, C.A., Thoma, G., 2023, A comprehensive environmental assessment of beef production and consumption in the United States, *Journal of Cleaner Production*, 402, 136766.
- Qalase, C. & Harding, K.G., 2022, Eco-efficiency assessment of pork production through life-cycle assessment and product system value in South Africa, *E3S Web of Conferences*, 349, 13002.
- Reckmann, K., Traulsen, I., Krieter, J., 2013, Life cycle assessment of pork production: a data inventory for the case of Germany, *Livestock Science*, 157: 586–596.
- Reyes, Y.A., Barrera, E.L., Valle, A.S., Gil, M.P., García, O.H., Dewulf, J., 2019, Life Cycle Assessment for the Cuban pig production: Case study in Sancti Spiritus, *Journal of Cleaner Production*, 219, 99-109.

- Saerens, W., Smetana, S., Campenhout, L.V., Lammers, V., Heinz, V., 2021, Life cycle assessment of burger patties produced with extruded meat substitutes, *Journal of Cleaner Production*, 306, 127177.
- Saget, S., Costa, M.P., Santos, C.S., Vasconcelos, M., Styles, D., Williams, M., 2021, Comparative life cycle assessment of plant and beef-based patties, including carbon opportunity costs, *Sustainable Production and Consumption*, 28, 936–952.
- Santonja, G., Karlis, P., Stubdrup, K.R., Brinkmann, T., Roudier, S., 2019, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control).
- Schaefer, A. & Crane, A., 2005, Addressing sustainability and consumption, *Journal of Macromarketing*, 25, 76-92.
- Schischke, K. & Spielmann, M., 2001, Environmental assessment in production of electronic components- Possibilities and obstacles of LCA methodology, *13th Discussion Forum on Life Cycle Assessment, Environmental Impacts of Telecommunication System and Services, 25 April 2001*, EPF-Lausanne.
- Skunca, D., Tomasevic, I., Djekic, I., 2016, Environmental performance of the poultry meat chain-LCA approach, *Procedia Food Science*, 5: 258-261.
- Skunca, D., Tomasevic, I., Nastasijevic, I., Tomovic, V., Djekic, I., 2018, Life cycle assessment of the chicken meat chain, *Journal of Cleaner Production*, 184, 440-450.
- Smetana, S., Profeta, A., Voigt, R., Kirche, C., Heinz, V., 2021, Meat substitution in burgers: nutritional scoring, sensorial testing and Life Cycle Assessment, *Future Foods*, 4, 100042.
- Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A., Heinz, V., 2015, Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 1254–1267.
- Thoma, G., Putman, B., Matlock, M., Popp, J. and English, L., 2017, Sustainability Assessment of U.S. Beef Production Systems, Resilience Services, PLLC and the University of Arkansas.
- Tsutsumi, M., Ono, Y., Ogasawara, H., Hojito, M., 2018, Life-cycle impact assessment of organic and non-organic grass-fed beef production in Japan, *Journal of Cleaner Production*, 172, 2513-2520.
- TÜİK, 2022a, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara. Haber Bülteni, Yayın Tarihi: 06.05.2022, Sayı: 45621 <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kirmizi-Et-UretimIstatistikleri-2020-2021-45671>, [Ziyaret tarihi: 19 Ocak 2023].

- TÜİK, 2022b, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara. Haber Bülteni, Yayın Tarihi: 06.12.2023, Sayı: 49696, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kirmizi-Et-Uretim-Istatistikleri-2022-49696>, [Ziyaret tarihi: 19 Ocak 2023].
- TÜİK, 2019, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara. Haber Bülteni, Yayın Tarihi: 24.07.2020, Sayı: 33600, [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Sanayi-Urun-\(PRODCOM\)-Istatistikleri-2019-33600](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Sanayi-Urun-(PRODCOM)-Istatistikleri-2019-33600), [Ziyaret tarihi: 19 Ocak 2023].
- TÜİK, 2020, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara. *Çevre ve Enerji İstatistikleri, Haber Bülteni*, Yayın Tarihi: 24.07.2020, Sayı: 33600, [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Sanayi-Urun-\(PRODCOM\)-Istatistikleri-2019-33600](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Sanayi-Urun-(PRODCOM)-Istatistikleri-2019-33600), [Ziyaret tarihi: 19 Ocak 2023].
- Türk Patent ve Marka Kurumu, 2021, Afyon sucuğu coğrafi işaret tescil belgesi. <https://ci.turkpatent.gov.tr/cograf-iisaretler/detay/37934>, [Ziyaret tarihi: 31 Aralık 2023].
- United State Environmental Protection Agency (USEPA), 2006, Life Cycle Assessment: Principles and Practice, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, Ohio.
- Winkler, T., Schopf, K., Aschemann, R., Winiwarter, W., 2016, From farm to fork e A life cycle assessment of fresh Austrian pork, *Journal of Cleaner Production*, 116, 80-89.
- Yıldırım Söylemez, E., Dil Şahin, M., Koç, Y.D., 2016, Sürdürülebilir Üretim ve Tüketicinin Benimsenmesinde Karşılaşılan Engellerin Değerlendirilmesi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi Afro-Avrasya Özel Sayısı-Aralık 2016.
- Yıldırım, Y., 1998, Et Teknolojileri, Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Yayınları, Bursa.
- Villavicencio-Gutiérrez, M.R., Rogers-Montoya, N.A., Martínez-Campos, R., Gómez-Tenorio, G., Martínez-Castañeda, F.E., 2022, The environmental performance of different pork production scenarios: A life cycle assessment study, *Tropical Animal Health and Production*, 54, 44.
- Zira, S., Rydhmer, L., Ivarsson, E., Hoffmann, R., Röös, E., 2021, A life cycle sustainability assessment of organic and conventional pork supply chains in Sweden, *Sustainable Production and Consumption*, 28, 21–38.

EKLER

EK 1 . Sucuk üretiminin ATP'ye etki eden yaşam döngüsü etki analizi envanter sonuçları.

Hesaplama:	Karşılaştırma												
Sonuçlar:	Envanter												
Faktör 1:	Hammadde ve transferi												
Faktör 2:	Kesim												
Faktör 3:	Soğutma												
Faktör 4:	Kıyma												
Faktör 5:	Mikser												
Faktör 6:	Dolum												
Faktör 7:	Fırınlama												
Faktör 8:	Duşlama												
Faktör 9:	Pazara dağıtım												
Metot:	CML-IA baseline V3.06 / EU25												
İndikatör:	Karakterizasyon												
Bölüm:	Tüm bölümler												
Kategori:	ATP												
Kesme kriteri (Cut-off):	%1												
Altyapı süreçlerini hariç tut:	Evet												
Uzun vadeli emisyonları hariç tut:	Hayır												
Öğeye göre sıralandı:	Madde												
Sıralama düzeni:	Artan												
No	Madde	Bölüm	Alt bölüm	Birim	Hammadde ve transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara dağıtım
	Tüm bölümlerin toplamı			kg Sb eşd.	3,79E-05	6,90E-08	1,22E-06	8,40E-09	3,85E-09	2,55E-08	4,10E-08	6,68E-10	5,17E-08
	Geriye kalanlar			kg Sb eşd.	1,20E-06	7,31E-10	1,22E-08	8,36E-11	3,83E-11	2,54E-10	4,08E-10	6,99E-11	3,69E-09
1	Altın	Hammadde	Toprak	kg Sb eşd.	3,63E-05	6,75E-08	1,20E-06	8,23E-09	3,76E-09	2,49E-08	4,02E-08	5,91E-10	4,75E-08
2	Kurşun	Hammadde	Toprak	kg Sb eşd.	4,27E-07	7,70E-10	1,36E-08	9,35E-11	4,28E-11	2,83E-10	4,56E-10	6,95E-12	5,49E-10

EK 2. Sucuk üretiminin ATP-fosil'e etki eden yaşam döngüsü etki analizi envanter sonuçları.

Hesaplama:	Karşılaştırma
Sonuçlar:	Envanter
Faktör 1:	Hammadde ve transferi
Faktör 2:	Kesim
Faktör 3:	Soğutma
Faktör 4:	Kıyma
Faktör 5:	Mikser
Faktör 6:	Dolum
Faktör 7:	Fırınlama
Faktör 8:	Duşlama
Faktör 9:	Pazara dağıtım
Metot:	CML-IA baseline V3.06 / EU25
İndikatör:	Karakterizasyon
Bölüm:	Tüm bölümler
Kategori:	ATP-fosil
Kesme kriteri:	%1
Altyapı süreçlerini hariç tut:	Evet
Uzun vadeli emisyonları hariç tut:	Hayır
Öğeye göre sıralandı:	Madde
Sıralama düzeni:	Artan

No	Madde	Bölüm	Alt bölüm	Birim	Hammadde ve transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara dağıtım
	Tüm bölümlerin toplamı			MJ	1,04E+01	5,73E-01	1,11E+01	7,66E-02	3,51E-02	2,32E-01	3,74E-01	1,53E-03	1,74E+00
	Geriye kalanlar			MJ	2,29E-02	2,75E-03	5,44E-02	3,74E-04	1,71E-04	1,13E-03	1,83E-03	4,26E-06	4,88E-04
1	Linyit	Hammadde	Toprak	MJ	2,34E-01	1,70E-01	3,43E+00	2,36E-02	1,08E-02	7,16E-02	1,15E-01	1,37E-04	5,63E-03
2	Taş kömürü	Hammadde	Toprak	MJ	1,50E+00	1,66E-01	3,29E+00	2,27E-02	1,04E-02	6,87E-02	1,11E-01	2,67E-04	6,21E-02
3	Doğalgaz/m3	Hammadde	Toprak	MJ	2,56E+00	2,08E-01	4,12E+00	2,84E-02	1,30E-02	8,60E-02	1,38E-01	5,91E-04	1,35E-01
4	Ham petrol	Hammadde	Toprak	MJ	6,10E+00	2,58E-02	2,37E-01	1,63E-03	7,45E-04	4,94E-03	7,94E-03	5,28E-04	1,54E+00

EK 3. Sucuk üretiminin KIP'ye etki eden yaşam döngüsü etki analizi envanter sonuçları.

Hesaplama:	Karşılaştırma
Sonuçlar:	Envanter
Faktör 1:	Hammadde ve transferi
Faktör 2:	Kesim
Faktör 3:	Soğutma
Faktör 4:	Kıyma makinesi
Faktör 5:	Mikser
Faktör 6:	Sucuk dolumu
Faktör 7:	Fırınlama
Faktör 8:	Duşlama
Faktör 9:	Pazara dağıtım
Metot:	CML-IA baseline V3.06 / EU25
İndikatör:	Karakterizasyon
Bölüm:	Tüm bölümler
Kategori:	KIP
Kesme kriteri:	%1
Altyapı süreçlerini hariç tut:	Evet
Uzun vadeli emisyonları hariç tut:	Hayır
Öğeye göre sıralandı:	Madde
Sıralama düzeni:	Artan

No	Madde	Bölüm	Alt bölüm	Birim	Hammadde ve transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara dağıtım
	Tüm bölümlerin toplamı			kg CO ₂ eşd.	1,43E+01	5,18E-02	1,03E+00	7,11E-03	3,25E-03	2,16E-02	3,47E-02	1,18E-04	1,23E-01
	Geriye kalanlar			kg CO ₂ eşd.	3,64E-02	2,46E-03	4,80E-02	3,30E-04	1,51E-04	1,00E-03	1,61E-03	6,02E-06	9,71E-03
1	Karbondioksit, fosil	Hava		kg CO ₂ eşd.	2,40E-01	2,72E-04	4,63E-03	3,18E-05	1,46E-05	9,66E-05	1,55E-04	2,32E-05	9,81E-02
2	Karbondioksit, fosil	Hava	Yüksek popülasyon (pop.)	kg CO ₂ eşd.	1,61E-01	9,70E-04	1,29E-02	8,84E-05	4,05E-05	2,68E-04	4,32E-04	1,57E-05	4,53E-03
3	Karbondioksit, fosil	Hava	Düşük pop.	kg CO ₂ eşd.	6,35E-01	4,72E-02	9,51E-01	6,54E-03	2,99E-03	1,98E-02	3,19E-02	7,25E-05	9,85E-03
4	Karbondioksit, arazi dönüşümü	Hava	Düşük pop.	kg CO ₂ eşd.	3,22E-01	4,96E-04	1,00E-02	6,89E-05	3,15E-05	2,09E-04	3,36E-04	1,91E-07	2,64E-05
5	Diazotmonoksit	Hava	Yüksek pop.	kg CO ₂ eşd.	1,60E-01	1,85E-05	3,57E-04	2,45E-06	1,12E-06	7,45E-06	1,20E-05	1,99E-07	6,76E-05

6	Diazotmonoksit	Hava	Düşük pop.	kg CO ₂ eşd.	3,48E+00	2,19E-04	4,40E-03	3,03E-05	1,38E-05	9,18E-05	1,48E-04	3,28E-07	7,28E-05
7	Metan, biyogenik	Hava	Düşük pop.	kg CO ₂ eşd.	9,30E+00	1,50E-04	3,02E-03	2,07E-05	9,49E-06	6,29E-05	1,01E-04	1,40E-07	1,01E-04

EK 4. Sucuk üretiminin OTİP'ye etki eden yaşam döngüsü etki analizi envanter sonuçları.

Hesaplama:	Karşılaştırma
Sonuçlar:	Envanter
Faktör 1:	Hammadde ve transferi
Faktör 2:	Kesim
Faktör 3:	Soğutma
Faktör 4:	Kıyma
Faktör 5:	Mikser
Faktör 6:	Dolum
Faktör 7:	Fırınlama
Faktör 8:	Duşlama
Faktör 9:	Pazara dağıtım
Metot:	CML-IA baseline V3.06 / EU25
İndikator:	Karakterizasyon
Bölüm:	Tüm bölümler
Kategori:	OTİP
Kesme kriteri:	%1
Altyapı süreçlerini hariç tut:	Evet
Uzun vadeli emisyonları hariç tut:	Hayır
Öğeye göre sıralandı:	Madde

Sıralama düzeni:	Artan												
No	Madde	Bölüm	Alt bölüm	Birim	Hammadde ve transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara dağıtım
	Tüm bölümlerin toplamı			kg CFC-11 eşd.	1,01E-07	1,24E-09	2,36E-08	1,62E-10	7,43E-11	4,92E-10	7,93E-10	1,12E-11	2,43E-08
	Geriye kalanlar			kg CFC-11 eşd.	6,55E-10	2,89E-11	3,77E-10	2,59E-12	1,19E-12	7,86E-12	1,26E-11	4,71E-13	6,82E-10
1	Triklorotrifloroetan, CFC-113	Hava		kg CFC-11 eşd.	2,25E-13	3,84E-16	6,80E-15	4,68E-17	2,14E-17	1,42E-16	2,28E-16	6,79E-18	4,31E-09
2	1,2-Diklorotetrafloroetan, CFC-114	Hava	Düşük. pop.	kg CFC-11 eşd.	3,84E-09	8,22E-11	1,63E-09	1,12E-11	5,13E-12	3,40E-11	5,48E-11	1,53E-12	9,87E-11
3	Bromoklorodiflorometan, Halon 1211	Hava	Düşük pop.	kg CFC-11 eşd.	8,32E-09	5,09E-11	8,75E-10	6,01E-12	2,75E-12	1,82E-11	2,94E-11	1,73E-12	1,20E-10
4	Bromotriflorometan, Halon 1301	Hava	Düşük pop.	kg CFC-11 eşd.	8,50E-08	1,04E-09	2,07E-08	1,42E-10	6,51E-11	4,32E-10	6,95E-10	7,32E-12	1,90E-08
5	Tetraklorometan, CFC-10	Hava	Yüksek pop.	kg CFC-11 eşd.	3,42E-09	4,13E-11	3,44E-11	2,36E-13	1,08E-13	7,17E-13	1,15E-12	1,94E-13	4,09E-11

EK 5. Sucuk üretiminin İTP'ye etki eden yaşam döngüsü etki analizi envanter sonuçları.

Hesaplama:	Karşılaştırma
Sonuçlar:	Envanter
Faktör 1:	Hammadde ve transferi
Faktör 2:	Kesim
Faktör 3:	Soğutma
Faktör 4:	Kıyma
Faktör 5:	Mikser
Faktör 6:	Dolum
Faktör 7:	Fırınlama
Faktör 8:	Duşlama
Faktör 9:	Pazara dağıtım
Metot:	CML-IA baseline V3.06 / EU25
İndikatör:	Karakterizasyon
Bölüm:	Tüm bölümler
Kategori:	İTP

Kesme kriteri:	%1												
Altyapı süreçlerini hariç tut:	Evet												
Uzun vadeli emisyonları hariç tut:	Hayır												
Öğeye göre sıralandı:	Madde												
Sıralama düzeni:	Artan												
No	Madde	Bölüm	Alt bölüm	Birim	Hammadde ve transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara dağıtım
	Tüm bölümlerin toplamı			kg 1,4-DB eşd.	1,57E+01	2,26E-02	4,50E-01	3,09E-03	1,42E-03	9,38E-03	1,51E-02	5,55E-05	2,18E-02
	Geriye kalanlar			kg 1,4-DB eşd.	2,85E-01	1,43E-02	2,83E-01	1,95E-03	8,91E-04	5,90E-03	9,50E-03	4,70E-05	2,09E-02
1	Kadmiyum	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	2,77E+00	4,08E-08	6,31E-07	4,34E-09	1,99E-09	1,32E-08	2,12E-08	1,10E-09	2,45E-06
2	Bakır	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	8,83E-01	3,57E-09	5,57E-08	3,83E-10	1,75E-10	1,16E-09	1,87E-09	7,43E-11	1,01E-07
3	Kurşun	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	4,14E+00	4,71E-08	7,45E-07	5,12E-09	2,34E-09	1,55E-08	2,50E-08	9,86E-10	2,47E-06
4	Nikel	Toprak	zirai	kg 1,4-DB eşd.	4,88E+00	2,53E-08	3,95E-07	2,72E-09	1,24E-09	8,24E-09	1,33E-08	6,16E-10	1,69E-06
5	Selenyum	Su	Yeraltı suyu, uzun vadeli	kg 1,4-DB eşd.	2,19E-02	8,29E-03	1,67E-01	1,15E-03	5,25E-04	3,48E-03	5,60E-03	8,44E-06	8,61E-04
6	Çinko	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	2,76E+00	1,70E-08	2,61E-07	1,79E-09	8,21E-10	5,44E-09	8,76E-09	4,43E-10	1,54E-07

EK 6. Sucuk üretiminin TSCEP'ye etki eden yaşam döngüsü etki analizi envanter sonuçları.

Hesaplama:	Karşılaştırma
Sonuçlar:	Envanter
Faktör 1:	Hammadde ve transferi
Faktör 2:	Kesim
Faktör 3:	Soğutma
Faktör 4:	Kıyma
Faktör 5:	Mikser
Faktör 6:	Dolum
Faktör 7:	Fırınlama
Faktör 8:	Duşlama

Faktör 9: Pazara dağıtım

Metot: CML-IA baseline V3.06 / EU25

İndikatör: Karakterizasyon

Bölüm: Tüm bölümler

Kategori: TSCEP

Kesme kriteri: %1

Altyapı süreçlerini hariç tut:

Evet

Uzun vadeli emisyonları hariç tut:

Hayır

Ögeye göre sıralandı:

Madde

Sıralama düzeni:

Artan

No	Madde	Bölüm	Alt bölüm	Birim	Hammadde ve transferi	Kesim	Soğutma	Kırma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara dağıtım
	Tüm bölümlerin toplamı			kg 1,4-DB eşd.	1,12E+01	3,08E-02	6,19E-01	4,26E-03	1,95E-03	1,29E-02	2,08E-02	5,15E-05	5,36E-03
	Geriye kalanlar			kg 1,4-DB eşd.	4,16E-01	1,01E-02	2,01E-01	1,38E-03	6,33E-04	4,19E-03	6,75E-03	2,82E-05	2,96E-03
1	Berilyum	Su	Yeraltı suyu, uzun vadeli	kg 1,4-DB eşd.	2,82E-02	6,59E-03	1,32E-01	9,11E-04	4,17E-04	2,76E-03	4,44E-03	8,69E-06	1,12E-03
2	Bakır	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	5,59E+00	2,26E-08	3,53E-07	2,43E-09	1,11E-09	7,36E-09	1,19E-08	4,71E-10	6,40E-07
3	Nikel	Su	Yeraltı suyu, uzun vadeli	kg 1,4-DB eşd.	4,19E-02	1,42E-02	2,85E-01	1,96E-03	8,98E-04	5,95E-03	9,57E-03	1,46E-05	1,28E-03
4	Nikel	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	3,08E+00	1,60E-08	2,49E-07	1,71E-09	7,84E-10	5,20E-09	8,37E-09	3,88E-10	1,06E-06
5	Çinko	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	2,06E+00	1,27E-08	1,95E-07	1,34E-09	6,15E-10	4,08E-09	6,56E-09	3,32E-10	1,15E-07

EK 7. Sucuk üretiminin DCEP’ye etki eden yaşam döngüsü etki analizi envanter sonuçları.

Hesaplama:	Karşılaştırma												
Sonuçlar:	Envanter												
Faktör 1:	Hammadde ve transferi												
Faktör 2:	Kesim												
Faktör 3:	Soğutma												
Faktör 4:	Kıyma												
Faktör 5:	Mikser												
Faktör 6:	Dolum												
Faktör 7:	Fırınlama												
Faktör 8:	Duşlama												
Faktör 9:	Pazara dağıtım												
Metot:	CML-IA baseline V3.06 / EU25												
İndikatör:	Karakterizasyon												
Bölüm:	Tüm bölümler												
Kategori:	DCEP												
Kesme kriteri:	%1												
Altyapı süreçlerini hariç tut:	Evet												
Uzun vadeli emisyonları hariç tut:	Hayır												
Öğeye göre sıralandı:	Madde												
Sıralama düzeni:	Artan												
No	Madde	Bölüm	Alt bölüm	Birim	Hammadde ve transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara dağıtım
	Tüm bölümlerin toplamı			kg 1,4-DB eşd.	4,25E+03	9,50E+01	1,91E+03	1,31E+01	6,01E+00	3,98E+01	6,41E+01	1,33E-01	1,79E+01
	Geriye kalanlar			kg 1,4-DB eşd.	8,17E+01	4,35E+00	8,55E+01	5,88E-01	2,69E-01	1,78E+00	2,87E+00	1,21E-02	4,54E+00
1	Berilyum	Su	Yeraltı suyu, uzun vadeli	kg 1,4-DB eşd.	1,66E+02	3,89E+01	7,82E+02	5,38E+00	2,46E+00	1,63E+01	2,62E+01	5,13E-02	6,61E+00
2	Kobalt	Su	Yeraltı suyu, uzun vadeli	kg 1,4-DB eşd.	1,33E+01	4,41E+00	8,88E+01	6,10E-01	2,79E-01	1,85E+00	2,98E+00	4,95E-03	3,91E-01
3	Bakır	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	1,13E+03	4,56E-06	7,12E-05	4,90E-07	2,24E-07	1,49E-06	2,39E-06	9,49E-08	1,29E-04

4	Hidrojen florür	Hava	Yüksek pop.	kg 1,4-DB eşd.	1,55E+02	1,05E-01	8,68E-01	5,97E-03	2,73E-03	1,81E-02	2,91E-02	4,80E-04	4,05E-01
5	Hidrojen florür	Hava	Yüksek pop.	kg 1,4-DB eşd.	2,03E+02	3,00E+01	6,04E+02	4,15E+00	1,90E+00	1,26E+01	2,03E+01	4,09E-02	3,78E+00
6	Nikel	Su	Yeraltı suyu, uzun vadeli	kg 1,4-DB eşd.	2,91E+01	9,83E+00	1,98E+02	1,36E+00	6,23E-01	4,13E+00	6,65E+00	1,01E-02	8,89E-01
7	Nikel	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	2,13E+03	1,11E-05	1,73E-04	1,19E-06	5,43E-07	3,60E-06	5,79E-06	2,69E-07	7,37E-04
8	Selenyum	Su	Yeraltı suyu, uzun vadeli	kg 1,4-DB eşd.	9,90E+00	3,74E+00	7,54E+01	5,18E-01	2,37E-01	1,57E+00	2,53E+00	3,81E-03	3,89E-01
9	Vanadyum	Su	Yeraltı suyu, uzun vadeli	kg 1,4-DB eşd.	1,81E+01	3,71E+00	7,42E+01	5,10E-01	2,34E-01	1,55E+00	2,49E+00	9,66E-03	8,69E-01
10	Çinko	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	3,12E+02	1,92E-06	2,95E-05	2,03E-07	9,30E-08	6,16E-07	9,91E-07	5,02E-08	1,74E-05

EK 8. Sucuk üretiminin KCEP'ye etki eden yaşam döngüsü etki analizi envanter sonuçları.

Hesaplama:	Karşılaştırma
Sonuçlar:	Envanter
Faktör 1:	Hammadde ve transferi
Faktör 2:	Kesim
Faktör 3:	Soğutma
Faktör 4:	Kıyma
Faktör 5:	Mikser
Faktör 6:	Dolum
Faktör 7:	Fırınlama
Faktör 8:	Duşlama
Faktör 9:	Pazara dağıtım
Metot:	CML-IA baseline V3.06 / EU25
İndikatör:	Karakterizasyon
Bölüm:	Tüm bölümler
Kategori:	KCEP
Kesme kriteri:	%1
Altyapı süreçlerini hariç tut:	Evet

Uzun vadeli emisyonları hariç tut: Ögeye göre sıralandı: Sıralama düzeni: Hayır Madde Artan													
No	Madde	Bölüm	Alt bölüm	Birim	Hammadde ve transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara dağıtım
	Tüm bölümlerin toplamı			kg 1,4-DB eşd.	1,74E+00	6,21E-05	1,17E-03	8,04E-06	3,68E-06	2,44E-05	3,92E-05	9,54E-08	7,52E-05
	Geriye kalanlar			kg 1,4-DB eşd.	2,90E-03	6,21E-05	1,17E-03	8,04E-06	3,68E-06	2,44E-05	3,92E-05	9,48E-08	6,61E-05
1	Kadmiyum	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	2,36E-02	3,48E-10	5,38E-09	3,70E-11	1,69E-11	1,12E-10	1,80E-10	9,34E-12	2,09E-08
2	Bakır	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	1,35E-01	5,47E-10	8,55E-09	5,88E-11	2,69E-11	1,78E-10	2,87E-10	1,14E-11	1,55E-08
3	Sipermetrin	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	3,28E-02	8,05E-09	1,24E-07	8,52E-10	3,90E-10	2,58E-09	4,16E-09	3,09E-10	8,82E-06
4	Kurşun	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	4,10E-02	4,67E-10	7,38E-09	5,08E-11	2,32E-11	1,54E-10	2,48E-10	9,77E-12	2,44E-08
5	Nikel	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	4,35E-01	2,26E-09	3,53E-08	2,42E-10	1,11E-10	7,35E-10	1,18E-09	5,49E-11	1,51E-07
6	Çinko	Toprak	Zirai	kg 1,4-DB eşd.	1,06E+00	6,55E-09	1,01E-07	6,93E-10	3,17E-10	2,10E-09	3,38E-09	1,71E-10	5,95E-08

EK 9. Sucuk üretiminin FOP'ye etki eden yaşam döngüsü etki analizi envanter sonuçları.

Hesaplama:	Karşılaştırma
Sonuçlar:	Envanter
Faktör 1:	Hammadde ve transferi
Faktör 2:	Kesim
Faktör 3:	Soğutma
Faktör 4:	Kıyma
Faktör 5:	Mikser
Faktör 6:	Dolum
Faktör 7:	Fırınlama
Faktör 8:	Duşlama
Faktör 9:	Pazara dağıtım
Metot:	CML-IA baseline V3.06/EU25

İndikatör:	Karakterizasyon												
Bölüm:	Tüm bölümler												
Kategori:	FOP												
Kesme kriteri:	%1												
Altyapı süreçlerini hariç tut:	Evet												
Uzun vadeli emisyonları hariç tut:	Hayır												
Öğeye göre sıralandı:	Madde												
Sıralama düzeni:	Artan												
No	Madde	Bölüm	Alt bölüm	Birim	Hammadde ve transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara dağıtım
	Tüm bölümlerin toplamı			kg C ₂ H ₄ eşd.	2,25E-03	1,06E-05	2,10E-04	1,44E-06	6,60E-07	4,37E-06	7,04E-06	2,10E-08	1,48E-05
	Geriye kalanlar			kg C ₂ H ₄ eşd.	1,29E-04	1,43E-06	2,64E-05	1,82E-07	8,32E-08	5,51E-07	8,87E-07	7,60E-09	1,04E-05
1	Etilen	Hava	Düşük pop.	kg C ₂ H ₄ eşd.	3,46E-05	7,52E-11	5,46E-10	3,76E-12	1,72E-12	1,14E-11	1,83E-11	1,33E-12	1,93E-09
2	Metan,biyojenik	Hava	Düşük pop.	kg C ₂ H ₄ eşd.	1,99E-03	3,22E-08	6,47E-07	4,45E-09	2,03E-09	1,35E-08	2,17E-08	3,01E-11	2,17E-08
3	Kükürtdioksit	Hava	Yüksek pop.	kg C ₂ H ₄ eşd.	3,59E-05	1,86E-07	2,30E-06	1,58E-08	7,23E-09	4,79E-08	7,72E-08	3,10E-09	5,61E-07
4	Kükürtdioksit	Hava	Düşük pop.	kg C ₂ H ₄ eşd.	5,65E-05	8,95E-06	1,80E-04	1,24E-06	5,67E-07	3,76E-06	6,05E-06	1,03E-08	3,87E-06

EK 10. Sucuk üretiminin AP'ye etki eden yaşam döngüsü etki analizi envanter sonuçları.

Hesaplama:	Karşılaştırma
Sonuçlar:	Envanter
Faktör 1:	Hammadde ve transferi
Faktör 2:	Kesim
Faktör 3:	Soğutma
Faktör 4:	Kıyma
Faktör 5:	Mikser
Faktör 6:	Dolum

Faktör 7:	Fırınlama
Faktör 8:	Duşlama
Faktör 9:	Pazara dağıtım
Metot:	CML-IA baseline V3.06 / EU25
İndikatör:	Karakterizasyon
Bölüm:	Tüm bölümler
Kategori:	AP
Kesme kriteri:	%1
Altyapı süreçlerini hariç tut:	Evet
Uzun vadeli emisyonları hariç tut:	Hayır
Öğeye göre sıralandı:	Madde
Sıralama düzeni:	Artan

No	Madde	Bölüm	Alt bölüm	Birim	Hammadde ve transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara dağıtım
	Tüm bölümlerin toplamı			kg SO ₂ eşd.	5,33E-02	2,89E-04	5,75E-03	3,96E-05	1,81E-05	1,20E-04	1,93E-04	5,05E-07	3,85E-04
	Geriye kalanlar			kg SO ₂ eşd.	1,14E-03	4,49E-06	6,98E-05	4,80E-07	2,20E-07	1,46E-06	2,34E-06	3,87E-08	5,52E-05
1	Amonyak	Hava	Düşük. pop.	kg SO ₂ eşd.	4,68E-02	1,49E-06	3,00E-05	2,06E-07	9,44E-08	6,26E-07	1,01E-06	1,62E-09	1,57E-06
2	Azot oksitler	Hava		kg SO ₂ eşd.	6,14E-04	2,61E-06	5,01E-05	3,44E-07	1,58E-07	1,04E-06	1,68E-06	6,30E-08	1,92E-04
3	Azot oksitler	Hava	Düşük pop.	kg SO ₂ eşd.	2,46E-03	5,16E-05	1,04E-03	7,14E-06	3,27E-06	2,17E-05	3,49E-05	6,70E-08	2,50E-05
4	Kükürt dioksit	Hava	Yüksek pop.	kg SO ₂ eşd.	8,97E-04	4,66E-06	5,75E-05	3,95E-07	1,81E-07	1,20E-06	1,93E-06	7,76E-08	1,40E-05
5	Kükürt dioksit	Hava	Düşük pop.	kg SO ₂ eşd.	1,41E-03	2,24E-04	4,51E-03	3,10E-05	1,42E-05	9,40E-05	1,51E-04	2,57E-07	9,67E-05

EK 11. Sucuk üretiminin ÖP'ye etki eden yaşam döngüsü etki analizi envanter sonuçları.

Hesaplama:	Karşılaştırma												
Sonuçlar:	Envanter												
Faktör 1:	Hammadde ve transferi												
Faktör 2:	Kesim												
Faktör 3:	Soğutma												
Faktör 4:	Kıyma												
Faktör 5:	Mikser												
Faktör 6:	Dolum												
Faktör 7:	Fırınlama												
Faktör 8:	Duşlama												
Faktör 9:	Pazara dağıtım												
Metot:	CML-IA baseline V3.06 / EU25												
İndikatör:	Karakterizasyon												
Bölüm:	Tüm bölümler												
Kategori:	ÖP												
Kesme kriteri:	%1												
Altyapı süreçlerini hariç tut:	Evet												
Uzun vadeli emisyonları hariç tut:	Hayır												
Öğeye göre sıralandı:	Madde												
Sıralama düzeni:	Artan												
No	Madde	Bölüm	Alt bölüm	Birim	Hammadde ve transferi	Kesim	Soğutma	Kıyma	Mikser	Dolum	Fırınlama	Duşlama	Pazara dağıtım
	Tüm bölümlerin toplamı			kg PO ₄ eşd.	6,14E-02	1,86E-04	3,74E-03	2,57E-05	1,18E-05	7,79E-05	1,25E-04	2,21E-07	8,44E-05
	Geriye kalanlar			kg PO ₄ eşd.	1,45E-03	2,42E-05	4,83E-04	3,32E-06	1,52E-06	1,01E-05	1,62E-05	5,63E-08	6,35E-05
1	Amonyak	Hava	Düşük pop.	kg PO ₄ eşd.	1,02E-02	3,26E-07	6,56E-06	4,51E-08	2,07E-08	1,37E-07	2,20E-07	3,55E-10	3,43E-07
2	Diazot monoksit	Hava	Düşük pop.	kg PO ₄ eşd.	3,54E-03	2,23E-07	4,49E-06	3,08E-08	1,41E-08	9,35E-08	1,51E-07	3,34E-10	7,42E-08

3	Nitrat	Su	Yeraltı suyu	kg PO ₄ eşd.	4,21E-02	6,96E-08	1,40E-06	9,60E-09	4,39E-09	2,91E-08	4,69E-08	1,36E-10	6,14E-07
4	Azot oksitler	Hava	Düşük pop.	kg PO ₄ eşd.	6,38E-04	1,34E-05	2,70E-04	1,86E-06	8,50E-07	5,63E-06	9,06E-06	1,74E-08	6,50E-06
5	Fosfat	Su	Yeraltı suyu, uzun vadeli	kg PO ₄ eşd.	3,59E-04	1,47E-04	2,97E-03	2,04E-05	9,35E-06	6,20E-05	9,97E-05	1,47E-07	1,33E-05
6	Fosfor	Su	Nehir	kg PO ₄ eşd.	3,10E-03	5,83E-10	9,37E-09	6,44E-11	2,95E-11	1,95E-10	3,14E-10	1,23E-11	1,03E-07

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

- ☐ Etik Kurul izni gerekmektedir.
- ☒ Etik Kurul izni gerekmemektedir.

Nur Seda şAHİN



KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- ☐ Kurum izni gerekmektedir.
- ☒ Kurum izni gerekmemektedir.

Nur Seda ŞAHİN



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Nur Seda ŞAHİN
Doğum Tarihi	05.01.1983
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	nseda13@yahoo.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Selçuk Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2008
Yüksek Lisans	
Üniversite	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Kimya Mühendisliği

Makale ve Bildiriler
Şahin N.S., Kaya Y., Vergili I., 2023, Karkas Et Üretiminin Çevresel Etkilerinin Yaşam Döngüsü Analizi ile Belirlenmesi, <i>Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi</i>, AKÜ FEMÜBİD 23 (2023) 065401 (1466-1480). DOI: akufemubid.1244199 . Şahin N.S., Vergili I., Kaya Y., 2021, Bir Kesimhanenin Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi, <i>14. National 2. International Environmental Engineering Congress Climate Crisis & Environmental Policies</i>, 09-10-11 December 2021, online in Istanbul. ISBN: 978-625-00-9520-1 . Alagöz O., Şahin N.S., 2020, Atık Mermer Tozu Katalizörlüğünde Haşhaş Yağından Biyodizel Eldesi, <i>Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi</i>, AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 055702 (892-899). DOI: 10.35414/akufemubid.713632 .