



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**BAZI ET ÜRÜNLERİ VE VEGAN
ALTERNATİFLERİNİN ENDÜSTRİYEL
ÜRETİMLERİNİN EKSERGO-EKONOMİK VE
YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ**

Doktora Tezi

Orhan KAYA

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2025

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI ET ÜRÜNLERİ VE VEGAN
ALTERNATİFLERİNİN ENDÜSTRİYEL
ÜRETİMLERİNİN EKSERGO-EKONOMİK VE
YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ**

Orhan KAYA

Danışman: Prof. Dr. Filiz İÇİER

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Doktora Programı

İzmir

2025

Orhan KAYA tarafından doktora tezi olarak sunulan “BAZI ET ÜRÜNLERİ VE VEGAN ALTERNATİFLERİNİN ENDÜSTRİYEL ÜRETİMLERİNİN EKSERGO-EKONOMİK VE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 12/02/2025 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Filiz İçier

Raportör Üye : Doç. Dr. Gülen Yıldız Turp

Üye : Prof. Dr. Yahya Tülek

Üye : Prof. Dr. Seher Kumcuoğlu

Üye : Prof. Dr. Melike Yılmaz

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “**Bazı Et Ürünleri ve Vegan Alternatiflerinin Endüstriyel Üretimlerinin Eksergo-Ekonomik ve Yaşam Döngüsü Analizi**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

12 / 02 / 2025

Orhan KAYA

ÖZET**BAZI ET ÜRÜNLERİ VE VEGAN ALTERNATİFLERİNİN
ENDÜSTRİYEL ÜRETİMLERİNİN EKSERGO-EKONOMİK VE
YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ**

KAYA, Orhan

Doktora Tezi, Gıda Mühendisli Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Filiz İÇİER

Şubat 2025, 121 sayfa

Bu tez çalışması kapsamında, işlenmiş et ürünleri ve vegan alternatiflerinin üretim süreçleri performans ve sürdürülebilirlik özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmada dana burger, dana misket köfte, kaplamalı tavuk ürünü ile vegan burger, vegan köfte ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünlerinin üretim hatları incelenmiş, her aşamada enerji tüketimi, enerji ve ekserji verimlilikleri analiz edilmiştir. Ayrıca, eksergo-ekonomik değerlendirmeler ve çevresel etkiler detaylı olarak ele alınmıştır.

Dana burger üretiminde form verme işlemi %87.99 enerji verimliliği ile en verimli süreç olurken, dondurma işlemi %42.75 enerji verimliliği ile en düşük performansı sergilemiştir. Dana misket köfte üretiminde enerji verimliliği en yüksek işlem kızartma (%91.5) iken, en düşük işlem dondurma (%27.4) olarak saptanmıştır. Vegan burger üretiminde en düşük enerji tüketimi boyut küçültme ve harmanlama işlemlerinde, en yüksek enerji tüketimi ise dondurma işlemi olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde vegan köfte üretiminde harmanlama işlemi en yüksek ekserji verimliliğine sahipken, dondurma işlemi en düşük performansı göstermiştir. Genel olarak, kızartma ve boyut küçültme işlemlerinin enerji açısından daha verimli olduğu, dondurma işleminin ise enerji ve ekserji verimliliği açısından en düşük performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca üretim hatlarının enerji ve ekserji verimliliklerini etkileyen başlıca parametreler arasında kullanılan ekipmanların güç değerleri, enerji kaybı değerleri, işlem süreleri ve işlenen ürün miktarının etkili olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

Eksergo-ekonomik analizler, kullanılan hammaddeler, üretim sürecinde yer alan ekipmanların yatırım gereksinimleri ve üretim miktarlarının maliyetler

üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Dana burgerin yüksek üretim miktarı ve değerli bileşenler içermesi nedeniyle en yüksek birim ekserji maliyetine (13.6 ± 0.17 TL) sahip olduğu belirlenmiştir. Kaplamalı tavuk ürününde düşük bileşen maliyetlerine rağmen yüksek üretim hacmi ve yatırım gereksinimleri nedeniyle işletme maliyetleri artmıştır. Dana misket köftenin ise en düşük birim ekserji maliyetine (5.02 ± 0.10) sahip olduğu tespit edilmiştir. Vegan ürünler arasında ise vegan köftenin üretim miktarının daha fazla olması işletme maliyetlerini artırmış, ancak daha değerli bileşenler içeren vegan burger ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünlerin girdi maliyetleri yüksek bulunmuştur.

Sürdürülebilirlik analizleri, dana ve tavuk bazlı ürünlerin çevresel etkilerinin, vegan alternatiflere kıyasla daha yüksek olduğunu göstermektedir. Dana burger üretiminin, 26.26 m^2 alan kullanımı, 6.75 kg CO_2 salınımı ve 122.96 kg su tüketimi ile en yüksek çevresel etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık vegan burger üretiminin sadece 1.40 m^2 alan kullanımı, 0.61 kg CO_2 salınımı ve 12.63 kg su tüketimi ile en düşük çevresel ayak izine sahip olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde dana misket köfte ve kaplamalı tavuk ürün üretim süreçlerinin çevresel etkileri, vegan alternatiflerine kıyasla daha yüksektir.

Sonuç olarak, bu çalışma işlenmiş et ürünleri ve vegan alternatiflerinin üretim hatlarının enerji ve ekserji performanslarını karşılaştırarak, üretim süreçlerinin verimliliğini ve çevresel etkilerini değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, vegan ürünlerin çevresel sürdürülebilirlik açısından daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, tüketicilerin sürdürülebilir gıda tercihleri yapmaları, enerji verimliliği yüksek teknolojilerin yaygınlaştırılması ve alternatif protein kaynaklarına yönelik yatırımların artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasının, sürdürülebilir gıda üretimi, enerji ve ekserji verimliliği ve alternatif protein kaynaklarının geliştirilmesi konularında hem akademik hem de endüstriyel anlamda önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar sözcükler: Enerji, ekserji, sürdürülebilirlik, gıda, tavuk, protein



ABSTRACT**EXERGO-ECONOMIC AND LIFE CYCLE ANALYSIS OF
INDUSTRIAL PRODUCTIONS OF SOME MEAT PRODUCTS AND
THEIR VEGAN ALTERNATIVES**

KAYA, Orhan

PhD in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Filiz ICIER

February 2025, 121 pages

In this thesis, the production processes of processed meat products and their vegan alternatives were compared in terms of performance and sustainability characteristics. The production lines of beef burgers, beef meatballs, coated chicken products, as well as vegan burgers, vegan meatballs, and coated vegan chicken-like products were examined. Energy consumption, energy and exergy efficiencies were analyzed at each stage. Additionally, exergy-economic evaluations and environmental impacts were addressed in detail.

In beef burger production, the forming process was identified as the most efficient stage with an energy efficiency of 87.99%, while the freezing process exhibited the lowest performance with an energy efficiency of 42.75%. In the production of beef meatballs, frying had the highest energy efficiency (91.5%), whereas freezing had the lowest (27.4%). In vegan burger production, the lowest energy consumption was observed during size reduction and mixing processes, while the highest energy consumption was noted during freezing. Similarly, in vegan meatball production, mixing process had the highest exergy efficiency, whereas freezing showed the lowest performance. Overall, frying and size reduction processes were found to be more energy-efficient, while freezing demonstrated the lowest performance in terms of both energy and exergy efficiency. Additionally, it was interpreted that key parameters affecting the energy and exergy efficiencies of production lines might include the power values of the equipment used, energy losses, processing times, and the quantity of processed products.

Exergo-economic analyses highlighted the impacts of raw materials, investment requirements for equipment used in the production process, and production volumes on costs. Beef burger was found to have the highest unit exergy cost (13.6 ± 0.17 TL) due to its high production volume and valuable components. Despite the low component costs, operating costs for the coated chicken product increased due to high production volumes and investment requirements. The beef meatball was identified as having the lowest unit exergy cost (5.02 ± 0.10 TL). Among vegan products, the higher production volume of vegan meatballs increased operating costs. However, input costs for vegan burgers and coated vegan chicken-like products, which contain more valuable components, were found to be higher.

Sustainability analyses demonstrated that the environmental impacts of beef and chicken-based products were significantly higher compared to vegan alternatives. Beef burger production had the highest environmental footprint, with 26.26 m² of land use, 6.75 kg CO₂ emissions, and 122.96 kg of water consumption. In contrast, since the vegan burger production required only 1.40 m² of land, emitted 0.61 kg CO₂, and consumed 12.63 kg of water, it was the most environmentally friendly option. Similarly, beef meatball and coated chicken products exhibited greater environmental impacts compared to their vegan counterparts.

In conclusion, this study compared the energy and exergy performances of the production lines of processed meat products and vegan alternatives, assessing the efficiency of production processes and their environmental impacts. The findings revealed that vegan products are more advantageous in terms of environmental sustainability. In this context, it is crucial to encourage consumers to make sustainable food choices, promote the widespread adoption of energy-efficient technologies, and increase investments in alternative protein sources. This study is expected to provide valuable contributions to sustainable food production, energy and exergy efficiency, and the development of alternative protein sources, both in academia and industry.

Keywords: Energy, exergy, sustainability, food, chicken, protein

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması kapsamında endüstriyel ölçekte üretimleri gerçekleştirilen işlenmiş et ürünlerinin ve alternatif protein kaynakları ile üretilen ürünlerin performans analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Performans analizleri kapsamında üretim hatlarının enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizleri gerçekleştirilmiştir. Öte yandan yapılan performans analizi değerlendirmesiyle birlikte üretimler sırasındaki geliştirme potansiyeli bulunan noktalar belirlenmiştir. Ek olarak enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizlerinin sonuçları ile Türkiye'deki et işleme sektöründeki enerji verileri ve enerji yönetimi için kaynak oluşturulması amaçlanmıştır.

Öte yandan farklı protein kaynaklarının kullanımının ürünlerdeki sürdürülebilirlik performansları incelenmiştir. Bu tez projesi ile 2030 ve 2050 Avrupa Yeşil Mutabakat hedefleri kapsamında et sektörü için mevcut durum tespiti ve alınacak aksiyon çalışmaları ile oluşturulan bir yol haritasına katkı sağlayacağı ve gıda sektörünün önümüzdeki yıllar içerisinde hangi protein kaynaklarına yönelmesinin sürdürülebilir olduğunu ortaya çıkaracağı düşünülmektedir.

İZMİR

12/02/2025

Orhan KAYA



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇ KAPAK.....	ii
KABUL ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	x
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	X
ÖNSÖZ.....	XII
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	XIV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XVIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XX
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XXII
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 Küresel Et Tüketimi ve Alternatif Protein Pazarındaki Büyüme Eğilimler.....	4
2.1.1 Bitkisel protein tabanlı et alternatifleri.....	5
2.1.2 Vegan ve vejetaryen gıdaların tanımı, etiketlenmesi ve düzenleyici mevzuat.....	6
2.1.3 Tüketici eğilimleri ve alternatif protein ürünlerinin pazar dinamikleri.....	8

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

Sayfa

2.1.4 Alternatif protein kaynaklarının sağlık ve sürdürülebilirlik perspektifinden değerlendirilmesi.....	10
2.1.5 Sürdürülebilir gıda sistemleri ve alternatif proteinlerin politik ve ekonomik destekleri.....	12
2.2 Endüstriyel Et ve Et Alternatiflerinin Üretimlerinin Enerji, Ekserji ve Yaşam Döngü Analizleri.....	13
2.2.1 Enerji ve ekserji verimliliği yaklaşımı.....	13
2.2.2 Yaşam döngü analizi yaklaşımı.....	21
3.GEREÇ VE YÖNTEM.....	30
3.1 Materyal.....	30
3.2 Üretim Yöntemleri.....	33
3.2.1 Dana burger üretimi.....	33
3.2.2 Dana misket köfte üretimi.....	35
3.2.3 Kaplamalı tavuk ürünü üretimi.....	37
3.2.4 Vegan burger üretimi.....	39
3.2.5 Vegan köfte üretimi.....	41
3.2.6 Vegan tavuk benzeri ürün üretimi.....	43
3.3 Analizler.....	45

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

Sayfa

3.3.1 Sıcaklık ve güç ölçümleri.....	45
3.3.2 Enerji ve ekserji analizleri.....	46
3.3.3 Eksergo-ekonomik analizler.....	48
3.3.4 Kompozisyon analizleri.....	52
3.3.5 Yoğunlukların belirlenmesi.....	52
3.3.6 Sürdürülebilirlik analizleri.....	53
3.3.7 İstatistiksel değerlendirme.....	54
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	55
4.1 İşlenmiş Et Ürünlerinin ve Alternatif Protein Kaynakları ile Üretilen Ürünlerin Kompozisyonu	55
4.2 Üretim Hatlarının Performans Değerlendirmesi	56
4.2.1 İşlenmiş et ürünleri üretim hatlarının performans değerlendirme	57
4.2.2 Alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin üretim hatlarının performans değerlendirme	57
4.2.3 Farklı üretim hatlarının performanslarının karşılaştırılması	64
4.2.4 Farklı üretim hatlarının eksergo-ekonomik değerlendirme.....	71
4.3 Farklı Üretim Hatlarının Sürdürülebilirlik Değerlendirmeleri.....	73
4.3.1 İşlenmiş et ürünleri üretim hatlarının sürdürülebilirlik değerlendirme....	74

İÇİNDEKİLER (DEVAM)Sayfa

4.3.2 Alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin üretim hatlarının sürdürülebilirlik değerlendirmeleri.....	79
4.3.3 Farklı üretim hatlarının sürdürülebilirlik değerlendirmelerinin karşılaştırılması.....	82
5. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER.....	92
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	96
TEŞEKKÜR.....	119
ÖZGEÇMİŞ.....	120
EKLER.....	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Bir enerji sisteminin çevresel etkisi ve sürdürülebilirliği ile ekserji verimliliği arasındaki ilişki.....	14
2.2 YDA'nın bir üretim sürecindeki yaklaşımı.....	22
2.3 Yaşam döngü analizi basamakları.....	24
3.1 Dana burger üretim akış şeması.....	34
3.2 Dana misket köfte üretim akış şeması.....	36
3.3 Kaplamalı tavuk ürünü üretim akış şeması.....	38
3.4 Vegan burger üretim akış şeması.....	40
3.5 Vegan köfte üretim akış şeması.....	42
3.6 Vegan tavuk benzeri ürünü üretim akış şeması.....	44
4.1 Dana burger ve vegan burger üretim hatlarında işlem basamaklarının enerji verimliliklerinin karşılaştırılması.....	65
4.2 Dana burger ve vegan burger üretim hatlarında işlem basamaklarının ekserji verimliliklerinin karşılaştırılması.....	66
4.3 Dana misket köfte ve vegan köfte üretim hatlarında işlem basamaklarının enerji verimliliklerinin karşılaştırılması.....	67
4.4 Dana misket köfte ve vegan köfte üretim hatlarında işlem basamaklarının ekserji verimliliklerinin karşılaştırılması.....	68
4.5 Kaplamalı tavuk ürünü ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü üretim hatlarında işlem basamaklarının enerji verimliliklerinin karşılaştırılması.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

Şekil

Sayfa

4.6 Kaplamalı tavuk ürünü ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü üretim hatlarında işlem basamaklarının ekserji verimliliklerinin karşılaştırılması.....	70
4.7 İşlenmiş et ürün hatlarının fonksiyonel birim için (1 kg son ürün) “Yaşam Döngü Analizi” sürdürülebilirlik etkileri değerleri.....	78
4.8 Alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürün hatlarının fonksiyonel birim için (1 kg son ürün) “Yaşam Döngü Analizi” sürdürülebilirlik etkileri değerleri.....	82
4.9 Dana burger ve vegan burger üretim hatlarının sürdürülebilirlik özelliklerinin karşılaştırması.....	85
4.10 Dana misket köfte ve vegan köfte üretim hatlarının sürdürülebilirlik özelliklerinin karşılaştırması.....	88
4.11 Kaplamalı tavuk ürünü ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretim hatlarının sürdürülebilirlik özelliklerinin karşılaştırması.....	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 ReCiPe2016+ değerlendirme metodunda yer alan etki kategorileri ve birimleri.....	25
2.2. Et analoglarının üretiminde yaşam döngü analizleri ile incelendiği bazı çalışmalar.....	28
3.1 Dana burgerde kullanılan hammaddeler ve içerik yüzdeleri.....	31
3.2 Dana misket köftede kullanılan hammaddeler ve içerik yüzdeleri.....	31
3.3 Kaplamalı tavuk ürünü hamurunda kullanılan hammaddeler ve içerik yüzdeleri.....	32
3.4 Vegan burgerde kullanılan hammaddeler ve içerik yüzdeleri.....	32
3.5 Vegan köftede kullanılan hammaddeler ve içerik yüzdeleri.....	33
3.6 Kaplamalı tavuk benzeri vegan üründe kullanılan hammaddeler ve içerik yüzdeleri.....	33
3.7 Dana burger üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri.....	35
3.8 Dana misket köfte üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri.....	37
3.9 Kaplamalı tavuk ürünü üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri.....	39
3.10 Vegan burger üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri.....	41
3.11 Vegan köfte üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri.....	43
3.12 Vegan tavuk benzeri ürünlerin üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri....	45
3.13 Dana burger üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları.....	49

ÇİZELGELER DİZİNİ (DEVAM)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.14 Dana misket köfte üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları...	50
3.15 Kaplamalı tavuk ürünü üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları.....	50
3.16 Vegan burger üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları.....	51
3.17 Vegan köfte ürünü üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları..	51
3.18 Kaplamalı tavuk benzeri ürünü üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları.....	52
4.1 Üretimleri gerçekleştirilen ürünlerin kompozisyon değerleri.....	55
4.2 Dana burger üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları.....	58
4.3 Dana misket köfte üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları.....	59
4.4 Kaplamalı tavuk ürünü üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları.....	60
4.5 Vegan burger üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları	63
4.6 Vegan köfte üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları.....	64
4.7 Kaplamalı tavuk benzeri vegan ürününün üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları.....	64
4.8 Farklı üretim hatları için yıllık bazda gerçekleştirilen eksergo-ekonomik performans değerleri.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$C_{i,giren}$	Giren bileşenlerin maliyeti
$C_{i,çıkan}$	Çıkan bileşenlerin maliyeti
C_{enerji}	Üretim sırasında kullanılan enerji maliyeti
$C_{girdiler}$	Üretim sırasında kullanılan hammaddelerin toplam maliyeti
$C_{son\ ürün}$	Üretim sonucu elde edilen son ürünün birim ekserji maliyeti
i	Faiz oranı
n	İşletim süresi
C_p	Özgül ısı kapasitesi (J/kgK)
$\dot{E}$	Enerji hızı (W)
$\dot{m}$	Kütleli debi (kg/s)
$\dot{S}$	Entropi hızı (W/K)
$\dot{X}$	Ekserji hızı (W)
$\dot{X}_{yıkım}$	Yıkıma uğrayan ekserji hızı(W)
T	Sıcaklık (K veya °C)
T_d	Ölü hal sıcaklığı (K)
T_{ortam}	Ortam sıcaklığı (K)
t_{op}	İşletim süresi
η	Verim (%)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)

Z_T Toplam yatırım-işletme maliyeti

$Z_{Yatırım}$ Yatırım maliyeti

$Z_{İşletme}$ İşletme maliyeti

Kısaltmalar Açıklama

CRF Anapara geri kazanım faktörü

PEC Satın alım maliyeti

GP Geliştirme potansiyeli

1. GİRİŞ

Son yıllarda artan küresel nüfus ve iklim değışikliklerinin tarımsal verimliliğı olumsuz etkileyebileceğı öngörüsü, küresel gıda güvenliğı konusundaki endişelerin giderek büyümesine yol açmaktadır (Godfray et al., 2010). Son altmış yılda dünya nüfusu hızla artarak 2.6 milyardan 7 milyara ulaşmıştır (Gabriel et al., 2014). 2022 yılında ise dünya nüfusunun 8 milyara ulaştığı tespit edilmiştir (Pison, 2022). 2015 yılında dünya nüfusu yıllık yaklaşık %1.13 oranında büyümekte olup, bu artış her yıl yaklaşık 80 milyon kişiye karşılık geldiğı belirlenmiştir (Anonymous, 2015). Günümüzde ise dünya nüfusunun artış hızında bir miktar azalma gerçekleşerek % 0.9 olduğu belirlenmiştir (Anonymous, 2024a). Eğer dünya nüfusu mevcut hızla artmaya devam ederse, 2050 yılına kadar küresel nüfusun 9.7 milyara ulaşacağı ve bu büyüyen nüfusu besleyebilmek için gıda üretiminin %70 ila %100 oranında artırılması gerekeceğı öngörülmektedir. Araştırmalar, artan dünya nüfusuna yeterli protein sağlamak için 2050 yılında üretilmesi gereken tarımsal protein miktarının, 2005 yılı seviyelerine kıyasla %110 daha fazla olması gerektiğini ortaya koymaktadır (Tilman et al., 2011; Nawas et al., 2023). Bunun yanı sıra, 2050 yılında hayvansal protein talebini karşılayabilmek için et üretiminin günümüz seviyesine kıyasla iki katına çıkması gerektiğı tespit edilmiştir. Bu durum, et üretiminde yaklaşık 200 milyon tonluk bir artış gerekliliğini ifade etmektedir (FAO, 2009). Nüfus artışı, küresel gıda talebini tek başına artırmakla kalmayıp, özellikle gelişmekte olan ülkelerde kentsel nüfusun büyümesiyle ortaya çıkan orta sınıflar arasında et ve süt ürünlerine yönelik talebin yükseldiğı de gözlemlenmektedir (Navarro et al., 2010; Schneider et al., 2011).

Günümüzde küresel et üretimi, 1961 yılında 71 milyon ton seviyesindeyken 2018 yılında 341 milyon tona ulaşmıştır (Anonymous, 2021a). Gelişmekte olan ülkelerde nüfus artışı, kentleşme ve yaşam standartlarının yükselmesiyle birlikte et tüketimine yönelik talepte kayda değer bir artış yaşanmıştır (Kearney, 2010; Kumar et al., 2017; Godfray et al., 2018). Daha düşük gelirli ülkelerde ise artan gelir düzeyi ve nüfusla birlikte, özellikle orta sınıflar arasında et tüketiminin yükseldiğı gözlemlenmiştir (Godfray et al., 2010; Navarro et al., 2010; Schneider et al., 2011). Bununla birlikte, hayvansal kaynaklı gıdalar dışında, son yıllarda yapılan pazar analizleri yeni tüketici gruplarının alternatif proteinlere artan bir ilgi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu ilgi son birkaç yılda giderek büyümüş ve “alternatif protein” yaklaşımının gelişmesine, geleneksel et ürünleriyle rekabet edebilecek ya da onlara alternatif olabilecek yeni ürünlerin piyasaya sunulmasına zemin hazırlamıştır. Alternatif proteinlere olan bu eğilimin devam etmesi durumunda,

2035 yılına gelindiğinde dünya genelinde tüketilen et, yumurta ve süt ürünlerinin onda birinin alternatif protein kaynaklarından elde edileceği tahmin edilmektedir (Anonymous, 2021b).

Sürdürülebilir üretim çerçevesinde enerji, ekserji, eksergo-ekonomi ve yaşam döngüsü analizleri kullanarak gıda üretiminin mevcut durumları incelenmektedir. Gıda üretim sisteminin gelişmiş ülkelerdeki sera gazı emisyonları üzerinde %15-28 arasında bir etkisi olduğu tahmin edilmektedir (Garnett, 2013). Eğer gıda üretim sisteminde bir değişiklik yapılmazsa, 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarının %30-40 oranında artması beklenmektedir. Hayvansal protein üretiminin yıllık toplam CO₂ emisyonlarının %15'ini oluşturduğu belirtilmektedir (Stoll-Kleemann, 2017). Et üretiminde, tahıllara kıyasla 100 kat daha fazla su tüketilmektedir. Küresel ölçekte çiftlik hayvanları, dünya üzerindeki tatlı suyun neredeyse dörtte birini kullanmaktadır (Pimentel and Pimentel, 2003; Tuomisto, 2019). Su, gıda üretim sistemlerinde yıkama, durulama, haşlama, ısıtma, pastörizasyon, dondurma, soğutma, sanitasyon, dezenfeksiyon ve işleme gibi birçok aşamada hammadde olarak kullanılmaktadır. Et sektörü için yapılan araştırmalar sonucunda 1 kg dana eti üretimde 15500 litre su kullanıldığı, 1 kg tavuk eti üretimi içinse 3900 litre su kullanıldığı tespit edilmiştir (Gruener, 2010). Ayrıca bir araştırma sonucuna göre, tarımsal alanların çöl olmayan ve buzla kaplı olmayan arazinin ortalama %43'ünü oluşturduğu tespit edilmiştir (Poore and Necemek, 2018). Endüstriyel et sektöründeki enerji tüketimiyle ilgili araştırmalara göre, kırmızı etin karbon ayak izi yaklaşık olarak 10 kg CO₂/kg olduğu, enerji tüketiminin ise yaklaşık olarak 27 MJ/kg olduğu belirlenmiştir (Peters et al., 2014). Kalhor et al. (2010) kış mevsiminde 1 ton paketlenmiş tavuk eti üretiminin karbon ayak izinin 5357.61 kg CO₂, yaz aylarında ise 2931.91 kg CO₂ olduğunu saptamışlardır. Kesimhane ve paketleme işlemlerinin enerji tüketiminin ise yaklaşık olarak 135 GJ olduğu belirlenmiştir. Bitki bazlı gıdalarla karşılaştırıldığında, et üretimi çok daha yüksek sera gazı emisyonlarına yol açmaktadır. Sığır ve kuzu etinden elde edilen protein üretimi, baklagillerden yaklaşık 250 kat daha fazla sera gazı emisyonu üretmektedir. İklim Değişikliği Komitesi (Climate Change Committee, CCC), Birleşik Krallık'ın net sıfır hedeflerine ulaşabilmesi için, 2030 yılına kadar et tüketiminin %20, 2050 yılına kadar ise %35 oranında azaltılması gerektiğini bildirmiştir (Pardoe, 2021).

Et ve et ürünlerine talebin artması, dünya üzerindeki doğal alanların tarım arazisine dönüştürülmesine yol açmaktadır. Ruminantların, domuzların ve kanatlı hayvanların yetiştirilmesi, tarım ürünlerinin yetiştirilmesine göre neredeyse iki kat

daha fazla alan kullanımına yol açmaktadır. Ayrıca, tarım arazilerinden hasat edilen ürünlerinin yaklaşık üçte biri et ve et ürünleri sektörü için kullanılmaktadır (Anonymous, 2021b). Yem üretimi için ayrılan arazi ile hayvan yetiştiriciliği için kullanılan araziler bir arada değerlendirildiğinde, tarım arazilerinin %75'inin hayvansal protein üretimine tahsis edildiği görülmektedir (Foley et al., 2011). Hayvan yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılan yemlerden biri olan soyanın büyük bir kısmının Güney Amerika'dan ithal edildiği, bu durumun soya üretimi ile hayvancılık faaliyetleri arasında sıkı bir bağ olduğunu ve bu durumun Güney Amerika'daki ormansızlaşmayı tetiklediği tespit edilmiştir. Dünya nüfusunun artışıyla birlikte gıda talebinin artması, doğal araziler üzerindeki baskıyı artırarak biyoçeşitliliğin olumsuz anlamda etkilenmesine yol açacaktır (Henchion, 2017).

Küresel dünya nüfusunun giderek artmasıyla beraber hem hayvansal protein kaynaklı ürünlerin hem de alternatif protein kaynakları ile üretilen ürünlerin miktarında artış gerçekleşeceği kaçınılmazdır. Sürdürülebilir bir üretim kapsamında enerji, ekserji, eksergo-ekonomi ve yaşam döngü analizleri ile her iki farklı üretim modeli yaklaşımının da mevcut durumları incelenmelidir. Bu kapsamda gerçekleştirilen tez projesi, işlenmiş et ürünlerinin ve alternatif protein kaynakları ile üretilen ürün işleme süreçlerini enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik yaklaşımla karşılaştırmayı hedeflemiştir. Ayrıca, endüstriyel boyutlarda farklı protein kullanımlarının ürün yaşam döngülerine etkileri incelenerek sürdürülebilirlik performansları ortaya çıkarılmıştır. Böylelikle, işlenmiş et ürünleri ve alternatif protein kaynakları ile elde edilen ürünlerin üretim süreçlerindeki enerji verimliliği ve maliyet-etkinliği artırmaya yönelik çıktılar elde edilmiştir. Ayrıca, farklı protein kaynaklarının işlenmiş et ürünlerine göre alternatifliği, endüstriyel ölçekte çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik performansları karşılaştırılarak da sorgulanmıştır. Elde edilen bulguların, daha az enerji kaybı, düşük çevresel etki ve ekonomik açıdan uygulanabilir üretim süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Küresel Et Tüketimi ve Alternatif Protein Pazarındaki Büyüme Eğilimleri

Et ve kümes hayvanları tüketimi, artan taleple birlikte giderek büyümektedir. Küresel et üretimi, 1961 yılında 71 milyon tondan 2018 yılında 341 milyon tona kadar yükselmiştir (Anonymous, 2021a). 2022 yılında ise bu rakam 362.6 milyon tona ulaşmıştır (Mateos et al., 2024). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde artan nüfus, kentleşme ve yaşam standardının ve aile gelirinin artmasıyla et tüketimine yönelik küresel talep büyük ölçüde artmıştır (Kearney, 2010; Kumar et al., 2017; Godfray et al., 2018). Daha yoksul ülkelerde gelirler ve nüfus arttıkça, özellikle orta sınıflar arasında daha fazla et yeme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Godfray et al., 2010; Navarro et al., 2010; Schneider et al., 2011). Küresel et talebinin aksine, ABD'de ve birçok gelişmiş ülkede ise kırmızı ve işlenmiş et tüketimi son birkaç yılda azalmaktadır (Anonymous, 2021c).

Günümüzün pazar eğilimleri, yeni tüketicilerin alternatif proteinlere (hayvansal olmayan/bitkisel proteinlere) ilgi duyduğunu göstermektedir. Son birkaç yılda bu ilgi giderek artmış ve “alternatif protein” seçeneklerinin yenilenmesine ve geleneksel et ürünleriyle rekabet edebilecek veya bunları tamamlayabilecek yeni ürünlerin piyasaya sürülmesine yol açmıştır. Günümüzde alternatif protein pazarı toplam küresel protein payının yaklaşık %4'ünü oluşturmaktadır. Hem değer hem de hacim payı bazında mevcut alternatif protein pazarı toplam protein pazarının %5'inden azını temsil etmesine rağmen yıllık büyüme hızı, et ve kümes hayvanlarına göre iki katı büyüklüktedir (Anonymous, 2018a). Alternatif protein pazarı 2023 yılında 17.32 milyar dolar olarak değerlendirilmiştir. Bu pazarın 2031 yılına kadar 47.05 milyara ulaşması ve 2024-2031 döneminde yıllık bileşik büyüme oranının (CAGR) %13.6 olması beklenmektedir (Anonymous, 2024b). ABD'deki pazar eğilimleri değerlendirdiğinde ise et alternatiflerinin piyasa değerinin et ve kanatlılara göre %0.5'in altında olduğunu göstermektedir. Öte yandan, Good Food Institute'nün son raporları, alternatif proteinlerin tüm perakende et satışlarının %1.1'ini oluşturduğunu göstermektedir (Anonymous, 2023a). Küresel olarak, alternatif protein sektörünün 2024 yılına kadar 23 milyar dolar değerinde olması beklenmektedir ve bazı bitki bazlı ürünlerin fiyatları hızla düşmektedir. Mordor Intelligence'a (Anonymous, 2020a) göre, et analogu pazarı 2019 ve 2024 yılları arasında yıllık %7.9'luk bir büyüme oranıyla büyümesi ve en hızlı büyüyen pazarın Asya Pasifik, en büyük pazarın Avrupa olması beklenmektedir. 2035 yılına

gelindiğinde ise dünya çapında yenen et, yumurta ve süt ürünlerinin her onda bir porsiyonunun alternatif protein bazlı olacağı tahmin edilmektedir. Soya bazlı, bitki bazlı ve tek hücreli protein bazlı alternatifler protein ürünlerinin 2030 yılına kadar sırasıyla %24.2, %12 ve %6.8 büyümesi öngörülmektedir (Anonymous, 2023b; Anonymous, 2023c; Anonymous, 2024c). Öte yandan bezelye proteini olmak üzere soya türevi olmayan bitki proteini pazar büyüklüğün de genişlemesi beklenmektedir (Anonymous, 2019a). Küresel olarak bitki bazlı gıda ürünlerin satışları 2018 yılında yüzde 17 artmıştır. İngiltere'de et ikamelerine yapılan tüketici harcaması 2014-2019 arasında %40 artarak 2019'da 816 milyon £'a ulaşmıştır. Almanya'da da et ikamesi satışları hızla artmış ve 2014'te 14.000 ton satış miktarına ulaşmıştır. 2018 yılında ise Almanya 20 bin ton etsiz vegan alternatiflerinin satışı ile Avrupa'da lider olmuştur (Anonymous, 2019b). 2023 yılında da bu miktarda büyük bir sıçrayış gerçekleşerek 121 bin ton bitki bazlı et ürününün satışı gerçekleşmiştir (Anonymous, 2024d). Alternatif protein bazlı ürünlerin daha uzun raf ömrü ve depolama kolaylığının olması da pazar büyüklüğünün artmasını sağlamıştır (Anonymous, 2021d).

2.1.1 Bitkisel protein tabanlı et alternatifleri

Hayvancılık faaliyetlerinde kullanılan büyük miktarda su, sera gazı emisyonlarının artışı, hayvan refahının olumsuz etkilenmesi, tarım arazisi ihtiyacının fazlalığı ve çevre ile iklim değişikliği üzerindeki zararlar, hayvansal protein üretiminin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir (Alexander et al., 2017; Tuomisto, 2019). Bu nedenle bitkisel protein kaynakları hayvansal proteine alternatif olarak değerlendirilmektedir.

Et alternatifleri genellikle “hayvansal proteine çok benzer kimyasal özelliklere sahip hayvansal bazlı olmayan proteinlerle oluşturulmuş, aynı estetik hissi (doku, lezzet ve görünüm) sağlamaları amaçlanan ürünler” olarak tanımlanmaktadır (Smetana et al., 2015; Kumar et al., 2017). Gıda endüstrisinde gluten, soya proteini, bezelye proteini, bakla proteini, nohut proteini gibi protein kaynaklarının işlenerek son ürünlerin elde edildiği et analoglarının seri üretimine geçiş sağlanmıştır (Sharima-Abdullah et al., 2018; Schreuders et al., 2019; Chiang et al., 2019; Kim et al., 2021). Ek olarak, ot veya yulaftan protein ekstraksiyonu veya patates nişastası üretiminden yan ürün olarak patates proteinin kullanım potansiyeli bulunmaktadır (Landbrug and Fødevarer, 2017).

Et alternatifleri üretmek için en önemli reçete girdisi olan tekstüre bitkisel proteinleri elde etmek için yüksek nem ekstrüzyon teknolojisi ve shear cell teknolojisini kullanılmaktadır. Ekstrüzyon teknolojisinde, proteinler mekanik ve termal strese maruz bırakılmaktadır. Bu işlem protein yapısının değişmesiyle sonuçlanmaktadır ve lifli bir yapıya sahip proteinler elde edilmektedir. Ürünleri katılaştırmak içinse ısıtma işlemi veya kurutma yöntemleri uygulanmaktadır (Wild et al., 2014; Ajwalia, 2020).

Bitkisel bazlı proteinlerin hayvansal kaynaklı gıdalar yerine tercih edilmesiyle beraber sera gazı emisyonlarını düşüğü, hayvan refahını artırdığı ve iklim değişikliğiyle mücadelede olumlu bir etki yarattığı ortaya konulmuştur (Ettinger, 2016). Bitkisel bazlı ürünler, et ürünlerine benzer doku, tat, koku, görünüm ve besin içeriği gibi özellikler sunarak etkili bir alternatif oluşturabilmektedir. Bir gıda fabrikası geliştirmiş olduğu burgerde, et yerine %0 hayvansal protein kullanarak, %95 daha az arazi kullanımı ve %74 daha az su tüketimi ve aynı zamanda %87 daha az sera gazı salınımı sağlamıştır (Cöner, 2017).

2.1.2 Vegan ve vejetaryen gıdaların tanımı, etiketlenmesi ve düzenleyici mevzuat

Avrupa’da, bitki bazlı diyetlere yönelen insan sayısı son 10 yılda büyük bir artış göstermiştir. Artan bu talebe gıda üreticileri, gıda ticaret şirketleri ve yemek şirketleri, vejetaryen ve vegan ürünlerini piyasaya sürerek yanıt vermiştir. Avrupa Birliği yönetmeliklerinin eksik olması nedeniyle ticari zincirler bazı durumlarda endüstri logolarını kullanarak ürünlerini vegan veya vejetaryen olarak etiketlemeye başlamıştır.

Mevcut AB mevzuatını iyileştirmek için gerçekleştirdikleri düzenli toplantılarda paydaşları ve üye ülkelerden üst düzey uzmanları bir araya getiren “Regulatory Fitness and Performance Programme (REFIT)” Platformu, Avrupa Komisyonu’na bir gıdanın vejetaryenler veya veganlar için uygunluğunun belirtilmesine ilişkin yükümlülüğünü hızla yerine getirmesi için tavsiye kararında bulunmuştur (Anonymous, 2017a). Avrupa Komisyon’u Haziran 2018’de hazırlık çalışmalarının 2019’da başlayacağı bir uygulama kanununu kabul ederek tavsiye kararını takip etmeyi amaçladığını duyurmuştur. Ancak bugüne kadar hiçbir yasama faaliyetine başlanmamıştır. Farklı Avrupa Birliği ülkelerinde taslak tanımlar ortaya çıksada, İsviçre hariç Avrupa’da şu anda “veganlar için uygun” ve “vejetaryenler için uygun” terimlerinin yasal olarak bağlayıcı tanımları

bulunmamaktadır. Ancak vegan ve vejetaryen gıda ürünlerinin ne olduğu konusunda genel bir anlayış bulunmaktadır.

Birkaç uluslararası kuruluş, “veganlar/vejetaryenler için uygun” terimlerinin kullanımı konusunda bazı çözümler formüle etmiştir. Bunlar arasında Food Drink Europe (FDE) and European Vegetarian Union (EVU), International Standard Organization (ISO) tarafından Mart 2021’de yayınlanan ISO TC Standard, Almanya’nın ‘Leitsätze für vegane und vegetarische Lebensmittel mit Ähnlichkeit zu Lebensmitteln tierischen Ursprungs’ isimli tüzüğü ve İsviçre’nin 16 Aralık 2016’da yayınladığı ‘Verordnung des EDI betreffend die Information über Lebensmittel’ isimli tüzüğü bulunmaktadır (Anonymous, 2016; Anonymous, 2018b). Yukarda belirtilen tüzük ve standartlarda, vegan ve vejetaryen gıdaların kategorizasyonu ve tanımı ile ilgili ortak bir görüşü paylaşılmaktadır. “Vegan, gıda hayvansal kökenli herhangi bir bileşen, katkı maddesi veya işlem yardımcısı içermeyen ürün” olarak tanımlanırken, “vejetaryen (veya ovo-lakto-vejetaryen) gıda et, balık, deniz ürünleri veya bunların türevlerini içermeyen gıda” olarak tanımlanmaktadır.

AB düzeyinde, vegan ve vejetaryen gıda ürünlerini etiketlemeye yönelik tek program, Avrupa Vejetaryen Birliği’ne (EVU) ait olan V-label’dir. V-label’e göre (Anonymous, 2022a); **vejetaryen ürünlerde** et, balık, kümes hayvanları, hayvansal yan ürünler (jelatin gibi) ve bu tür hayvansal kaynaklı katkı maddeleri bulunmamalıdır. Ancak süt, yumurta, bal ve bunlardan elde edilen yan ürünler içerebilir. Bu durum, tüm üretim ve işleme adımlarında geçerlidir. Ayrıca canlı hayvanlar ve hayvansal kaynaklı ürünler yardımıyla oluşturulan gıda ve diğer ürünler de vejetaryen olarak kabul edilir. **Vegan ürünlerde** ise hiçbir şekilde et, süt, yumurta, bal, jelatin ve kazein gibi hayvansal içerikler barındırmaz. Ayrıca üretim süreçlerinde de balık jeli gibi hayvansal kaynaklı yardımcı maddeler kullanılmaz. Ürünün hem nihai hali hem de bileşenleri hayvanlar üzerinde test edilmemiş olmalıdır. Bir vegan ürün için, canlı hayvanlar veya hayvansal kaynaklı ürünler yardımıyla gıda ve diğer ürünler oluşturulmamalıdır. GDO içerdiği beyan edilen ürünler, kafes tavuklarından elde edilen yumurtaları içeren ürünler V-label lisansı alamamaktadır. Üretim sırasında herhangi bir noktada kasıtlı olarak hayvansal içerik eklenmemesi şartıyla şirketler, iz bileşenlerinin potansiyel varlığını belirterek, müşterilerin alerjik reaksiyonlar yaşaması durumunda herhangi bir yasal sonuca karşı kendilerini korumak amacıyla ‘içerebilir’ işaretini kullanabilmektedir. V-Label kriterlerine göre, son ürünlerdeki tüm doğrulanabilir hayvansal bileşenlerle toplam kontaminasyon %0.1’i (1g/kg) geçmemelidir.

2.1.3 Tüketici eğilimleri ve alternatif protein ürünlerinin pazar dinamikleri

Tüketicilerin alternatif protein bazlı ürünleri diyetlerinde kullanmaya yönelik itici güçler arasından en önemlisinin, alternatif protein bazlı gıdaların ve diyetlerin daha sağlıklı olduğu beklentisidir (Apostolidis and McLeay 2016; Mullee et al. 2017; Schenk et al., 2018; Birch et al., 2019; Circus and Robison 2019). İkinci en büyük itici güç ise hem çevresel etki hem de hayvan refahı ile ilgili ahlaki ve etik kaygılardan kaynaklanmaktadır (Apostolidis and McLeay 2016; Schenk et al., 2018; Circus and Robison 2019). Tüketicilerin diyetlerindeki alternatif protein bazlı ürünleri artırmak istemelerinin diğer yaygın nedeni de, yeni tatlar deneme ve yemeklerini çeşitlendirme arzusunda olması olarak gösterilmiştir (Apostolidis and McLeay 2016; Mullee et al., 2017).

Tüketiciler tarafından eğilimin alternatif protein bazlı ürünlere kaymasıyla birlikte özellikle Avrupa'nın gelişmiş ülkelerinde ve ABD'de piyasaya sürülen alternatif protein bazlı ürünlerin sayıları giderek hız kazanmıştır (Anonymous, 2019c). 2015'ten bu yana, hayvansal ürünlerin tadını, dokusunu ve görünümünü taklit eden bitki bazlı et ikamelerinin lansmanı dünya çapında 4400 ürünü aşmıştır. Süpermarketlerde bulunan alternatif protein bazlı ürün sayısı 2015 yılına göre beş kat yükselmiştir ve bazı gelişmiş ülkelerdeki süpermarketlerde et satışlarında düşüş meydana geldiğini bildirilmiştir (Anonymous, 2019d). Örneğin, Danimarkalı perakendeci COOP'un pazar analizine göre taze et satışları 2015'ten bu yana %5 azalmıştır (Samad et al., 2024). Buna ek olarak, bitki bazlı kıyma alternatifleri, toplam dana kıyma satışlarının %2'sini temsil etmeye başlamıştır (Dansk Handelsblad 2019).

Ayrıca son yıllarda çok sayıda hızlı gıda üretim zinciri, menülerinde vegan veya vejetaryen seçenekler sunmak için alternatif protein üreticileriyle anlaşmalar yaptığını duyurmuştur. Bitki bazlı et alternatifleri arasında küresel piyasaya hâkim şirketler olan Impossible™ Foods Inc. ve Beyond Meat® Inc. sırasıyla Burger King ve McDonalds ile anlaşma sağlamıştır. Burger King, Impossible Burger firması ile ortaklığı sonucunda menülerine Impossible™ Whopper'ı eklemişlerdir. Beyond Meat ise benzer şekilde McDonalds ile anlaşarak McPlant Burger'ı piyasaya sürmüştür. Beyond Meat protein kaynağı olarak bezelye, pirinç, bakla ve maş fasulyesi karışımını kullanırken Impossible™ Foods protein kaynağı olarak soya kullanmaktadır. Beyond Meat Inc., etin kırmızımsı rengini taklit etmek için pancar suyu ve elma özü kullanırken, Impossible™ Foods Inc., kırmızı renk elde edebilmek için hem proteini (soya leghemoglobin) kullanmaktadır. Beyond Meat

tarafından yaptırılan bir ürün yaşam döngüsü değerlendirmesinde, Beyond Burger'in ABD sığır etinden yapılan bir burgere kıyasla %90 daha az sera gazı emisyonu ürettiğini, %46 daha az enerji, %99 daha az su ve %93 daha az arazi kullanımı gerektirdiğini tespit edilmiştir (Anonymous, 2019e; Anonymous, 2022b; Anonymous, 2022c).

Alternatif protein bazlı ürünler ile ilgili eğilimin artmasının bir diğer nedeni ise dünya genelinde vegan ve vejeteryan diyet takibi yapan kişi sayısının artmasından dolayı kaynaklanmaktadır. 2012 ve 2016 yılları arasında Avustralya'da vejeteryan diyet uygulayan insan sayısının 1.7 milyon'dan 2.1 milyona yükseldiği bildirilmiştir (Anonymous, 2019f). Vegan Topluluğu, İtalya'daki vejeteryen nüfusun 2011 ve 2016 yılları arasında %94.4 arttığını açıklamıştır. Almanya'da, 2015 yılında %1 olan vegan-vejeteryen kişi sayı 2018 yılında nüfusun %7'sini oluşturmuştur (Anonymous, 2019g). Günümüzde ise bu miktarının % 10'a (8.4 milyon kişi) ulaştığı belirlenmiştir (Anonymous, 2024e). ABD'de vegan beslenmeyi benimseyenlerin kişi sayısı 2014 yılında dört milyonken 2017 yılında 19.6 milyona yükselmiştir. İngiltere'de ise vegan sayısının son beş yıl içinde dört katına çıktığı bildirilmektedir. Gıda Standartları Ajansı (FSA) ile Ulusal Sosyal Bilimler Araştırma Merkezi'nin gerçekleştirdiği "Yiyecek ve Siz" anketine göre, 2014 yılında Birleşik Krallık'ta yaklaşık 150.000 kişi vegan olarak tanımlanırken, 2019 yılında 720.000 kişiye ulaşmıştır. Bu rakam, ülkenin toplam nüfusunun yaklaşık %1.2'sine denk gelmektedir. (Anonymous, 2019g). Kyriakopoulou et al. (2019) ise, Avrupa ve Kuzey Amerika'daki et analogu ürünleri pazarının artık sadece vejeteryen veya vegan tüketicilerin ötesine geçerek et yiyen ve et seven tüketicileri de kapsadığını belirtmiştir.

Son yıllarda popülerlik kazanan bir başka diyet türü olan fleksitaryen beslenme türü ingilizcede "esnek" ve "vejeteryen" sözcüklerinin birleşiminden oluşmuştur. Fleksitaryen diyet türünde kişiler hayvansal gıdaları tamamen bırakmadan sebze ve meyveler ve tam tahıllara ağırlık vermektedirler. Almanya'da Biermann and Rau (2020) tarafından yapılan bir araştırmada 420 katılımcının yaklaşık yüzde 21'inin fleksitaryen diyet uyguladığı belirtilmiştir. ABD'deki tüketicilerin %12'si kendini fleksitaryen olarak tanımlarken, Birleşik Krallık'taki tüketicilerin %13'ü kendisini fleksitaryen olarak tanımlamaya başlamıştır. Finlandiya'da yapılan bir araştırmada, katılımcıların yüzde 13'ünün geçtiğimiz yıl daha az et ve daha fazla sebze tüketimine geçiş yaparken, katılımcıların yüzde 39'unun et tüketimini azaltmaya yönelik bir değişim yapmak istediklerini bildirmişlerdir (Latvala et al., 2012). Avustralya'da yapılan bir araştırmada

nüfusunun %12'sinin et alımını azaltmak veya et tüketimini tamamen sonlandırmak istediklerini belirtmişlerdir (Marinova and Bogueva, 2019). Ek olarak, et tüketiminin yüksek olduğu ABD'de önemli sayıdaki katılımcının (%66) üç yıl öncesine kadar et tüketimini azalttığını bildirdiğini tespit etmiştir (Neff et al., 2018).

İngiltere'de yapılan bir başka çalışma da katılımcıların günlük gıda tüketim uygulamalarında etin azaltılmasını destekleyen kademeli diyet değişiklikleri yapmaya olumlu yaklaşımlarının olduğunu işaret etmektedir (Grassian, 2020). 2019 yılında yapılan ve iklim değişikliği endişeleriyle ilgili olarak bitki bazlı diyetler hakkında soru soran küresel bir tüketici anketinde, tüketicilerin %40'ının hayvan kaynaklı protein kullanımını azaltmaya çalıştığını bildirirken, %10'unun da kırmızı etten tamamen kaçındığını belirtilmiştir. 2017'de Danimarkalıların %51'i haftada en az bir gün et tüketmekten kaçındıklarını bildirmiştir. 2019'da ise sayının daha da arttığı ve bu sayının %30'unun çok daha az et yediklerini ve son beş yıl içinde bu tüketimi azalttığını açıklamışlardır (Aschemann-Witzel et al., 2021). 12 ülkede 6.000 tüketiciyle yapılan bir küresel pazar araştırmasına göre tüketicilerin %36'sı gelecek yıl daha fazla alternatif protein bazlı ürün kullanmayı planlarken, %21'i ise daha az kullanmayı planladığı bildirilmiştir. Ankete katılanların yaklaşık %50'si ise mevcut et alımını değiştirme niyetinde olmadığı bildirmiştir. Gıda Pazarlama Enstitüsü tarafından yürütülen araştırma benzer şekilde, tüketicilerin %32'si geleneksel protein alımını azaltmayı amaçlarken, bu oranın %82'sinin sığır eti ve %79'unun domuz etinden kaçınacağı sonucuna varılmıştır (Joseph et al., 2020).

2.1.4 Alternatif protein kaynaklarının sağlık ve sürdürülebilirlik perspektifinden değerlendirilmesi

Son yıllarda tüketiciler arasında artan sağlık bilinci, fonksiyonel yiyecek ve içeceklere yönelik artan taleple birleştiğinde alternatif protein ürünlerine olan ilgi giderek artmıştır. Sağlıklı bir diyet ve sürdürülebilir gıda üretimi sağlamak amacıyla hedefler tanımlayan EAT-Lancet raporu, alternatif protein bazlı gıdaların tüketimini artırmanın hem sağlık ve hem de çevresel kapsamda daha faydalı olacağını belirtmiştir (Willett et al., 2019).

Kırmızı et içeriği yüksek diyetler; obezite, tip-2 diyabet, kardiyovasküler hastalık ve bazı kanserler dahil olmak üzere çeşitli sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilmektedir (Bouvard et al., 2015; Boada et al., 2016; Nadathur et al., 2016; Schwingshackl et al., 2018; Mann, 2018). Yapılan bir araştırmaya göre, 195 farklı ülkede işlenmiş et tüketiminin tavsiye edilen miktardan %90 daha fazla,

kırmızı et tüketiminin ise tavsiye edilen miktardan %18 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir (Afshin et al., 2019). Ortalama bir Avrupalı ise önerilen hayvansal protein alım miktarından yaklaşık %70 daha fazla tüketim gerçekleştirmektedir (Anonymous, 2017b). Hayvansal kaynaklı protein içeren ürünlerin kolesterol ve doymuş yağ içeriğinin yüksek olması, kardiyovasküler hastalıklar, kanser, diyabet vb. gibi çeşitli hastalıkların gelişimi için risk oluşturması, aşırı hayvansal protein tüketimiyle ilgili bir halk sağlığı endişesi doğurmaktadır. Bu nedenle geçtiğimiz yıllarda Avustralya Ulusal Kalp Vakfı (National Heart Foundation, beslenme önerilerinde kırmızı et tüketim miktarını 350 gram/hafta önerisini sunmuştur (Anonymous, 2019h). Ayrıca COVID-19 pandemisinin, dünya genelinde alternatif protein endüstrisine beklenmedik bir artış sağlayacağı öngörülmektedir. Tıbbi araştırmalar, koronavirüs hastalığının diyabet, hipertansiyon ve kalp hastalığı gibi altta yatan sağlık sorunları olan insanlar üzerinde daha fazla bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Alternatif protein bazlı diyetle bulunan besleyici özellikler sayesinde virüsün risk altındaki insanlar üzerindeki etkilerini azaltmaya yardımcı olabileceği düşünülmektedir (Anonymous, 2020a). Geçtiğimiz yıllarda yaşamış olduğumuz COVID-19 pandemisi doğrudan çiftlik hayvanlarıyla ilişkili olmasa da zoonotik viral enfeksiyonlarla ilgili kaygıları artırmıştır. İnsan patojenlerinin büyük bir kısmının hayvan kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir (Taylor et al., 2001; Woolhouse and Gaunt, 2007; Jones et al., 2008). Domuzlar üzerine gerçekleştirilen bir araştırmada, patojen olduğu bilinen altı farklı koronavirüs belirlenmiştir. Bu virüslerinin bazılarının insan akciğer ve bağırsak hücrelerine kolaylıkla bulaşabildiği ve insan serumuyla etkili bir şekilde nötralize edilemediği saptanmıştır. Bazı koronavirüs türlerinin kuşlardan memelilere geçiş potansiyeline dikkat çeken çalışmalar da literatürde bulunmaktadır (Lau et al., 2018; Sun et al., 2020; Gong et al., 2020; Edwards et al., 2020). Bunun yanı sıra Afrika Domuz Vebası (ASF) gibi modern hayvancılık sektöründe yaşanan salgınlar, alternatif protein kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır. Ülkemizde de etkileri görülen kuş gribi salgını, kanatlı sektöründe arz eksikliklerine, ticaret zincirinde aksamalara ve tüketici güveninin azalmasına neden olarak pazar kayıplarını beraberinde getirmiştir (Alders et al., 2014; Pitts and Whitnall, 2019; Scott et al., 2020). Bu durum, yalnızca vahşi hayvanlardan değil, çiftlik hayvanlarından kaynaklanabilecek zoonotik enfeksiyonların da insan sağlığı için ciddi bir risk oluşturabileceğini ve bu tür salgınların gıda güvenliği üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini göstermektedir.

2.1.5 Sürdürülebilir gıda sistemleri ve alternatif proteinlerin politik ve ekonomik destekleri

Son 10 yılda hem üreticilerin hem de tüketicilerin alternatif protein bazlı ürünlere artan ilgisiyle beraber özellikle Avrupa’da sürdürülebilir ürünler için artan politik bir yönelim ve tüketici desteği meydana gelmiştir (Lonnie et al., 2018; Anonymous, 2019b).

Hızlı ekonomik genişlemeyle beraber et tüketiminde yaşanan artıştan sonra Çin hükümeti “diyet yönergeleri” yayınlarak ülkenin et alımını %50 oranında azaltmayı planlamaktadır. 2018 yılında Hollanda Çevre ve Altyapı Konseyi, hükümetin daha sürdürülebilir proteinlere geçiş için gıda sistemi genelindeki paydaşlarla çalışması için tavsiye kararı almıştır (Anonymous, 2020b). İsrail’de geniş ekosistem desteği ve liderliğin yanı sıra Fresh Start gibi gıda teknolojisi şirketlerine devlet finansmanı sağlanmaktadır. Hükümet yetkilileri ülkelerinin "alternatif et ve alternatif protein için bir merkez" haline geldiğini görme arzusunu dile getirmişlerdir (Anonymous, 2021e). Kanada’nın Regina, Saskatchewan bölgesinde bulunan Protein Industries Supercluster, işletmelere gıda sistemi genelinde protein inovasyonunu yönlendirmeleri ve bitki proteini pazarını yurtiçi ve uluslararası olarak genişletmeleri için toplam 150 milyon dolarlık destekte bulunmaktadır (Anonymous, 2022d). Avrupa Birliği, "Tarlardan Çatala" projesinin parçası olan ve alternatif proteinler üzerine bir araştırma programı ile alternatif proteinler ve bunların sağlık ve çevre üzerindeki etkileri üzerine yapılacak çalışmalar için toplam 32 milyon Euro bütçe ayırmıştır. Hindistan hükümeti ölçeklenebilir hücre bazlı et araştırmaları için Haydarabad'daki iki enstitüye 640 bin dolarlık bir hibe sağlamıştır (Anonymous, 2022e). Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı, bir gıda teknolojisi şirketi olan IntegriCulture'a 'ticari hücresel tarım tesisi' inşa etmesi için 2.2 milyon dolarlık hibe sağlamıştır (Anonymous, 2022f). İngiltere, gıda üretimini sürdürülebilir hale dönüştürmek için 90 milyon sterlinlik bir Birleşik Krallık Araştırma ve İnovasyon programı oluşturmuş ve geniş bir alternatif protein ve tarım teknolojisi araştırma projeleri yelpazesi ortaya çıkararak öncü firmalara fon sağlamaya başlamıştır (Anonymous, 2021f).

Son dönemlerde iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik uygulamalar dünya genelinde hız kazanırken, bu mücadele ile ticaret politikaları arasındaki etkileşim daha belirgin hale gelmiştir. Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması, küresel ekonomi aktörleri tarafından ortak bir öncelik olarak kabul görmüştür. Çevresel etkileri göz önünde bulundurarak ekonomik büyümeyi gerçekleştirmek ve şirketler

ile yatırımcıları küresel ısınmayı azaltma hedefleri doğrultusunda hareket etmeye yönlendirmek için dünya genelinde yeni düzenlemeler yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, iklim kriziyle mücadelenin uluslararası ekonomi ve ticaret stratejilerinin merkezine yerleşmesine neden olmuştur. Avrupa Birliği de bu doğrultuda, yalnızca çevresel bir strateji değil, aynı zamanda ekonomik yapıda bir dönüşümü hedefleyen Avrupa Yeşil Mutabakatı'nı açıklamıştır (Anonymous, 2021g). Bu planla Avrupa Birliği, 2050 yılı itibarıyla karbon salınımını sıfıra indiren ilk kıta olma hedefini ortaya koyarken, aynı zamanda sanayisini yeniden yapılandırmayı gerektiren bir büyüme modeline geçeceğini duyurmuştur. Ayrıca, bu yeni politika içerisinde, AB'nin tüm ekonomik ve sektörel düzenlemelerini iklim değişikliği odaklı bir yaklaşımla yeniden şekillendireceği vurgulanmıştır. Yeşil Mutabakat kapsamında önerilen politikaların Avrupa endüstrisi üzerinde yaratacağı maliyetlerin yönetilmesi ve üretim ile yatırımların karbon salınım hedefleri düşük olan diğer ülkelere kaymasını önlemek amacıyla "Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması" geliştirilmiştir. Bu mekanizma, ithalat ürünlerinin fiyatlandırılmasında karbon ayak izinin dikkate alınmasını öngörmektedir ve ilgili düzenleme 2021 yılında Avrupa Komisyonu tarafından yayımlanmıştır. AB'nin 2050 yılına kadar karbon-nötr bir kıta olma hedefini açıklamasının ardından, dünya genelindeki iklim politikaları da hız kazanmıştır. Örneğin, 2020 yılında Güney Kore, Japonya ve Çin gibi önde gelen ticaret ülkeleri, yeşil dönüşüm odaklı hedeflerini duyurmuşlardır. İsveç, Norveç, Kanada, Şili ve Güney Afrika gibi ülkeler de sıfır karbon salınımı hedeflerini ilan eden ülkeler arasında yerlerini almışlardır.

2.2 Endüstriyel Et ve Et Alternatiflerinin Üretimlerinin Enerji, Ekserji ve Yaşam Döngüsü Analizleri

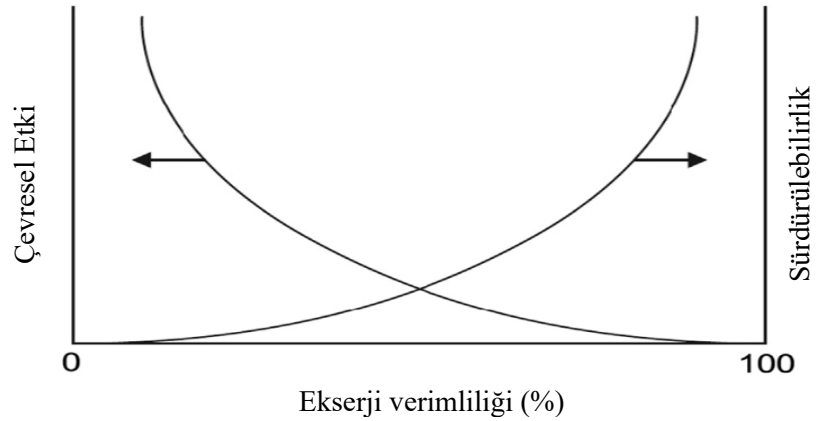
Son yıllarda meydana gelen enerji krizi ve çevresel kaygılar en maliyet etkin ve çevre dostu enerji kullanım yollarının araştırılmasına olan ilgiyi giderek artırmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde enerji ve ekserji analizleri gibi güçlü mühendislik araçlarının uygulanmasıyla enerji sistemlerinin performans analizleri gerçekleştirilmektedir.

2.2.1 Enerji ve ekserji verimliliği yaklaşımı

Enerji analizi, çeşitli enerji dönüşüm sistemlerini araştırmak için uygulanan geleneksel bir yaklaşımdır. Ancak enerji kavramı, enerji kaynaklarının kalitesini ölçme ve değerlendirmede tek başına yeterli olmamaktadır. Ekserji analizi, klasik

enerji analizine kıyasla termodinamik verimsizlikleri daha doğru bir şekilde belirleme ve nicelendirme yeteneği sayesinde enerji sistemleri için daha güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır (Aghbashlo et al., 2013). Bu durum, enerjiyi hem miktar hem de kalite açısından ele alan ve sırasıyla birinci ve ikinci termodinamik yasaları kullanmasından kaynaklanmaktadır. Ekserji kavramının disiplinler arası bir yapıda olması; daha yüksek verimlilik, maliyet etkinliği, kaynak kullanımı, tasarım, analiz, çevre ve sürdürülebilirlik gibi önemli hedeflere eşzamanlı olarak ulaşılmasına yardımcı olmaktadır. Dolayısıyla bu analiz, enerji tüketen sektörlerde enerjinin daha etkili kullanımına yönelik metodolojilerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Son yıllarda, bu kavramın ve uzantılarının çeşitli enerji dönüşüm sistemlerini analiz etmek ve optimize etmek için uygulanmasına olan ilgi giderek artmaktadır. Ekserji verimliliği ve çevresel etki arasındaki ilişki Şekil 2.1’de (Dincer, 2011) gösterilmiştir. Dincer (2011)’e göre bir enerji sisteminin ekserji verimliliğinin artması, çevresel etkisini azaltmakta ve sürdürülebilirlik indeksini artırmaktadır.



Şekil 2.1 Bir enerji sisteminin çevresel etkisi ve sürdürülebilirliği ile ekserji verimliliği arasındaki ilişki (Dincer, 2011)

Gıda fabrikaları yoğun bir şekilde enerji kullanmaktadır. Gıda endüstrisinde kullanılan enerji nedeniyle hem çevrenin korunması hem de süreç boyunca kullanılan enerjiden maksimum fayda sağlanması gerekmektedir. Gıda işleme birimlerinin termal ve elektrik enerjisi talebinin büyük bir kısmı hâlâ sera gazı emisyonuna neden olan fosil yakıtlarla karşılanmaktadır (Rajaeifar et al., 2019). Ancak, fosil yakıtların kullanımıyla ortaya çıkan çevresel sorunlar ve bu kaynakların sınırlı olması konusundaki artan kamu bilinci, enerji verimli ve çevre

dostu gıda işleme tesislerinin geliştirilmesi ve uygulanması gerekliliğini doğurmuştur. Buna ek olarak, gıda ürünlerinin birim maliyeti, enerji maliyetinden önemli ölçüde etkilenmektedir (Jokandan et al., 2015; Soufiyan and Aghbashlo, 2017). Bu doğrultuda, çeşitli birim işlemlerin enerji performansını iyileştirmek, gıda endüstrisinde bir öncelik haline gelmiştir. Gıda sanayinde enerji verimliliğindeki meydana gelebilecek artışlar, fosil yakıtların yakılmasına bağlı olarak sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azalmasının yanı sıra enerji kullanımına bağlı üretim maliyetlerini de düşürecektir. Gıda endüstrisinde enerji ve ekserji analizlerinin yetersiz anlaşılması ve düşük uygulanabilirliği, işletmeler için önemli enerji kayıplarına yol açmaktadır. Bu nedenle gıda sektöründe endüstriyel ölçekte gerçekleştirilen performans analizlerinin büyük bir önemi bulunmaktadır.

Gıdaların işlenmesi sırasında gerçekleştirilen performans analizleri ile ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde pilot ölçekli ve endüstriyel ölçekli çalışmaların yapıldığı tespit edilmiştir. Endüstriyel çalışmalar kapsamında Bayrak et al. (2003), şerbet üretimi, damıtma, yoğunlaştırma ve kristalizasyon dahil olmak üzere dört şeker üretim aşamasının ekserjetik performansını değerlendirmiştir. Şeker üretim aşamalarının ekserji verimlilikleri bu üretim aşamaları için sırasıyla %49.3, %62.1, %91.9 ve %61.7 olarak belirlenmiştir. Apaiah et al. (2006), üç gıda tedarik zincirinin (domuz kıyması, bezelye proteini bazlı ürün ve bezelye çorbası) çevresel etkilerini karşılaştırmak için ekserji analizi kullanmıştır. Gıda tedarik zincirlerinin ekserji verimlilikleri yenilenebilir kaynaklar göz önüne alındığında sırasıyla %0.09, %0.2 ve %0.48 olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde, Ozgener and Ozgener (2006) endüstriyel bir makarna kurutma sürecinin ekserji analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Makarna kurutma sürecinin ekserji verimliliğinin %72.98 ile %82.15 arasında olduğu tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada ise enerji ve ekserji analizleri kullanılarak endüstrideki portakal suyu üretiminin enerji tüketim modeli incelenmiştir (Waheed et al., 2008). Çalışma sonucunda portakal suyu üretim sürecinin ortalama enerji yoğunluğu 1.12 MJ/kg olarak bulunmuştur. Ayrıca üretim hattındaki en büyük verimsizliğin (yüzde 90'ın üzerinde) pastörizatörden kaynaklandığını, ardından ambalajlamanın (%6.60) geldiğini ortaya konulmuştur.

Ozilgen and Sorguven (2011) çiftlikten sofraya yaklaşımını kullanarak soya yağı, ayçiçek yağı ve zeytinyağı üretimi sırasında enerji ve ekserji kullanımını ve karbondioksit emisyonunu değerlendirmiştir. Zeytinyağı, ayçiçek yağı ve soya yağı üretimi ile ilişkili enerji kullanımlarının sırasıyla 40114 MJ/ton, 15591 MJ/ton ve 38096 MJ/ton olduğu saptanmıştır. Benzer bir çalışmada (Sorguven ve Ozilgen 2012), aromalı yoğurt üretim sürecinin çevresel etkisini değerlendirmek için

ekserjetik yaşam döngüsü yaklaşımı uygulanmıştır. Analiz; tarım, süt çiftçiliği ve endüstriyel süreçler olmak üzere yoğurt üretiminin üç önemli aşamasını kapsamıştır. Toplam ekserji kaybı, ton başına 75792 MJ olarak bulunmuştur. Sonuçlar, süt üretiminin (süt çiftçiliği), toplam ekserji kaybına en yüksek katkıyı sağlayarak genel ekserji kaybının %53'ünü oluşturduğunu göstermiştir. Benzer şekilde Nijerya'da bulunan bir bitkisel yağ rafinerisi için enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilerek üretim sürecindeki her bir operasyonun enerji ve ekserji kayıpları değerlendirilmiştir (Sulaiman et al., 2012). Performans analizleri sonucunda 100 ton palm çekirdeği yağını yenilebilir yağa dönüştürmek için gereken enerjinin 487.04 MJ/ton olarak hesaplanmış olup, bu enerjinin %4.65'i elektrik enerjisi, %95.23'ü termal enerji ve %0.12'si manuel enerjiden oluştuğu saptanmıştır. En fazla enerji tüketen işlem grubunun, net enerji girdisinin %56.26'sını oluşturan deodorizatör olduğu tespit edilmiştir. Tesisin ekserji verimliliği %38.6 olup, toplam ekserji yıkımı ise 29.92 MJ olarak belirlenmiştir.

Zisopoulos et al. (2015) ise gıda atıkları üreten, gıda atığı oluşumunu önleyen ve gıda atıklarını yeniden işleme sistemine sahip üç endüstriyel ekmek üretim zincirinin ekserjetik performansını karşılaştırmıştır. En iyi ekserjetik performansın, en yüksek ekserji verimliliği (%71.2) ve en düşük ekserji kayıpları (5.4 MJ/kg esmer ekmek) nedeniyle gıda atığı oluşumunu önleyen sistem olduğu saptanmıştır. Başka bir çalışmada Genc and Hepbaşlı (2015) bir yanma odası, ısı değiştirici ve fritözden oluşan bir patates cipsi kızartma sisteminin ekserjetik performansını değerlendirmiştir. Yanma odası, ısı değiştirici ve fritözün ekserji verimlilikleri sırasıyla %58, %82 ve %77 olarak hesaplanmışken, tüm kızartma sisteminin ekserji verimliliği %4 olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'deki bir şeker fabrikasında gerçekleştirilen çalışmada (Taner and Sivrioğlu, 2015) ise enerji ve ekserji analizleri uygulanarak şeker üretim sürecindeki enerji ve ekserji kayıplarını azaltılması ve enerji tasarrufunun sağlanması hedeflenmiştir. Performans analizleri sonucunda fabrikanın toplam enerji ve ekserji verimlilikleri sırasıyla %72.2 ve %37.4 olduğu saptanmış ve bu sonuçlara göre enerji kalitesinin 0.64 olduğu tespit edilmiştir. Mevcut türbin gücü prosesinin enerji ve ekserji verimlilikleri sırasıyla %46.4 ve %27.7 iken, optimize edilmiş türbin gücü prosesinin enerji ve ekserji verimlilikleri %48.7 ve %31.7 olduğu tespit edilmiştir.

Endüstriyel pastörize yoğurt üretim tesisinde gerçekleştirilen ekserji analizi sonucunda ise ekserji yıkımı değerlerinin buhar jeneratöründeki kazan ve hava

kompresörü kombinasyonu için 12485 kW, soğutma sistemindeki buz-su tankı ve karıştırıcı kombinasyonu için 2901 kW ve buhar jeneratöründeki basınç düşürücü için 732 kW olduğu tespit edilmiştir (Jokadan et al., 2015). Yıldırım and Genc (2017) yapmış olduğu çalışmada süt tozu üretim sisteminin ekserji analizini üç süreç (pastörizasyon, buharlaştırma ve sprey kurutma) içerecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada süt tozu üretim sistemi için ekserji verimliliği, iyileştirme potansiyel oranı, sürdürülebilirlik indeksi gibi farklı performans parametrelerini kullanarak kapsamlı bir ekserji analizi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda sistem bileşenlerinin ekserji verimlilikleri %9–83 arasında bulunmuştur. Tüm süt tozu üretim sisteminin genel enerji ve ekserji verimlilikleri sırasıyla %85.4 ve %57.5 olarak hesaplanmıştır. Kırmızı şarap üretim hattında gerçekleştirilen ekserji analizi sonucunda tüm sistemin toplam ekserji yıkımının 344.1 kW olarak belirlenirken, sistemdeki en büyük ekserji yıkımı açık fermentörde gerçekleşmiş ve 333.6 kW olduğu tespit edilmiştir. Sistem ekserji verimliliği ise %41.8 olarak hesaplanmıştır (Genc et al., 2017). Aynı yıl endüstriyel ölçekli ultrafiltre peynir üretim tesisinin performansı ve ana alt bileşenleri hakkında gerçek işletme verilerine dayalı bir ekserji analizi gerçekleştirilmiştir (Nasiri et al., 2017). Bu kapsamda buhar jeneratörü, soğutma sistemi, pastörizasyon hattı ve ultrafiltre peynir üretim hattı değerlendirilmiştir. Ultrafiltre peynir üretimi sırasında meydana gelen ekserji yıkımının 2330 kJ/kg olduğu belirlenmiştir. Buhar jeneratörü, soğutma sistemi, pastörizasyon hattı ve ultrafiltre peynir üretim hattının ekserji yıkımı değerlerinin ise sırasıyla 1338, 386, 283 ve 324 kJ/kg olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, analiz sonucunda buhar üretim sisteminin ultrafiltre peynir üretiminin termodinamik verimsizliğine en büyük katkısı sağladığı gözlemlenmiştir.

Sheikhshoei et al. (2019) yapmış oldukları çalışmada, ekserji analizlerinden faydalanarak endüstriyel ölçekli bir Antep Fıstığı kavurma tesisinde enerji iyileştirmeleri için kritik noktaları belirlemişlerdir. Analiz sonucunda kabuğu çıkarılmamış Antep Fıstığının kavurma tesisindeki ekserji yıkım değerinin 4120 kJ olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak 1 kg kabuğu çıkarılmamış Antep fıstığı için kavurma ve kurutma birimlerinin ekserji yıkımlarına katkılarının sırasıyla %19.6 ve 80.4 olduğu hesaplanmıştır. Kavurma ve kurutma birimlerinin ekserji verimliliklerinin ise sırasıyla %8. ve %12.2 olduğu belirlenmiştir.

Literatürde pilot ve laboratuvar ölçekte gerçekleştirilen performans analizleri çalışmaları incelendiğinde farklı gıda üretim süreçlerinin değerlendirilmesinde enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizlerin başarı ile uygulanabildiği tespit edilmiştir. Genel olarak pilot ve laboratuvar ölçekli çalışmalarda gerçekleştirilen

enerji ve ekserji analizlerinin genellikle kurutma işlemine odaklandığı görülmüştür. Erbay and Icier (2009), zeytin yapraklarını tepsili kurutucu kullanarak çeşitli hava sıcaklıkları ve hızlarında kurutmuş; bu süreçte enerji ve ekserji analizleri yaparak işlem parametrelerinin performansa etkilerini değerlendirmiştir. Sistemin ekserji veriminin %55.95 ile %75.12 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, hava sıcaklığı ve hızındaki artışın ekserji verimini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Başka bir çalışmada (Icier et al., 2010) başlangıçta %87 nem içeriğine sahip olan brokoli örnekleri %8 nem içeriğine düşürülene kadar üç farklı kurutma sisteminde kurutulmuştur. Çalışmada, farklı kurutma hava hızları, hava sıcaklıkları ve kurutucu türlerinin performansları analiz edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, tepsili kurutucu, akışkan yatak kurutucu ve ısı pompalı kurutucuların performansları karşılaştırılmıştır. Akışkan yatak kurutucu, %90.86 ile en yüksek ekserji verimine ulaşırken, ısı pompalı kurutucu ise 45 °C hava sıcaklığı ve 1.0 m/s hava hızı koşullarında en yüksek geliştirme potansiyeli oranına (GP) sahip olmuştur. Bir diğer çalışmada (Gungor et al., 2011), üç tıbbi ve aromatik bitki bir ısı pompalı kurutucuda kurutulmuştur. Kurutma deneyleri, 45 °C hava sıcaklığında ve 1 m/s hava hızıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, kurutucunun performansı ve ana bileşenleri, ekserji analizi yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Gaz motoru, genişleme valfi ve kurutma kanalları, sistemdeki ekserjinin %60'ından fazlasını oluşturmaktadır. Ekserji verimlilik değerleri; ısı pompası ünitesi için %77.68–79.21, ısı pompası ünitesi için %39.26–43.24, kurutma odası için %81.29–81.56 ve genel kurutma sistemi için %48.24–51.28 arasında bulunmuştur. Erbay and Hepbasli (2014) yapmış oldukları çalışmada defne yapraklarını 45 °C sıcaklıkta kurutmuş ve kurutma sisteminin tüm bileşenleri ayrı ayrı değerlendirilerek performans verimlerini analiz etmişlerdir. İncelemeler sonucunda, sistem verimliliğini en fazla etkileyen bileşenin kondenser olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, kompresör ve evaporatör, geliştirilme potansiyeli en yüksek sistem bileşenleri olarak öne çıkmıştır. Sistemin ekserji verimi ise %77.05 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde Aviara et al., (2014) tepsi tipi bir kurutucuda nişastasının kurutulmasına ilişkin enerji ve ekserji analizlerini; sistemin enerji kullanımı, enerji kullanım oranı, enerji verimliliği, ekserji girişi ve çıkışı, ekserji kaybı ve ekserji verimliliği açısından değerlendirmişlerdir. Sonuçlar sistemdeki kurutma sıcaklığı 40 °C'den 60 °C'ye arttıkça enerji kullanımının 1.93'ten 5.51 J/s'ye yükseldiğini göstermiştir. Enerji verimliliği %16.04'den %30.65'e artarken, ekserji girişi 0.40'dan 2.69 J/s'ye, ekserji çıkışı 0.055'ten 0.555 J/s'ye ve ekserji kayıpları 0.34'ten 2.13 J/s'ye artmıştır. Ekserji verimliliği hem kurutma havası sıcaklığı hem de enerji kullanımı ile artmıştır.

Ayub et al., (2017) Scheffler yansıtıcı tarafından güçlendirilen yenilikçi bir güneş fırını ünitesinin enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirmişlerdir. Pişirme işlemleri, 180 °C’de dört ürün örneği (kek) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fırınlama odasında yapılan pişirme işleminin performans analizi sonucunda enerji kullanımı, enerji kullanım oranı, ekserji kayıpları ve ekserji verimliliği değerleri sırasıyla 0.01–0.07 kW, %25–75, 0.19–1.08 kW ve %6.62–56.46 arasında değişimler gösterdiğini ortaya konulmuştur. Sistemin genel ekserji verimliliğinin ise %59.26 olduğu saptanmıştır. Azadbakht et al. (2017), patlıcanı pilot ölçekli bir akışkan yatak kurutucu kullanarak kurutulması sırasındaki enerji ve ekserji kayıplarını analiz etmişlerdir. Bu çalışmada kurutma işlemleri, 40°C, 50°C ve 60°C giriş sıcaklıklarında ve 3, 5 ve 7 m.s⁻¹ hava hızlarında, çapları 5, 10 ve 13 mm ve yüksekliği 1 cm olan numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık, kurutma havasının hızı ve numune boyutunun enerji tüketimi ve ekserji kayıpları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, minimum enerji tüketimi ve ekserji kayıplarının 13 mm çapında, 3 m.s⁻¹ hızda ve 40°C sıcaklıkta gerçekleştiğini göstermiştir. Buna karşılık, maksimum enerji tüketimi ve ekserji kayıpları, 5 mm çapında, 7 m.s⁻¹ hızda ve 60°C sıcaklıkta gözlemlenmiştir. Genel olarak, daha yüksek sıcaklık, hız ve daha küçük çaplı patlıcan numunelerinin enerji tüketimini artırdığını göstermiştir. Ek olarak ekserji kayıpları sıcaklık ve hız artışlarıyla artmıştır ancak numune boyutundaki değişikliklerin ekserji kayıpları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bir başka çalışmada, mantar dilimlerinin kurutulmasında kullanılan bir konveyörlü kızılötesi-sıcak hava kurutucusunun ekserjetik performansı araştırılmıştır. Kurutma süresinin, hava geri dönüşüm yüzdesi %50’ye kadar arttıkça azaldığını ancak geri dönüşüm yüzdesinin daha fazla artırılmasıyla kurutma süresinin artmaya başladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, hava geri dönüşüm yüzdesi, kurutma sıcaklığı ve kızılötesi gücün artırılması, ekserji verimliliğini iyileştirmiştir. Kurutma işleminin optimum koşullarının 90 °C sıcaklık, 839.13 W kızılötesi güç, %90 hava geri dönüşümü ve 1 m/s hava hızı olduğu saptanmıştır (Afzali et al., 2019). de Araujo et al., (2021) 3 mm kalınlığındaki armut dilimlerini, sabit kütleyle ulaşana kadar 50 ile 100°C arasındaki sıcaklıklarda bir kızılötesi kurutucuda kurutmuşlardır. Enerji ve ekserji analizi, termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. En düşük enerji tüketimi (10.28 kWh/kg), en yüksek kurutma sıcaklığında gözlemlenmiştir. Aynı zamanda kurutma sıcaklığındaki artış işlemin enerji ve ekserji verimliliklerini olumlu yönde etkilemiştir. Farklı kurutma sıcaklıklarındaki enerji verimliliklerinin %40 ile %99 arasında değiştiği saptanmıştır. Diğer bir çalışmada (Dolgun et al., 2022), infrared (IR) destekli konvektif ceviz kurutma sisteminin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Kombine ısı transferi, ürün-kaynak mesafesi ve sıcaklık-bağıl nem

(RH) kontrolünün cevizlerin gıda kalitesi ve sistem performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kurutma işlemleri, IR lamba kullanılarak ve kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Kurutma havasının sıcaklığı ve bağıl nem oranı sırasıyla 40°C ve %20 olarak ayarlanmıştır. Ürün ile IR kaynağı arasındaki mesafe 20 cm ve 30 cm olarak değiştirilmiştir. Ekserji verimlilikleri, IR kullanılmadan %60.81 ile %88.19 arasında, IR kullanıldığında ise %72.73 ile %78.54 arasında değişim göstermiştir. Konvektif sisteme kıyasla, IR kullanımı ve 20 cm mesafede enerji ve zaman tasarrufu sırasıyla %14.7 ve %26.1 oranında artış göstermiştir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde endüstriyel boyutta et ürünleri ve bu ürünlerin vegan alternatiflerinin üretiminin incelenmesine yönelik enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizlerinin uygulandığı çalışmalar, yazarın bilgisi dahilinde, bulunmamaktadır. Ramirez et al. (2006) yapmış oldukları çalışmada dört farklı Avrupa ülkesinde (Fransa, Almanya, Hollanda, İngiltere) et ve işlenmiş et ürünlerinin (dana eti, domuz eti, beyaz et) üretimi sırasında tüketilen toplam enerji miktarlarını belirlemişlerdir. Ancak yapmış oldukları çalışma sadece üretimler sırasında tüketilen enerjinin tespit edilmesiyle sınırlı kalmıştır. Fritzson and Berntsson (2006) benzer şekilde yapmış oldukları çalışmada endüstriyel ölçekte dana eti kesim ve et işleme sırasında tüketilen toplam enerji ve karbon salımını miktarlarını tespit etmişlerdir. Kalhor et al. (2016) yapmış oldukları çalışmada ise tavuk eti üretiminde 1 ton paketlenmiş ürün başına enerji tüketiminin 133.46 GJ olduğunu saptamışlardır. 2012 yılında gerçekleşen diğer bir çalışmada Polonya’da endüstriyel üretim yapan bir fabrikada kürlenmiş ve tütsülenmiş domuz ve dana eti üretiminin enerji tüketimi ve enerji verimliliği analizleri gerçekleştirilmiştir (Wojdowski et al., 2012). Avustralya’da gerçekleştirilen çalışmada ise dana karkas üretimindeki toplam enerji tüketiminin ise 24.3-29.5 MJ/kg karkas ağırlığı olduğu saptamıştır (Peters et al., 2010). Nunes et al. (2016) gerçekleştirmiş olduğu çalışmada Portekiz’de bulunan et işleme tesislerinin elektrik enerjisi tüketimlerini değerlendirilmişlerdir. Çalışmada mezbahalar için elektrik enerjisi tüketiminin ortalama değeri 149 kWh/ton, sucuk/sosis tesisleri için 660 kWh/ton ve jambon üretim tesisleri için 1208 kWh/ton olduğu saptanmıştır. Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde endüstriyel et ve et ürünleri üretimi için yapılan çalışmalarda üretimde tüketilen toplam enerji miktarının tespitiyle sınırlı kaldığı ve ekserji ve eksergo-ekonomik analizlerinin gerçekleştirilmediği belirlenmiştir.

Literatürde pilot ölçekte gerçekleştirilen et pişirme ile ilgili çalışmalarda uygulanan performans analizleri incelendiğinde ise çoğunlukla et örneklerine uygulanan alternatif güncel pişirme işlemlerinin (ohmik çözündürme ve ohmik

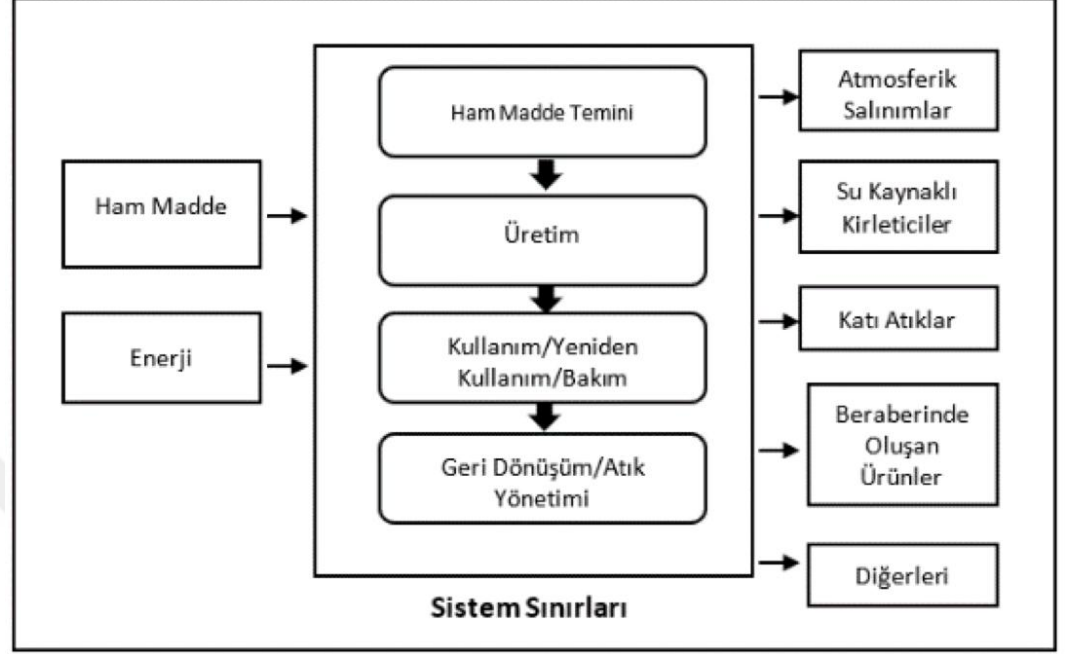
ısıtma) ekserji ve eksergo-ekonomik analizlerinin ortaya koyulduğu dikkati çekmektedir. Bozkurt and Icier'in (2010) yapmış oldukları çalışmada dana eti örneklerini ohmik ısıtma işlemi uygulayarak 3 farklı voltaj gradyanında pişirmiş ve bu pişirme işlemlerinin enerji ve ekserji verimlilikleri tespit edilmiştir. (Çokgezme et al. (2021) ise ohmik ısıtma kullanılarak 3 farklı voltaj gradyanında dana eti örneklerini çözündürmüş ve çözündürme işleminin enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Benzer şekilde literatürde et analoglarının üretim sürecinin incelenmesine yönelik gerçekleştirilen enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizlerinin de sınırlı sayıda kaldığı tespit edilmiştir. Jung et al. (2022) yapmış oldukları bir çalışmada soya proteini bazlı bir et analogunun üretimi için ohmik pişirmenin potansiyeli araştırmış ve ohmik pişirme işleminin enerji tüketimini ve enerji verimliliğini tespit etmişlerdir. Ancak literatürde endüstriyel boyutta et analoglarının üretiminin performans analizinin incelendiği bir çalışmanın, yazarın bilgisi dahilinde, bulunmadığı belirlenmiştir.

2.2.2 Yaşam döngü analizi yaklaşımı

Yaşam döngü analizi (YDA) kavramı ilk olarak 1960'larda ortaya çıkmasına rağmen, 1970'lerden itibaren YDA metodolojisini geliştirmeye yönelik çabalar oluşmaya başlamıştır. 1990'lardan itibaren ise çevre bilimcileri tarafından yaşam döngü analizleri büyük bir ilgi görmeye başlamıştır. Kuzey Amerika'daki SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) ve ABD Çevre Koruma Ajansı, yaşam döngüsü envanter analizi ve etki değerlendirmesi için bir çerçeve üzerinde fikir birliği oluşturmak amacıyla atölye çalışmaları ve çeşitli projeler düzenlemiştir. Benzer çabalar SETAC-Avrupa, Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) gibi kuruluşlar ve dünya çapındaki YDA uygulayıcıları tarafından da gerçekleştirilmiştir. Bu çabalar sonucunda, genel bir YDA çerçevesi ve iyi tanımlanmış bir envanter metodolojisi üzerinde fikir birliğine varılmıştır (Roy et al., 2009). ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarına göre yaşam döngüsü analizi (YDA), bir ürün, hizmet ya da faaliyetin çevresel etkilerini değerlendiren bir yöntemdir. Bu analiz, hammaddelerin temininden başlayarak işleme, üretim, dağıtım, kullanım, olası geri dönüşüm veya yeniden kullanım süreçleri ile nihai atık yönetimine kadar tüm yaşam döngüsü aşamalarını kapsamaktadır (Rafiee et al., 2015; Kumar et al., 2019). Çevresel yük, enerji tüketimi, doğal kaynakların azalması, hava emisyonları ile toprağa ve suya verilen kirlilik gibi çevreye yönelik çeşitli etkileri ifade eder. Yaşam döngü analizi bir ürünün üretim süreçleri boyunca

meydana gelen çevresel etkileri dikkate alarak, ürün veya sürecin çevresel boyutlarını kapsamlı bir şekilde analiz etmektedir (Yıldız ve Atış, 2023) (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 YDA'nın bir üretim sürecindeki yaklaşımı (Eren ve ark., 2022)

Hedef ve kapsamın belirlenmesi, envanter analizi, etki değerlendirmesi ve yorumlama aşamalarından oluşan YDA yöntemi sayesinde, bir faaliyetin çevresel etki kategorilerindeki potansiyeli hakkında nicel ve genel bilgiler elde edilebilmektedir (Pennington et al., 2004; Burn et al., 2018) (Şekil 2.3). Yaşam döngü analizinin 4 aşaması şu şekildedir;

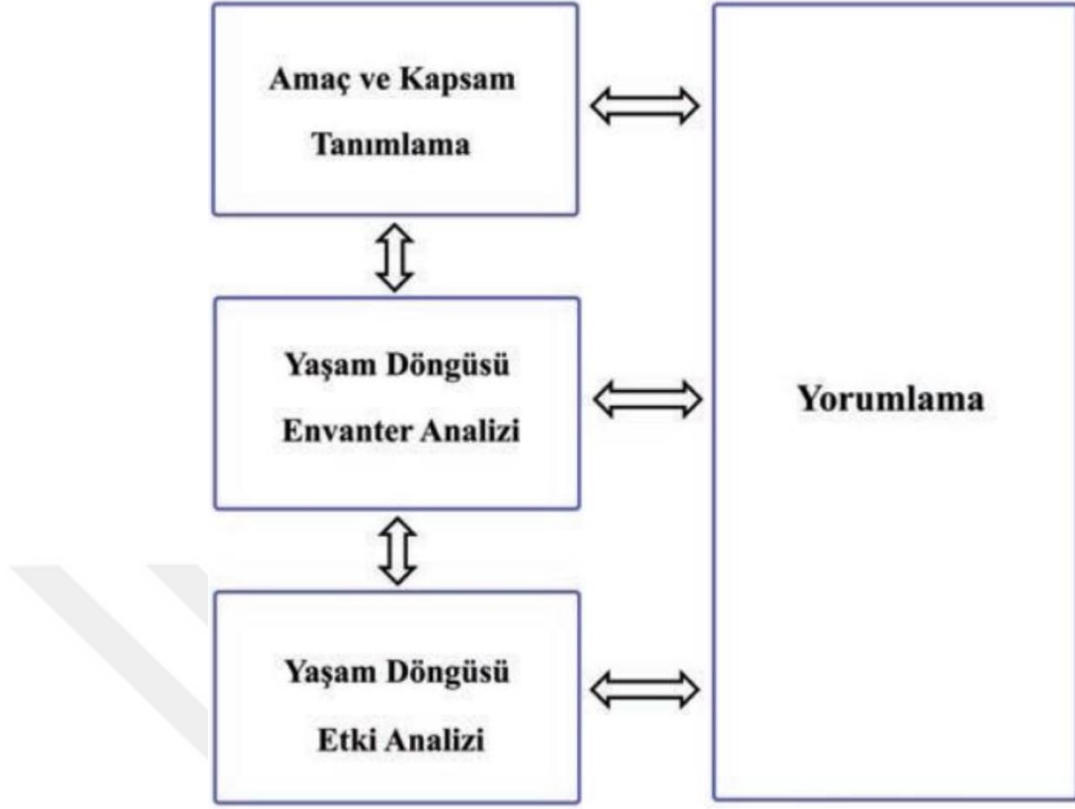
Hedef ve Kapsam Belirleme: Bu aşamada çalışmanın amacı, kapsamı, sistem sınırları, detaylandırma düzeyi ve fonksiyonel birimi netleştirilir. YDA çalışması bu aşamada yapılan tanımlamalara göre yürütülmektedir. Bir sistemin sınırları genellikle genel bir giriş ve çıkış akış diyagramı ile gösterilmektedir. Ürünün, sürecin veya faaliyetin yaşam döngüsüne katkıda bulunan tüm işlemler sistem sınırları içinde yer almaktadır. Fonksiyonel birimin amacı, envanter verilerinin normalleştirileceği bir referans birim sağlamaktır. Fonksiyonel birimin tanımı çevresel etki kategorisine ve araştırmanın amaçlarına bağlıdır (Roy et al., 2009; Dikbaş ve Mezarcıöz, 2019).

Envanter Analizi: İncelenen sistemin sınırları çerçevesinde enerji, su ve hammadde kullanımı ile bunlara bağlı çevresel emisyonlar tespit edilir. Genellikle kütle ve enerji dengesi temelinde yapılan bu aşama verilerin toplanması nedeniyle

bir YDA'daki diğer aşamalara kıyasla en fazla iş gücü ve zaman gerektiren aşamadır. Günümüzde birçok YDA veri tabanı bulunmaktadır ve genellikle YDA yazılım programlarıyla birlikte satın alınabilmektedir (Roy et al., 2009; Jacquemin et al., 2011; Dikbaş ve Mezarcıöz, 2019).

Etki Değerlendirmesi: Envanter analizi ile belirlenen enerji, su ve hammadde tüketimi ile çevresel emisyonların insan sağlığı ve ekosistemler üzerindeki potansiyel etkileri analiz edilir. Yaşam döngüsü etki değerlendirme, envanter analizine dayanarak çevresel etkileri anlama ve değerlendirme amacını taşımaktadır ve çalışmanın hedefi ve kapsamı çerçevesinde gerçekleştirilir. Etki değerlendirme sınıflandırma, karakterizasyon, normalleştirme ve değerlendirme unsurlarından oluşmaktadır. Sınıflandırma, envanter analizi verilerinin ortak etki gruplarına atanması ve ilk toplulaştırması sürecidir. Karakterizasyon, her envanter akışının potansiyel etkisinin büyüklüğünün ilgili çevresel etki ile değerlendirilmesidir (örneğin, karbon dioksit ve metanın küresel ısınma üzerindeki potansiyel etkisinin modellenmesi). Normalleştirme, potansiyel etkilerin karşılaştırılabilir şekilde ifade edilmesini sağlamaktadır (örneğin, karbon dioksit ve metanın küresel ısınmaya etkisinin karşılaştırılması). Değerleme; sınıflandırma, karakterizasyon ve normalleştirme aşamalarında belirlenen çevresel yüklerin göreceli önemini değerlendirilmesi ve onlara ağırlık atanarak karşılaştırılabilir veya birleştirilebilir hale getirilmesidir. Etki kategorileri; küresel etkileri (küresel ısınma, ozon incelmesi), bölgesel etkileri (asidifikasyon, ötrofikasyon, foto-oksidan oluşumu vb.) ve yerel etkileri (rahatsızlık verici faktörler, çalışma koşulları, tehlikeli atıkların etkileri, katı atıkların etkileri vb.) içermektedir (Roy et al., 2009; Jacquemin et al., 2012; Dikbaş ve Mezarcıöz, 2019; Dekker et al., 2020).

Sonuçların Yorumlanması: Envanter ve etki değerlendirme sonuçları incelenerek karşılaştırılan seçenekler arasından en uygun ürün, süreç ya da hizmet belirlenir. Bu seçim sırasında yapılan varsayımlar ve mevcut belirsizlikler LCA kapsamında açıkça ifade edilir. Bu bölümde etki değerlendirme aşamasında elde edilen sonuçları kullanarak sistemin neden olduğu çevresel zararlar hakkında çıkarımlar yapılması sağlanmaktadır (Jacquemin et al., 2011; Dikbaş ve Mezarcıöz, 2019).



Şekil 2.3 Yaşam döngü analizi basamakları (Mammadov ve Cılız, 2017)

Bir ürün, hizmet veya faaliyetin çevresel açıdan değerlendirilmesi, pek çok etki faktörünü barındırdığı için yaşam döngüsü etkilerinin modellenmesinde pratik ve anlaşılır araçlara ihtiyaç duyulmaktadır (Hauschild et al., 2010). Bu doğrultuda, belirli çevresel etki kategorilerini temel alan bilgisayar destekli YDA yazılımları geliştirilmiştir. Söz konusu yazılımlar, değerlendirme yapılacak etki kategorilerinin ürün veya faaliyetin türüne göre kullanıcı tarafından belirlenmesine olanak tanır. Alternatif atık yönetim sistemlerinin çevresel performansını analiz etmek amacıyla yapılan pek çok araştırmada, SimaPro, OpenLCA ve EASEWASTE gibi farklı yazılımlar; Ecoinvent, GaBi ve ELCD gibi veri kütüphaneleri; IMPACT+, TRACI ve ReCiPe 2016 gibi etki kategorisi değerlendirme yöntemleri kullanılmıştır (Maranon et al., 2014; Yay, 2015; Grosso et al., 2016; Xu et al., 2021; Fino et al., 2022). Çizelge 2.1'de ReCiPe2016 değerlendirme yöntemine ait etki kategorileri ve bunlara karşılık gelen birimler sunulmuştur.

Çizelge 2.1 ReCiPe2016+ değerlendirme metodunda yer alan etki kategorileri ve birimleri (Petri et al., 2024)

Etki kategorisi	Kategori İndikatörü	Sistem Sınırları
İklim değişikliği	Küresel ısınma	kgCO ₂ -eşd.
İnce partikül madde oluşumu	Partikül madde oluşum potansiyeli	kg PM2.5-eşd
Fosil tükenmesi/fosil kaynak kıtlığı	Fosil yakıt potansiyeli	kg yağ-eşd
Tatlısu tüketimi/su kullanımı	Su tüketim potansiyeli	m ³
Tatlısu ekotoksitesi	Tatlısu ekotoksiste potansiyeli	1.4 diklorobenzen (DB)-eşd.
Tatlısu ötrofikasyonu	Tatlısu ötrofikasyon potansiyeli	kg P-eşd.
İnsan toksisitesi, kanser	İnsan toksisite potansiyeli, kanser	1.4 DB-eşd.
İnsan toksisitesi, kanser olmayan	İnsan toksisite potansiyeli, kanser olmayan	1.4 DB-eşd.
İyonlaştırıcı radyasyon	İyonlaştırıcı radyasyon potansiyeli	kBq Co-60-eşd.
Alan kullanımı	Tarım arazisi işgal potansiyeli	m ² yıllık ekilebilir arazi eşd.
Deniz ekotoksitesi	Deniz ekotoksiste potansiyeli	1.4 DB-eşd.
Deniz ötrofikasyonu	Deniz ötrofikasyonu potansiyeli	kg N-eşd
Metal tükenmesi ve mineral kıtlığı	Fazla cevher potansiyeli	kg Cu eşd.
Fotokimyasal ozon oluşumu; ekosistemler	Fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli; ekosistemler	kg NO _x -eşd.
Fotokimyasal ozon oluşumu; insan sağlığı	Fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli; insan sağlığı	kg NO _x -eşd.
Ozon tabakası incelmesi	Ozon tabakası incelmesi	kg CFC-11eşd
Karasal ekotoksiste	Karasal ekotoksiste potansiyeli	kg 1.4-DB-eşd
Karasal asidifikasyon	Karasal asidifikasyon potansiyeli	kgSO ₂ eq

YDA çalışmaları geleneksel ve alternatif gıda üretim sistemlerinin çevresel etkilerini tanımlayabilmekte ve çevresel etkileri en aza indiren sürdürülebilir, yüksek verimli üretim sistemlerini geliştirme fırsatlarını belirleyebilmektedir (Cucurachi et al., 2019). Literatürde hayvansal protein kaynakları ile işlenmiş et ürünlerinin ve alternatif protein kaynakları ile üretilen ürünlerin ilgili çalışmaların son yıllarda hız kazandığı görülmektedir. Özellikle son yıllarda farklı et analoglarının üretiminde yaşam döngü analizleri üzerine yapılan araştırmaların artmış olduğu tespit edilmiştir. Et ve et ürünlerinde gerçekleştirilen yaşam döngü analizleri incelendiğinde Peters et al. (2010) bir kg kırmızı et üretiminde

gerçekleşen karbondioksit salınımının 7.2-11.5 kg CO₂/kg olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı yıl gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, AB'de sığır eti üretiminin çevresel sonuçları yaşam döngüsü yaklaşımı kullanılarak incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, 16 aylıkken kesimi gerçekleştirilen bir sığırın meydana getirdiği karbondioksit salınımı, asidifikasyon, ötrofikasyon ve arazi kullanımı değerlerinin sırasıyla 17.9 kg CO₂/kg sığır eti, 0.131 kg SO₂/kg sığır eti, 0.737 kg NO₃/kg sığır eti ve 22.,7 m²/kg sığır eti olduğu tespit edilmiştir (Nguyen et al., 2010). Skunca et al. (2018) yapmış oldukları araştırmada ise tarladan çatala 1 kg tavuk etinin meydana getirmiş olduğunu karbondioksit salınımının 3.0-4.5 kg arasında olduğunu belirlemişlerdir. Kalhor et al. (2010) yapmış oldukları çalışmada ise kış aylarında 1 ton paketlenmiş tavuk eti üretiminde ortaya çıkan karbon ayak izinin 5358 kg CO₂, yaz aylarında ise 2932 kg CO₂ olduğunu belirlemişlerdir.

Perez-Martinez et al. (2018) yapmış oldukları çalışmada iki hazır konserve et ürününün çevresel etkilerini değerlendirmişlerdir. Domuz eti ve bezelyeli köfte konservelelerinin yaşam döngü analizlerine et üretimi, gıda işleme, dağıtım, kullanım ve bertaraf etme aşamaları dahil edilmiştir. Her iki ürün için de en büyük çevresel etkinin et üretimi ve gıda işleme süreçlerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Gıda işleme aşamasında, konserveleme ve sterilizasyon en yüksek etkiye sahip süreçler olarak öne çıkmıştır. Ek olarak farklı konserveleme malzemelerinin kullanıldığı üç senaryonun da çevresel etkisi değerlendirilmiştir. Teneke kutu yerine geri dönüştürülmüş alüminyumun kullanıldığında ürünlerin çevresel etkisini önemli ölçüde azalmış ve bazı etki kategorilerinde %94'e varan bir düşüş meydana gelmiştir.

Laso et al., (2018) işlenmemiş ve farklı işlemlerden geçmiş hamsi örneklerinin ürün yaşam döngülerini analiz ederek çevresel etkilerini ortaya çıkarmışlardır. Yaşam döngü analizleri Gabi 6.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşlenmemiş hamsi ürününün karbondioksit salınımı 1.27 kg CO₂/kg protein olduğu tespit edilmiştir. Tuzlanmış hamsi ve zeytinyağı ile konserve edilmiş hamsi örneklerinin karbondioksit salınımının ise sırasıyla 21.73 kg CO₂/kg protein, 17.65 kg CO₂/kg protein olduğu saptanmıştır. Bu üç farklı hamsi örneğinin asidifikasyon potansiyelinin işlenmemiş hamsi, tuzlanmış hamsi ve zeytinyağı ile konserve edilmiş hamsi örnekleri için sırasıyla 0.009 kg SO₂/kg protein, 0.242 kg SO₂/kg protein ve 0.291 kg SO₂/kg protein olduğu tespit edilmiştir. Bu hamsi örneklerin ötrofikasyon değerleri ise aynı sıralamayla 0.245 kg PO₄/kg protein, 0.091 kg PO₄/kg protein ve 0.041 kg PO₄/kg protein olduğu belirlenmiştir.

İspanya’da gerçekleştirilen bir yaşam döngü analizi çalışmasında 1000 kg sardalya ürününün karbondioksit salınımının 866 kg olduğu belirlenmiştir (Villanueva-Rey et al., 2018). 2020 yılında Brezilya’da gerçekleştirilen bir çalışmada tavuk yetiştiriciliğinin çevresel etkileri incelenmiştir. 3.5 kg ağırlığa ulaştığından kesim işlemleri gerçekleştirilen tavukların yetiştirilme süreci boyunca gerçekleştirdikleri karbondioksit salınımının 1.55 kg CO₂/kg tavuk eti olduğu tespit edilmiştir. Asidifikasyon ve ötrofikasyon değerlerinin ise sırasıyla 0.018 kg SO₂/kg tavuk eti ve 0.035 kg PO₄/ kg tavuk eti olduğu saptanmıştır (Martinelli et al., 2020). 2022 yılında yapılan bir çalışmada ise İtalyan tarzı sosis üretiminin sürdürülebilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir (Paolotti et al., 2022). Benzer şekilde Ahmad et al. (2023) endüstriyel ölçekte üretimi yapılan köfte örneklerinin yaşam döngü analizini gerçekleştirerek 1 kg köfte üretimin çevresel etkilerini tespit etmişlerdir. Çizelge 2.2’de ise et analoglarının yaşam döngü analizleriyle ilgili literatürde gerçekleştirilen bazı araştırmalar özetlenmiştir.

Gıda üretim sistemleri, insan faaliyetleri arasında çevreye en fazla etki eden sektörlerden biridir. Tarımsal faaliyetlerin, su ayak izinin %70-85’inden ve dünya sera gazı emisyonlarının %30’undan sorumlu olduğu bilinmektedir. 2050 yılına kadar gıda üretiminde %70’lik bir artış öngörüsü, et üretimiyle bağlantılı çevresel endişeleri de giderek artırmaktadır. Çeşitli et ikamelerinin üretimi (bitki bazlı, mikoprotein bazlı, süt ürünleri bazlı ve hayvansal bazlı ikameler), hayvancılığın neden olduğu çevresel etkileri azaltmayı hedeflemektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde et analoglarının üretiminin ürün yaşam döngüsü analizi ile incelendiği çalışmalarının güncelliğini koruduğu görülmektedir. Smetana et al. (2015), umut verici seçenekleri belirlemek amacıyla et ikamelerinin çevresel performanslarını karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek çevresel etkinin laboratuvarında üretilen et ve mikoprotein bazlı analoglarda olduğunu ortaya konulmuştur. Bu durumun üretimler sırasında yüksek enerji tüketiminden dolayı kaynaklandığı belirtilmiştir. Orta seviyede çevresel etki gösteren ürünlerin süt ürünleri bazlı ve glüten bazlı et ikamelerinde tespit edilirken en düşük çevresel etki böcek bazlı ve soya unu bazlı ikamelerde görülmüştür.

Çizelge 2.2 Et analoglarının üretiminde yaşam döngü analizleri ile incelendiği bazı çalışmalar

Ürün Tipi	Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırları	Değerlendirme Metodu	Kaynak
Şinitzel	1 kg şinitzel	Beşikten fabrika kapısına	Recipe V1.08 midpoint	(Van Mierlo et al., 2022)
Burger	1 kg burger	Beşikten fabrika kapısına	Recipe V1.08 midpoint	(Saerens et al., 2021)
Köfte	100 gram ürün	Beşikten tabağa	Product Environmental Footprint (PEF) Yönergeleri-Avrupa Komisyonu-2018	(Saget et al., 2021)
Burger	113 gram ürün	Beşikten fabrika kapısına	Impact 2002+ Midpoint	(Smetana et al., 2015)
Burger, sosis, nugget	1 kg paketlenmiş ürün	Beşikten fabrika kapısına	Impact 2002+ Midpoint	(Meija et al., 2019)
Buğday bazlı, soya bazlı ve fındık bazlı et ikameleri	100 gram ürün	Beşikten fabrika kapısına	Impact 2002+ Midpoint	(Fresan et al., 2019)

Castane and Anton (2017) yapmış oldukları çalışmada Akdeniz diyeti ve vegan diyetin çevresel etkileri üzerine çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan beslenme şekilleri arasında Akdeniz diyeti tahıl/hububat, sebze, meyve, süt ürünleri, kuruyemiş, baklagiller, balık, beyaz et, yumurta, kırmızı et ve tatlılar içerirken vegan diyet tahıl/hububat, sebze, meyve, kuruyemiş, baklagiller ve tatlı içermektedir. Çalışma sonucunda Akdeniz diyetinin karbondioksit salınımının 20 kg CO₂/kişi olduğu saptanmıştır. Vegan diyetinde ise bu miktarın 13 kg CO₂/kişi'ye düştüğü tespit edilmiştir.

Meija et al. (2019), üç farklı fabrikada üretimleri gerçekleştirilen toplam 57 farklı et analogunun (burger, sosis, nugget, kıyma, soğuk et ürünü benzerleri) yaşam döngü analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Analizler sonucunda et analoglarının ortalama sera gazı ayak izinin 2.19 kg CO₂/kg olduğu ve karbondioksit salınımının 1.33 kg CO₂/kg ile 2.79 kg CO₂/kg arasında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Sera gazı emisyonlarının çoğunluğu (%45) üretim süreçlerinden kaynaklanırken, bunu tarımsal üretim ve gıda bileşenlerinin taşınmasının takip ettiği belirlenmiştir. Benzer şekilde güncel bir çalışmada (Saerens et al., 2021), dana etinden üretilmiş burger ile vegan eşdeğerleri olan soya bazlı burger ve kabak çekirdeği unu bazlı

burgerin çevresel etkileri karşılaştırılmıştır. Dana burgerin karbondioksit salınımının 26.6 kg CO₂/kg olurken, soya bazlı burgerin 0.87 kg CO₂/kg, kabak çekirdeği tozu bazlı burgerin 0.94 kg CO₂/kg olduğu tespit edilmiştir. Dana burgerin meydana getirmiş olduğu asidifikasyon değerinin 0.7 kg SO₂/kg olduğu belirlenmiştir. Soya bazlı burgerin ve kabak çekirdeği tozu bazlı burgerin asidifikasyon değerinin ise sırasıyla 0.004 kg SO₂/kg ve 0.01 kg SO₂/kg olduğu saptanmıştır. Bir başka çalışmada, çevresel etkileri karşılaştırmak için yaşam döngüsü analizi kullanarak, İngiltere’de dana etiyle üretilen bir burger ile et analogu eşdeğeri karşılaştırılmıştır. Dana köftesinin toplam çevresel etkisinin et analogu eşdeğerinden iki kat yüksek olduğunu ve küresel ısınma etkisinin %62 daha yüksek olduğunu ortaya konulmuştur. Birleşik Krallık nüfusunun diyetlerinde dana burgerden et analogu köftelerine geçmesi durumunda, yılda 3 milyon ton CO₂ tasarrufu sağlanabileceğini ve bunun ülkenin yıllık bölgesel sera gazı (GHG) emisyonlarının %0.74’üne karşılık geldiği belirtilmiştir (Tang et al., 2024).

Literatürdeki yaşam döngü analizi çalışmaları incelendiğinde işlenmiş et ve et ürünlerinde yapılan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu ve gerçekleştirilen analizlerin daha çok taze et üzerine odaklandığı tespit edilmiştir. Et analoglarında gerçekleştirilen yaşam döngü analizlerinin ise güncelliğini koruduğu görülmektedir. Gerçekleştirilecek olan tez projesinde endüstriyel üretim ölçeklerinde hem hayvansal protein kaynakları ile işlenmiş et ürünlerini hem de alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin üretim süreçlerinin sürdürülebilirlik analizlerini konu alacaktır. Böylelikle her iki farklı ürün modeli yaklaşımın çevresel etkileri tespit edilecektir. Bu durum 2030 ve 2050 Avrupa Yeşil Mutabakat hedefleri için endüstriye önemli veriler sağlamış olacaktır. Ayrıca tez projesi literatürde bulunan ürün yaşam döngü çalışmalarına endüstriyel ölçekte katkı sağlamış olacaktır. Benzer şekilde literatürde endüstriyel ölçekte hem et ve et ürünleri için hem de alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünler için enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analiz çalışmaları açısından ciddi bir boşluk bulunmaktadır. Bu proje çalışması hem literatürdeki boşluğu tamamlamış olacak hem de endüstriye enerji ve ekserji verimliliği kapsamında önemli çıktılar sunarak gıda sektöründeki geliştirme potansiyellerini tespit edecektir. Bu tez projesi ile 2030 ve 2050 Avrupa Yeşil Mutabakat hedefleri kapsamında et sektörü için mevcut durum tespiti ve alınacak aksiyon çalışmaları ile oluşturulan yol haritalarına katkı sağlayacak ve gıda sektörünün önümüzdeki yıllar içerisinde hangi protein kaynaklarına yönelmesinin sürdürülebilir olduğunu da ortaya çıkaracaktır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Küresel dünya nüfusunun giderek artması, gıda talebini ve özellikle protein ihtiyacını önemli ölçüde artırmaktadır. Artan nüfusla birlikte, hayvansal protein kaynaklı ürünlerin üretimi hız kazanırken çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği açısından alternatif protein kaynaklarına olan ilgi de giderek artmaktadır. Sürdürülebilir bir üretim anlayışı çerçevesinde, farklı protein kaynaklarının kullanımının ve bu ürünlerin üretimlerinin gerçekleştiği hatların enerji, ekserji, eksergo-ekonomi ve yaşam döngüsü analizleriyle değerlendirilerek mevcut durumlarının incelenmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, endüstriyel ölçekte işlenen et ürünlerinin ve vegan alternatiflerinin üretim süreçleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Tez çalışmasında, 3 farklı işlenmiş et ürününün (dana burger, dana misket köfte ve kaplamalı tavuk) endüstriyel ölçekte işleme hatları ile alternatif protein kaynakları ile işlenmiş 3 farklı ürünün (vegan burger, vegan köfte ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün) endüstriyel ölçekte işleme hatlarının performans (enerji, ekserji, eksergo-ekonomik analizleri) ve sürdürülebilirlik analizleri (yaşam döngü analizi) gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, işlenmiş et ürünlerinin ve alternatif protein kaynakları kullanılan vegan ürünlerin üretimleri, Ege Bölgesi'nde yer alan özel bir et işleme fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Performans analizleri; üretim süreçlerinde harcanan enerji miktarlarını ve verimliliklerini ortaya koyan *enerji analizi*, enerjinin ne kadarının kullanılabilir işe dönüştüğünü ve üretim hatlarında geliştirme potansiyeli olan noktalarının ortaya konulduğu *ekserji analizi* ve enerji ve ekserji verilerinin maliyet faktörleriyle birleştirilerek ekonomik etkinliğini değerlendiren *eksergo-ekonomik analiz* olmak üzere üç ana başlıkta ele alınmıştır. Böylece, her iki ürün grubunun üretim hatlarının verimlilik düzeyleri ve ekonomik açıdan ne kadar sürdürülebilir olduğu kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, çalışmada sürdürülebilirlik analizleri kapsamında *yaşam döngüsü analizi* uygulanmıştır. Bu analiz sayesinde hem işlenmiş et ürünlerinin hem de vegan alternatiflerinin üretim süreçlerinin çevresel etkileri belirlenmiştir. Elde edilen bulguların gıda endüstrisinde daha verimli ve çevre dostu üretim yöntemlerinin benimsenmesine katkı sağlaması hedeflenmiştir.

3.1 Materyal

Tez çalışması kapsamında sürdürülebilirlik analizlerinin ve enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizlerin yapılacağı dana burgerin formülasyonunda dana eti

(%20 yağlı) ve yağı, soğan, ekmek, pastörize yumurta, maydanoz, kimyon, karabiber, tuz ve sarımsak bulunmaktadır (Çizelge 3.1). Dana misket köftenin içeriğinde ise dana eti (%20 yağlı) ve yağı, soğan, galeta unu, pastörize yumurta, buğday lifi, tuz, kimyon ve karabiberden oluşmaktadır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.1 Dana burgerde kullanılan hammaddeler ve içerikleri

Hammadde	İçerik Yüzdesi (%)
Dana eti	65.00
Dana böbrek yağı	10.00
Ekmek	6.00
Soğan	5.00
Pastörize yumurta akı	4.50
Maydanoz	3.00
Tuz	2.50
Kimyon	2.50
Karabiber	1.00
Sarımsak	0.50

Çizelge 3.2 Dana misket köftede kullanılan hammaddeler ve içerikleri

Hammadde	İçerik Yüzdesi (%)
Dana eti	60.0
Dana böbrek yağı	7.00
Su	9.00
Soğan	7.00
Tuz	1.50
Galeta unu	6.50
Pastörize yumurta akı	5.00
Toz karabiber	1.00
Kimyon	1.00
Buğday lifi	2.00

Kaplamalı tavuk ürününün formülasyonunda da piliç eti ve yağı, kaplama malzemesi %30 (buğday unu, buğday nişastası, mısır unu, mısır nişastası, patates nişastası, kabartıcı (sodyum bikarbonat), kıvam artırıcı (guar gam), renklendirici (paprika ekstraktı)), tuz, kekik, kimyon, karabiber, soğan tozu, şeker, biberiye ekstraktı ve stabilizör (sodyum polifosfat) bulunmaktadır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Kaplamalı tavuk ürünü hamurunda kullanılan hammaddeler ve içerik yüzdeleri

	Hammadde	İçerik Yüzdesi (%)
Hamur	Piliç eti	65.0
	Piliç deri	20.0
Marinasyon sıvısı	Su	13.0
	Tuz	0.90
	Sodyum polifosfat	0.15
	Kekik	0.05
	Kimyon	0.02
	Karabiber	0.02
	Soğan tozu	0.25
	Şeker	0.60
	Biberiye ekstraktı	0.01

Alternatif protein kaynakları ile işlenmiş vegan burgerin formülasyonunda bezelye proteini, su, bitkisel yağ (ayçiçek yağı), metil selüloz, tuz, aroma vericiler ve renklendirici bulunmaktadır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Vegan burgerde kullanılan hammaddeler ve içerikleri

	Hammadde	İçerik Yüzdesi (%)
Hidre bezelye proteini	Su	38.5
	Tekstüre bezelye proteini	28.0
	Aroma verici	1.75
	Renklendirici	0.25
Yağ emülsiyonu	Su	22.5
	Ayçiçek yağı	4.70
	Metil selüloz	2.50
	Tuz	0.50
	Metil selüloz	1.30

Vegan köfte içeriği ise nohut, havuç, bezelye, kırmızıbiber, tatlı mısır, ıspanak, soğan, metil selüloz, tuz, şeker, buğday lifi ve baharat karışımında oluşmaktadır (Çizelge 3.5). Kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünün formülasyonunda ise su, kaplama malzemesi %30 (buğday unu, buğday nişastası, mısır unu, mısır nişastası, patates nişastası, kabartıcı (sodyum bikarbonat), kıvam artırıcı (guar gam), renklendirici (paprika ekstraktı)), buğday proteini, tuz, baharat karışımı, metil selüloz ve aroma vericiler bulunmaktadır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.5 Vegan köftede kullanılan hammaddeler ve içerikleri

Hammadde	İçerik Yüzdesi (%)
Nohut	19.0
Havuç	14.0
Bezelye	12.0
Kırmızı biber	12.0
Mısır	10.0
Ispanak	10.0
Soğan	5.00
Ayçiçek yağı	8.00
Buğday lifi	3.50
Tuz	0.50
Metil selüloz	3.50
Şeker	1.50
Karabiber	0.50
Kişiş	0.50

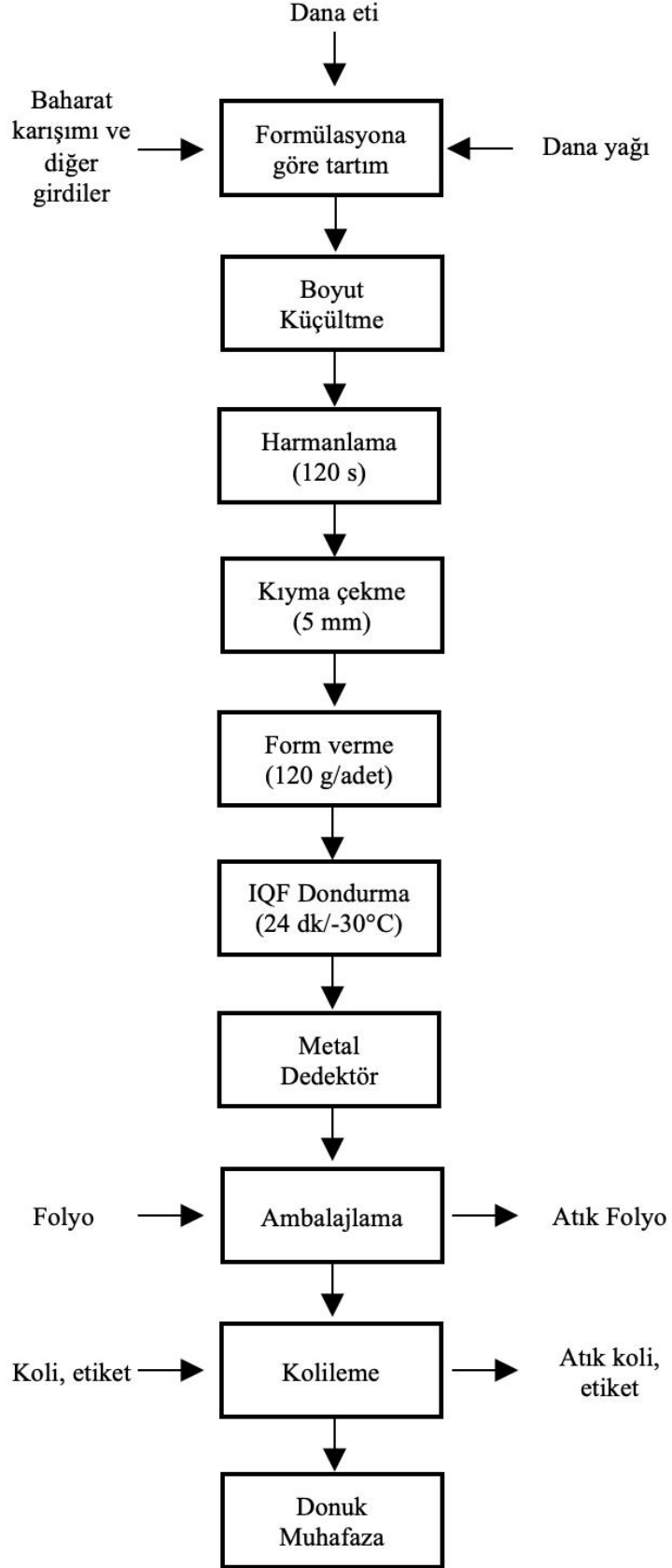
Çizelge 3.6 Kaplamalı tavuk benzeri vegan üründe kullanılan hammaddeler ve içerikleri

Hammadde	İçerik Yüzdesi (%)
Hidre buğday proteini	Su
	31.0
Yağ emülsiyonu	Tekstüre buğday Proteini
	20.0
	Su
	21.0
	Ayçiçek yağı
	7.00
	Metil selüloz
	2.00
	Su
	12.0
	Tuz
	3.00
	Soğan tozu
	1.50
	Beyaz biber
	1.50
	Aroma vericiler
	1.00

3.2 Üretim Yöntemleri

3.2.1 Dana burger üretimi

İlk olarak formülasyonda kullanılan bileşenlerin ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra dondurulmuş dana eti ve dondurulmuş dana yağının boyut küçültme işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Dana burger üretim akış şeması

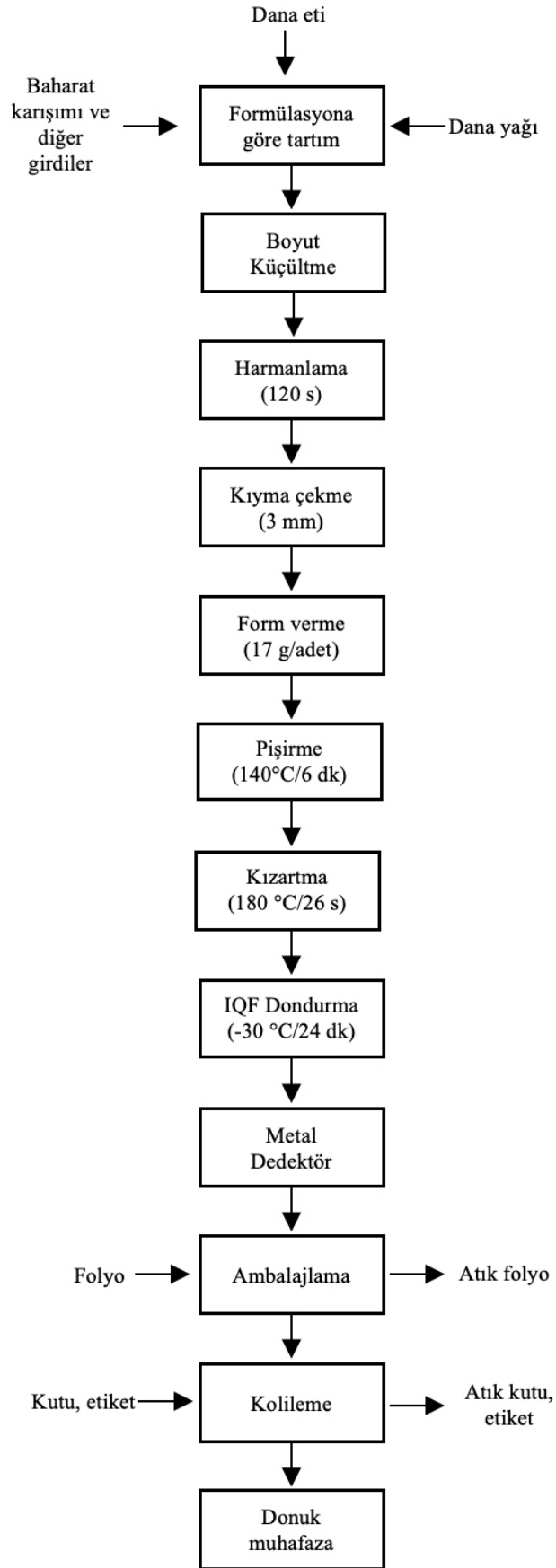
Et hamuru elde etmek için dana eti, dana yağı, baharat karışımı ve diğer malzemeler harmanlama makinasında karıştırılıp kıyma haline getirilmiştir. Dana sonra kıyma haline getirilen et hamuruna form verme makinesinde burger şekli verilmiştir. Son olarak dana burger örnekleri dondurulmuş ve donuk olarak paketlenmiştir. Dana burger üretim hattında kullanılan ekipmanlar Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Dana burger üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri

Üretim Hattı	Ekipmanlar	Güç Değerleri
Boyut küçültme asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Boyut küçültme	CFS Autogrind 280	116 kW
Harmanlama makinesi asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Harmanlama makinesi	CFS Combigrind 1503/225	45 kW
Form verme makinesi asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Form verme makinesi	Formax Ultra26	5 kW
Taşıma bandı	CFS TRC 1900/600	0.18 kW
Dondurucu	CFS Life System	300 kW
Dondurucu taşıma bandı	CFS TRC 1900/600	0.18 kW

3.2.2 Dana misket köfte üretimi

İlk olarak formülasyonda kullanılan bileşenlerin ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra dondurulmuş dana eti ve dondurulmuş dana yağının boyut küçültme işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Et hamuru elde etmek için dana eti, dana yağı, baharat karışımı ve diğer malzemeler harmanlama makinasında karıştırılıp kıyma haline getirilmiştir.



Şekil 3.2 Dana misket köfte üretim akış şeması

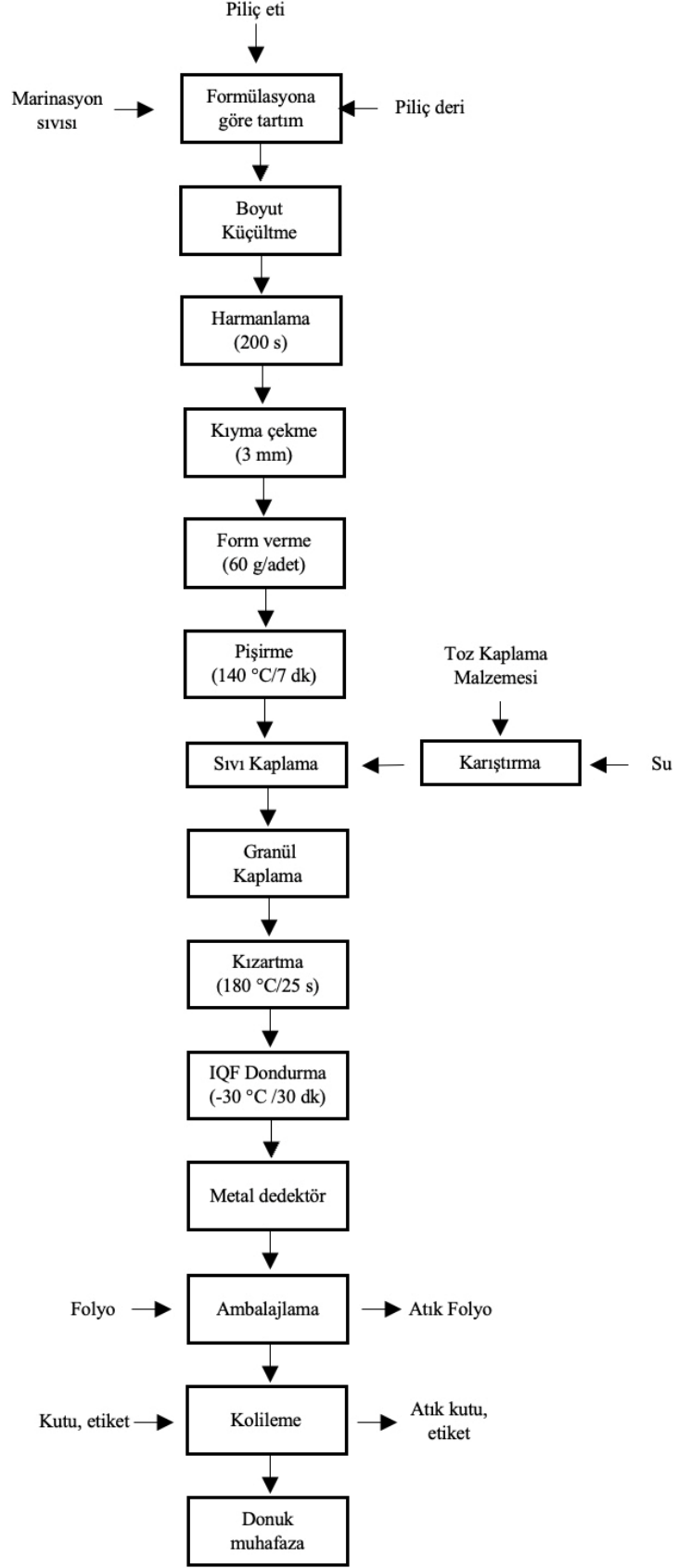
Dana sonra kıyma haline getirilen et hamuruna form verme makinesinde misket köfte şekli verilmiştir. Dana misket köfte fırında pişirildikten sonra kızartma işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak dana misket köfte örnekleri dondurulmuş ve donuk olarak paketlenmiştir. Dana misket köfte üretim hattında kullanılan ekipmanlar Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Dana misket köfte üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri

Üretim Hattı	Ekipmanlar	Güç Değerleri
Boyut küçültme asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Boyut küçültme	Wolfking Danmark A/S Type C300	55 kW
Harmanlama makinesi asansörü	Wolfking Scanic 61537	2.4 kW
Harmanlama makinesi	Wolfking TSMIG 1250	41 kW
Form verme makinesi asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Form verme makinesi	Koppens VM600 HSE	22 kW
Form verme taşıma bandı	Koppens TG3500/600	0.18 kW
Fırın	Koppens HLS600/8/210	46 kW
Fırın taşıma bandı	Koppens TG5500/600	0.18 kW
Kızartma	GEA EasyFry-5000/650	22 kW
Kızartma taşıma bandı	Koppens TG1800/600	0.18 kW
Dondurucu	CFS Life System	324 kW
Dondurucu taşıma bandı	CFS TRC 1900/600	0.20 kW

3.2.3 Kaplamalı tavuk ürünü üretimi

İlk olarak formülasyonda kullanılan bileşenlerin ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra dondurulmuş piliç eti ve dondurulmuş piliç derinin boyut küçültme işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Et hamuru elde etmek için piliç eti, piliç derisi, baharat karışımı ve diğer malzemeler harmanlama makinasında karıştırılıp kıyma haline getirilmiştir.



Şekil 3.3 Kaplamalı tavuk ürünü üretim akış şeması

Dana sonra kıyma haline getirilen et hamuruna form verme makinesinde şinitzel şekli verilmiştir. Şinitzel örnekleri fırında pişirildikten sonra kızartma işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak şinitzeller dondurucuda dondurulmuş ve donuk olarak paketlenmiştir. Kaplamalı tavuk ürünü üretim hattında kullanılan ekipmanlar Çizelge 3.9'da verilmiştir.

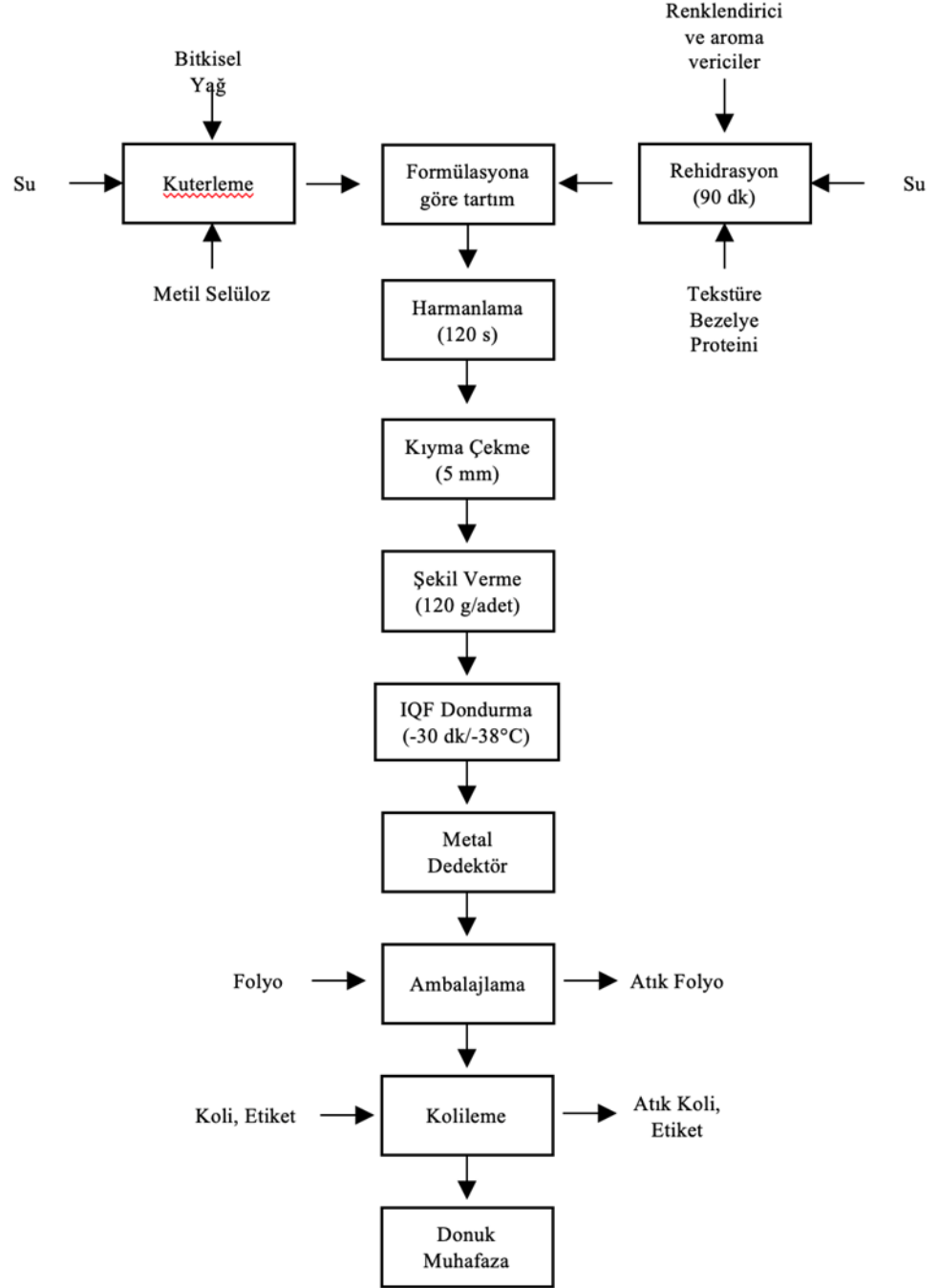
Çizelge 3.9 Kaplamalı tavuk ürünü üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri

Üretim Hattı	Ekipmanlar	Güç Değerleri
Boyut küçültme asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Boyut küçültme	Wolfking Danmark A/S Type C300	55 kW
Harmanlama makinesi asansörü	Wolfking Scanic 61537	2.4 kW
Harmanlama makinesi	Wolfking TSMIG 1250	41 kW
Form verme makinesi asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Form verme makinesi	Koppens VM600 HSE	22 kW
Form verme taşıma bandı	Koppens TG3500/600	0.18 kW
Fırın	Koppens HLS600/8/210	46 kW
Fırın taşıma bandı	Koppens TG5500/600	0.18 kW
Toz kaplama makinesi	CFS WTC600	0,61 kW
Granül kaplama makinesi	CFS CRM600	2 kW
Kızartma	GEA EasyFry-5000/650	22 kW
Kızartma taşıma bandı	Koppens TG1800/600	0.18 kW
Dondurucu	CFS Life System	324 kW
Dondurucu taşıma bandı	CFS TRC 1900/600	0.20 kW

3.2.4 Vegan burger üretimi

İlk olarak vegan burgerde kullanılan bileşenlerin ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra formülasyonda bulunan yağ emülsiyonunun oluşturulması için metil selüloz, su ve bitkisel yağ kuterlenerek emülsiyon oluşturulmuştur (Şekil 3.4).

Oluşturulan emülsiyon üretimden bir gün önce -18°C 'de depolanarak dondurulmuştur. Tekstüre bezelye proteini de yine üretimden bir gün önce su, renklendirici ve aroma vericiler ile rehidre edilip -18°C 'de dondurulmuştur.



Şekil 3.4 Vegan burger üretim akış şeması

Daha sonra emülsiyon ve hidre bezelye proteini harmanlama makinasında karıştırılıp kıyma haline getirilmiştir. Kıyma haline getirilen vegan burger hamuru daha sonra form verme makinesi kullanılarak burger şekline getirilmiştir. Vegan

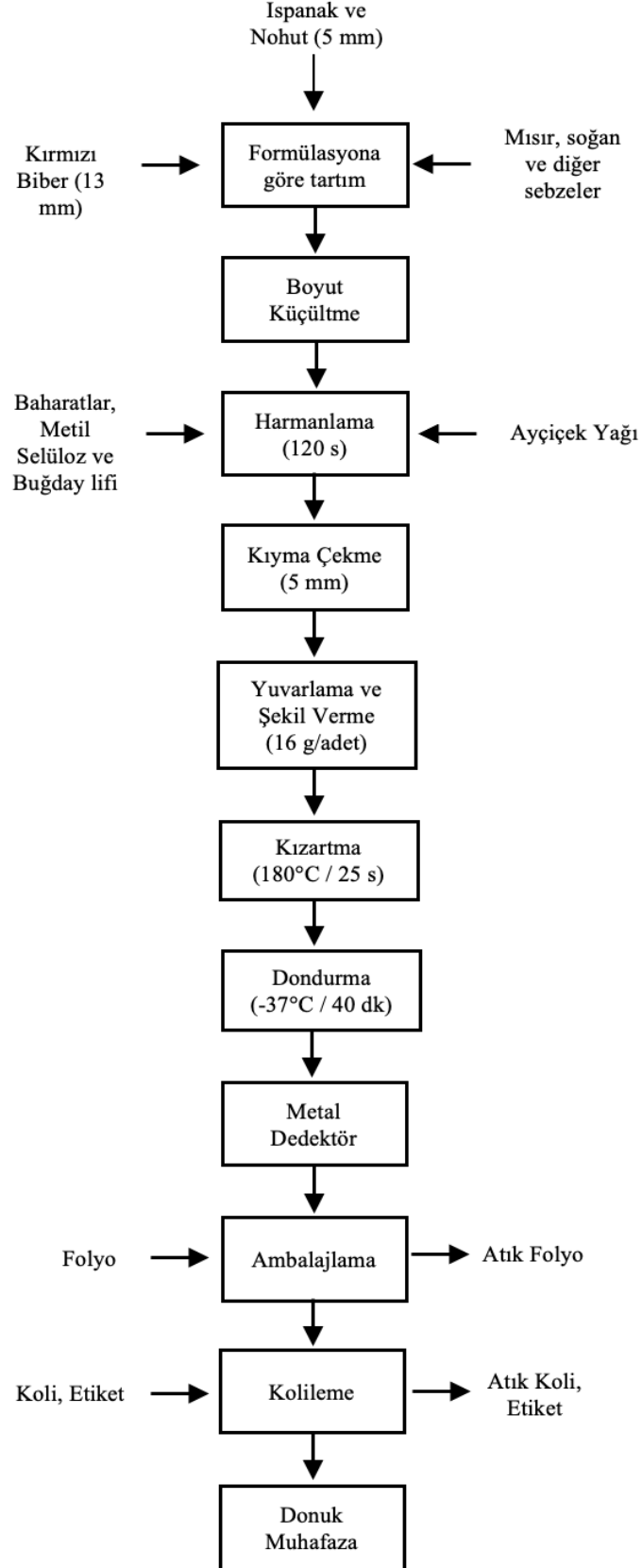
burgerler son olarak -37°C altında dondurulmuş ve donuk olarak paketlenmiştir. Vegan burger üretim hattında kullanılan ekipmanlar Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10 Vegan burger üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri

Üretim Hattı	Ekipmanlar	Güç Değerleri
Boyut küçültme asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Boyut küçültme makinesi	CFS Autogrind 280	116 kW
Harmanlama makinesi asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Harmanlama makinesi	CFS Combigrind 1500/200	49 kW
Form verme makinesi asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Form verme makinesi	CFS MLF 600	23 kW
Form verme taşıma bandı	CFS TRC 1900/600	0.18 kW
Dondurucu	CFS Life System	300 kW
Dondurucu taşıma bandı	CFS TRC 1900/600	0.18 kW

3.2.5 Vegan köfte üretimi

İlk olarak vegan köftede kullanılan bileşenlerin ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra formülasyonda bulunan dondurulmuş sebzelerin boyut küçültme işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5). Vegan köfte hamuru elde etmek için dondurulmuş sebzeler, baharat karışımı, ayçiçek yağı ve diğer malzemeler harmanlama makinasında karıştırılıp kıyma haline getirilmiştir. Kıyma haline getirilen vegan köfte hamuru daha sonra form verme makinesi ve yuvarlama makinesi kullanılarak misket köfte şekline getirilmiştir. 180°C 'de 25 saniye boyunca kızartma işlemine tabi tutulan vegan köfteler son olarak -37°C altında dondurulmuş ve donuk olarak paketlenmiştir. Vegan köfte üretim akış şeması Şekil 5'te verilmiştir. Vegan köfte üretim hattında kullanılan ekipmanlar Çizelge 3.11'de verilmiştir.



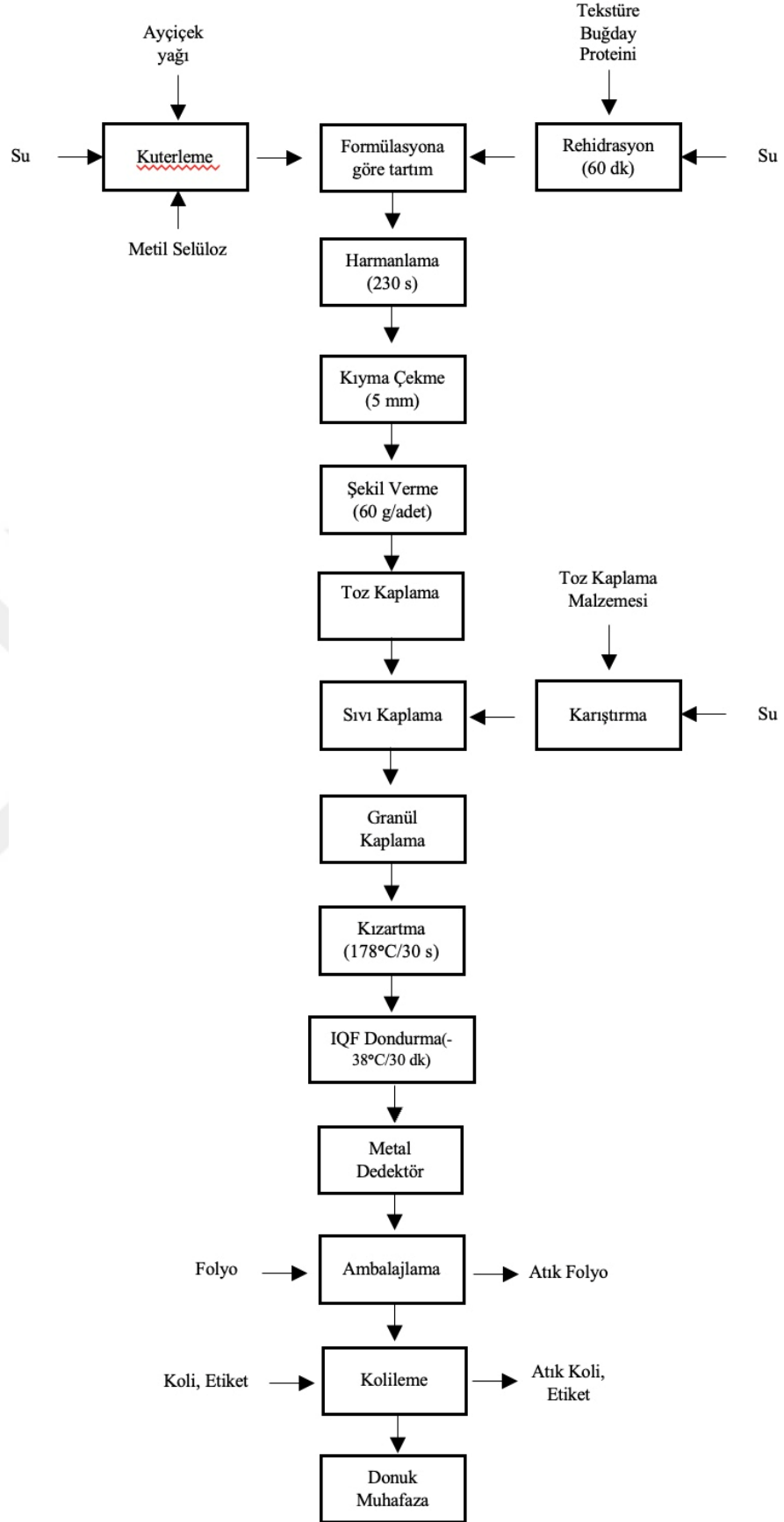
Şekil 3.5 Vegan köfte üretim akış şeması

Çizelge 3.11 Vegan köfte üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri

Üretim Hattı	Ekipmanlar	Güç Değerleri
Boyut küçültme asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Boyut küçültme	CFS Autogrind 280	116 kW
Harmanlama makinesi asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Harmanlama makinesi	CFS Combigrind 1500/200	49 kW
Form verme makinesi asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Form verme makinesi	CFS MLF 600	23 kW
Form verme taşıma bandı	CFS TRC 3500/600	0.18 kW
Yuvarlama makinesi	CFS Type BRU 900	0.27 kW
Kızartma makinesi	CFS EFR 4000/650	7.0 kW
Kızartma taşıma bandı	CFS TRC 1900/600	0.18
Dondurucu	CFS Life System	300 kW
Dondurucu taşıma bandı	CFS TRC 1900/600	0.18 kW

3.2.6 Vegan tavuk benzeri ürün üretimi

İlk olarak vegan tavuk benzeri ürününde kullanılan bileşenlerin ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra formülasyonda bulunan yağ emülsiyonunun oluşturulması için metil selüloz, su ve bitkisel yağ kuterlenerek emülsiyon oluşturulmuştur (Şekil 3.6). Oluşturulan emülsiyon üretimden bir gün önce -18°C’de depolanarak dondurulmuştur. Tekstüre buğday proteini de yine üretimler bir gün önce su, renklendirici ve aroma vericiler ile rehidre edilip -18°C’de dondurulmuştur. Daha sonra emülsiyon ve hidre buğday proteini harmanlama makinasında karıştırılıp kıyma haline getirilmiştir. Dana sonra kıyma haline getirilen hamura form verme makinesinde şinitzel şekli verilmiştir. Şinitzel örnekleri fırında pişirildikten sonra kızartma işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak vegan şinitzeller dondurucuda dondurulmuş ve donuk olarak paketlenmiştir.



Şekil 3.6 Vegan tavuk benzeri ürünü üretim akış şeması

Vegan tavuk benzeri ürününün üretim hattında kullanılan ekipmanlar Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12 Vegan tavuk benzeri ürünlerin üretim hattı ekipmanları ve güç değerleri

Üretim Hattı	Ekipmanlar	Güç Değerleri
Boyut küçültme asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Boyut küçültme makinesi	CFS Autogrind 280	116 kW
Harmanlama makinesi asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Harmanlama makinesi	CFS Combigrind 1500/200	49 kW
Form verme makinesi asansörü	CFS Columnloader 300S	0.75 kW
Form verme makinesi	CFS MLF 600	23 kW
Form verme taşıma bandı	CFS TRC 3500/600	0.18 kW
Toz kaplama makinesi	CFS OPF 600-11	5.3 kW
Toz kaplama makinesi taşıma bandı	T6 1150 / 600 R	0.26 kW
Sıvı kaplama makinesi	Koppens MK200H	1.87 kW
Granül kaplama makinesi	Koppens PU600	1.41 kW
Kızartma	GEA EasyFry-5000/650	22 kW
Kızartma taşıma bandı	CUC 90/600L	0.18 kW
Dondurucu	CFS Life System	300 kW
Dondurucu taşıma bandı	CFS TRC 1900/600	0.18 kW

3.3 Analizler

3.3.1 Sıcaklık ve güç ölçümleri

Enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizlerinin belirlenebilmesi için işlenmiş et ürünlerinin ve alternatif protein kaynaklı ürünlerin üretimleri sırasında sıcaklık, voltaj, akım ve güç ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Üretim hattında bulunan kapalı sistemdeki ekipmanların sıcaklık ölçümleri ekipmanlarda bulunan termometreler ile ölçülmüştür. Üretim öncesindeki hammaddelerin, hayvansal

kaynaklı ve alternatif protein kaynaklı hamur karışımlarının ve son ürünlerin sıcaklıkları ise batırma tipi termometre (Testo, 905-T1) ile saptanmıştır. Üretimler sırasındaki ortam sıcaklığı ve nem değerleri ise dijital termo-higrometre (Weewell, Whm150) kullanılarak belirlenmiştir. Üretimde kullanılan ekipmanlarda bulunan kontrol üniteleri sayesinde ise güç ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

3.3.2 Enerji ve ekserji analizleri

İşlenmiş et ürünlerinin üretim hatlarının enerji ve ekserji analizi için kütle, enerji, entropi ve ekserji denge denkliklerinden yararlanılmıştır (Çengel and Bones, 2006). Sisteme giren ve çıkan ürünlerin enerjileri ve işlemler sırasında kullanılan enerji dikkate alınarak enerji kayıpları tespit edilmiştir. Termofiziksel özellikler, ürünün kompozisyonu dikkate alınarak literatürde belirtilen eşitlikler ile belirlenmiştir (Choi and Okos, 1986). İşlenmiş et ürünlerinin ve vegan alternatiflerinin üretimi sırasında kullanılan enerji analiz denklikleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\sum \dot{m}_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} \quad (1)$$

$$\dot{E}_{giren \text{ örnek}} + \dot{E}_{elektrik} = \dot{E}_{çıkan \text{ örnek}} + \dot{E}_{kayıp} \quad (2)$$

$$\dot{E}_{giren \text{ örnek}} = m_{giren \text{ örnek}} * C_{p,giren \text{ örnek}} * (T_i - T_d) \quad (3)$$

$$\dot{E}_{elektrik} = \sum VIt \quad (4)$$

$$\dot{E}_{çıkan \text{ örnek}} = m_{çıkan \text{ örnek}} * C_{p,çıkan \text{ örnek}} * (T_f - T_d) \quad (5)$$

Üretim hatlarının enerji verimliliğinin belirlenmesinde ise aşağıda belirtilen eşitlik kullanılmıştır.

$$\eta_{enerji} = \frac{\dot{E}_{çıkan \text{ örnek}}}{\dot{E}_{giren \text{ örnek}} + \dot{E}_{elektrik}} * 100 \quad (6)$$

Ekserji, enerjiden farklı olarak, tersinmez ve atıklarla orantılı bir şekilde sistemdeki entropi üretimini incelemektedir. Başka bir deyişle Termodinamiğin 1. ve 2. yasalarını birlikte inceleyebilmektedir. Dolayısıyla, ekserji analizi ile işlem sırasındaki tersinmezlikler belirlenebilmekte, enerji kayıpları minimize edilebilmekte ve kullanılmadan atılan enerjinin değerlendirilmesi sağlanabilmektedir (Çengel and Boles, 2006).

Genel entropi denkliği işlenmiş et ürünleri ve vegan alternatiflerinin üretimleri için uygulanmak istendiğinde sisteme giren ve çıkan ürünlerin entropi hızları, işlem sırasında oluşan ısı enerjisinden kaynaklanan düzensizlik, sistemin ilk ve son durumdaki entropi farkı hızı ve işlem sırasında ısı kaybı ile uzaklaşan entropi hızı denkleme dâhil edilerek elde edilmiştir. Tüm hesaplamalarda ölü hal olarak $T_d = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_0 = 101.325\text{ kPa}$ olarak kabul edilmiştir (Çengel ve Boles, 2006).

$$\dot{S}_{giren\ örnek} + \dot{S}_{oluşan} + \dot{S}_{elektrik} = \dot{S}_{çıkan\ örnek} + \dot{S}_{kayıp} \quad (7)$$

$$\dot{S}_{giren\ örnek} = \dot{m}_{giren\ örnek} * C_{p_{giren\ örnek}} * \ln \frac{T_i}{T_d} \quad (8)$$

$$\dot{S}_{elektrik} = \frac{\dot{E}_{elektrik}}{T_{ortam}} \quad (9)$$

$$\dot{S}_{çıkan\ örnek} = \dot{m}_{çıkan\ örnek} * C_{p_{çıkan\ örnek}} * \ln \frac{T_f}{T_d} \quad (10)$$

$$\dot{S}_{kayıp} = \frac{\dot{E}_{kayıp}}{T_d} \quad (11)$$

Üretim hatlarında oluşturulacak ekserji denklemleri için ise sisteme giriş ve çıkış yapan ekserji hızları ve sistemin ilk ve son durumdaki ekserji farkı kullanılarak elde edilmiştir. Bu eşitlik sonucunda da $X_{yıkım}$ değeri elde edilmiştir.

$$\dot{X}_{giren\ örnek} + \dot{X}_{elektrik} = \dot{X}_{çıkan\ örnek} + \dot{X}_{yıkım} \quad (12)$$

$$\dot{X}_{giren\ örnek} = \dot{E}_{giren\ örnek} - \dot{S}_{giren\ örnek} * T_d \quad (13)$$

$$\dot{X}_{elektrik} = \left(1 - \frac{T_d}{T_{ortam}}\right) * \dot{E}_{elektrik} \quad (14)$$

$$\dot{X}_{çıkan\ örnek} = \dot{E}_{çıkan\ örnek} - \dot{S}_{çıkan\ örnek} * T_d \quad (15)$$

Ekserji verimliliği hesaplanmasında ise aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\eta_{ekserji} = \left(\frac{\dot{X}_{çıkan\ örnek}}{\dot{X}_{elektrik} + \dot{X}_{giren\ örnek}} \right) * 100 \quad (16)$$

Ekserji analizinin uygulama amacına göre, uygulandığı sistemdeki geliştirme olanaklarını belirlemek amacıyla geliştirilmiş olan “geliştirme potansiyeli (GP)” terimi de hesaplanmıştır (Cokgezme ve ark., 2017).

$$GP = \left(1 - \frac{\eta_{ekserji}}{100}\right) x (\sum Ex_1 - \sum Ex_2) \quad (17)$$

3.3.3 Eksergo-ekonomik analizler

Eksergo-ekonomik analizlerde istenilen işin gerçekleştirilmesinin toplam maliyetinin, girdilerin toplam maliyetine eşit olduğu ifade eden maliyet denkliği (Orhan et al. 2010) uygulanmıştır.

$$\sum C_{i,giren} + Z_T = \sum C_{i,çıkan} \quad (18)$$

Bir çıktının elde edilmesi için gerekli toplam maliyetin ($\sum C_{i,çıkan}$), giren bileşenlerin maliyetinin ($\sum C_{i,giren}$) ve yatırım-işletme maliyetlerinin (Z_T) toplamına eşit olduğunu ifade edilmektedir. Bu denklikte çıkan değerli bileşen olarak, gerçekleştirilen üretimler sonucu elde edilen et ürünleri ve bitkisel protein kaynakları ile işlenmiş ürünler olduğu ve bu ürünün üretilmesi için gerekli girdilerin işlem sırasında harcanan enerji ve üretimler sırasında kullanılan hammaddelerin maliyetleri olduğu dikkate alınarak maliyet oranı denkliği elde edilmiştir.

$$C_{enerji} + \sum C_{girdiler} + Z_T = C_{son\ ürün} \quad (19)$$

C_{enerji} üretim işlemleri sırasında kullanılan enerjinin maliyeti (\$), $C_{girdiler}$ üretim sırasında kullanılan hammaddelerin toplam maliyetini (\$), Z_T yatırım ve işletme maliyetleri toplamını (\$) ve $C_{son\ ürün}$ ise üretimler sonucu elde edilen ürünlerin maliyetini (\$) ifade etmektedir.

Et ürünlerinin ve bitkisel protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin üretimi için gerekli olan yatırım ve işletme maliyetlerinin yıllık bazda değerlendirilmesi ile elde edilen yatırım maliyeti ($Z_{yatırım}$, \$) ve işletme maliyeti ($Z_{işletme}$, \$) değerleri toplanarak toplam yatırım maliyeti (Z_T) değeri belirlenmiştir.

$$Z_T = Z_{yatırım} + Z_{işletme} \quad (20)$$

Yıllık yatırım maliyeti ($Z_{yatırım}$) hesaplanması amacıyla anapara geri kazanım faktörü (CRF), satın alım maliyeti (PEC) ve işletim süresi (t_{op}) değerleri dikkate alınmıştır. Burada CRF değerinin belirlenmesinde faiz oranının (i) %60 olduğu ve işletim süresinin (n) de 20 yıl olduğu varsayımı yapılmıştır. İşletme maliyetinin ($Z_{işletme}$) belirlenmesinde ise üretimler sırasındaki işçilik maliyeti, doğalgaz ve elektrik masrafları ve makine gider masrafları dikkate alınmıştır.

$$Z_{yatırım} = \frac{CRF}{t_{op}} PEC \quad (21)$$

$$CRF = \frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \quad (22)$$

Üretim işlemleri sonunda elde edilen son ürünlerin birim ekserji maliyet bedeli ise aşağıdaki eşitlik ile belirlenmiştir.

$$C_{\text{son ürün}} (\$/J) = \frac{C_{\text{enerji}} + C_{\text{girdiler}} + Z_T}{\dot{X}_{\text{son ürün}}} \quad (23)$$

Dana burger üretim hattında kullanılan ekipmanların ve bileşenlerin fiyatları Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.13 Dana burger üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları

Bileşenler	Fiyat (TL/kg)	Ekipmanlar	Fiyat (TL)
Dana eti	621.5	CFS Columnloader 300S	480772.8
Böbrek yağı	133.2	CFS Autogrind 280	3993516
Ekmek	38.8	CFS Columnloader 300S	480772.8
Soğan	116.5	CFS Combigrind 1500/225	5040360
Pastörize yumurta akı	40.6	CFS Columnloader 300S	480772.8
Maydanoz	69.9	Formax Ultra 26	13642000
Tuz	3.69	CFS TRC 1900/600	387720
Kimyon	103.2	CFS Life System	12019320
Karabiber	194.2	CFS TRC 1900/600	387720
Sarımsak	81.1		

*Kur Fiyatı 1 Dolar: 35.90 TL olarak kabul edilmiştir (05.02.2025)

Dana burger üretiminde kg üretim başına düşen işçilik masrafları 25.31 TL, kg başına düşen makine gideri masrafları 2.86 TL, kg başına düşen enerji giderleri 6.13 TL olarak alınmıştır. Dana misket köfte üretim hattında kullanılan ekipmanların ve bileşenlerin fiyatları Çizelge 3.14'te verilmiştir. Dana misket köfte üretiminde kg üretim başına düşen işçilik masrafları 23.19 TL, kg başına düşen makine gideri masrafları 3.73 TL, kg başına düşen enerji giderleri 8.33 TL olarak alınmıştır. Kaplamalı tavuk ürünü üretim hattında kullanılan ekipmanların ve bileşenlerin fiyatları Çizelge 3.15'te verilmiştir. Kaplamalı tavuk ürünü üretiminde kg üretim başına düşen işçilik masrafları 14.35 TL, kg başına düşen makine gideri masrafları 2.73 TL, kg başına düşen enerji giderleri 10.99 TL olarak alınmıştır.

Çizelge 3.14 Dana misket köfte üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları

Bileşenler	Fiyat (TL/kg)	Ekipmanlar	Fiyat (TL)
Dana eti	621.5	CFS Columnloader 300S	480772.8
Böbrek yağı	133.2	Wolfking Danmark A/S Type	3597180
Su	0.035	Wolfking Scanic 61537	448750
Soğan	116.5	Wolfking TSMIG 1250	6103000
Tuz	3.69	CFS Columnloader 300S	480772.8
Galetu unu	47.7	Koppens VM600 HSE	5527702
Pastörize yumurta akı	40.6	Koppens TG 3500/600	368334
Karabiber	194.2	Koppens HLS 600/8/210	28720000
Kimyon	103.2	Koppens TG 5500/600	368334
Buğday Lifi	92.3	GEA EasyFry 5000/650	8529840
		Koppens TG 1800/600	502600
		CFS Life System	12019320
		CFS TRC 1900/600	387720

*Kur Fiyatı 1 Dolar: 35.90 TL olarak kabul edilmiştir (05.02.2025).

Çizelge 3.15 Kaplamalı tavuk ürünü üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları

Bileşenler	Fiyat (TL/kg)	Ekipmanlar	Fiyat (TL)
Piliç eti	118.7	CFS Columnloader 300S	480772.8
Piliç deri	52.1	Wolfking Danmark A/S Type	3597180
Su	0.035	Wolfking Scanic 61537	448750
Tuz	3.69	Wolfking TSMIG 1250	6103000
Sodyum polifosfat	131.8	CFS Columnloader 300S	480772.8
Kekik	34.9	Koppens VM600 HSE	5527702
Kimyon	103.2	Koppens TG 3500/600	368334
Karabiber	194.2	Koppens HLS 600/8/210	28720000
Soğan	116.5	Koppens TG 5500/600	368334
Şeker	30.7	CFS WTC 600	697896
Biberiye ekstraktı	3877.2	CFS CRM 600	833598
		GEA EasyFry 5000/650	8529840
		Koppens TG 1800/600	502600
		CFS Life System	12019320

*Kur Fiyatı 1 Dolar: 35.90 TL olarak kabul edilmiştir (05.02.2025).

Vegan burger üretim hattında kullanılan ekipmanların ve bileşenlerin fiyatları Çizelge 3.16’da verilmiştir. Vegan burger üretiminde kg üretim başına düşen işçilik masrafları 31.34 TL, kg başına düşen makine gideri masrafları 6.75 TL, kg başına

düşen enerji giderleri 9.17 TL olarak alınmıştır. Vegan köfte ürünü üretim hattında kullanılan ekipmanların ve bileşenlerin fiyatları Çizelge 3.17’de verilmiştir. Vegan köfte ürünü üretiminde kg üretim başına düşen işçilik masrafları 21.38 TL, kg başına düşen makine gideri masrafları 2.79 TL, kg başına düşen enerji giderleri 7.12 TL olarak alınmıştır.

Çizelge 3.16 Vegan burger üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları

Bileşenler	Fiyat (TL/kg)	Ekipmanlar	Fiyat (TL)
Tekstüre bezelye proteini	448.7	CFS Columnloader 300S	480772.8
Aroma verici	1181.1	CFS Autogrind 280	3993516
Renklendirici	1884.7	CFS Columnloader 300S	480772.8
Ayçiçek yağı	48.6	CFS Combigrind 1500/200	5040360
Metil selüloz	359.0	CFS Columnloader 300S	480772.8
Tuz	3.69	CFS MLF 600	3949000
		CFS TRC 1900/600	387720
		CFS Life System	12019320
		CFS TRC 1900/600	387720

*Kur Fiyatı 1 Dolar: 35.90 TL olarak kabul edilmiştir (05.02.2025).

Çizelge 3.17 Vegan köfte ürünü üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları

Bileşenler	Fiyat (TL/kg)	Ekipmanlar	Fiyat (TL)
Nohut	62.0	CFS Columnloader 300S	480772.8
Havuç	29.9	CFS Autogrind 280	3993516
Bezelye	36.6	CFS Columnloader 300S	480772.8
Kırmızı Biber	57.2	CFS Combigrind 1500/200	5040360
Mısır	61.0	CFS Columnloader 300S	480772.8
İspanak	33.3	CFS MLF 600	3949000
Soğan	28.9	CFS TRC 3500/600	368334
Ayçiçek Yağı	48.6	CFS EFR 4000/650	9693000
Buğday Lifi	92.3	CFS TRC 1900/600	387720
Tuz	3.69	CFS Life System	12019320
Metil Selüloz	378.7	CFS TRC 1900/600	387720
Şeker	30.7	CFS Type BRU 900	814212
Karabiber	194.2		
Kişiş	44.4		

*Kur Fiyatı 1 Dolar: 35.90 TL olarak kabul edilmiştir (05.02.2025).

Vegan tavuk benzeri ürününün üretim hattında kullanılan ekipmanların ve bileşenlerin fiyatları Çizelge 3.18’de verilmiştir. Vegan tavuk benzeri ürününün üretiminde kg üretim başına düşen işçilik masrafları 22.44 TL, kg başına düşen makine gideri masrafları 6.71 TL, kg başına düşen enerji giderleri 9.13 TL olarak alınmıştır.

Çizelge 3.18 Kaplamalı tavuk benzeri ürünü üretiminde kullanılan bileşen ve ekipmanların fiyatları

Bileşenler	Fiyat (TL/kg)	Ekipmanlar	Fiyat (TL)
Tekstüre buğday	527.7	CFS Columnloader 300S	480772.8
Ayçiçek yağı	48.6	CFS Autogrind 280	3993516
Metil selüloz	638.6	CFS Columnloader 300S	480772.8
Tuz	3.69	CFS Combigrind 1500/200	5040360
Soğan tozu	290.8	CFS Columnloader 300S	480772.8
Beyaz biber	897.5	CFS MLF 600	3949000
Aroma vericiler	3432.1	CFS TRC 3500/600	368334
		CFS OPF 600-11	368334
		T6 1150 / 600 R	556450
		Koppens MK200H	610300
		Koppens PU600	588760
		GEA EasyFry-5000/650	8529840
		CUC 90/600L	667740
		CFS Life System	12019320
		CFS TRC 1900/600	387720

*Kur Fiyatı 1 Dolar: 35.90 TL olarak kabul edilmiştir (05.02.2025).

3.3.4 Kompozisyon analizleri

Hayvansal protein kaynakları ile işlenmiş et ürünlerinin ve alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin enerji değerleri 26.01.2017 tarihli ve 29960 sayılı TKG Gıda Etiketleme ve Tüketicileri Bilgilendirme Yönetmeliğinde yer alan hesaplama yöntemiyle belirlenmiştir. Ürünlerin ve hamur karışımlarının toplam yağ ve doymuş yağ (COI/T.20/Doc NO:33, IOC), karbonhidrat, toplam şeker (AOAC 920.64) protein (Kjeldahl, Gerhardt application notes A.1.1.3), tuz (TS 1747-1 ISO 1841-1, TSE) ve kül (TS 1746 ISO 936, TSE) miktarları dış laboratuvarda hizmet alımı gerçekleştirilerek tespit edilmiştir (Anonymous 2017c; Çetin ve ark., 2018; Çakır and Dinçoğlu, 2022; Kaya et al., 2024).

3.3.5 Yoğunlukların belirlenmesi

Ürünlerin yoğunluklarının tespit edilebilmesi için Choi ve Okos (1986) tarafından önerilen denklem kullanılmıştır:

$$\rho = \frac{1}{\sum(X_i/\rho_i)} \quad (24)$$

Saf komponentlerin yoğunlukları ise Rahman (1995)'te belirtildiği şekilde hesaplanacaktır:

$$\rho_{pr} = 1.3299 \times 10^3 - 5.180 \times 10^{-1} T \quad (25)$$

$$\rho_{yag} = 9.2559 \times 10^2 - 4.1757 \times 10^{-1} T \quad (26)$$

$$\rho_k = 1.5991 \times 10^3 - 3.1046 \times 10^{-1} T \quad (27)$$

$$\rho_{kul} = 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1} T \quad (28)$$

$$\rho_{su} = 9.9718 \times 10^2 + 3.1439 \times 10^{-3} T - 3.7574 \times 10^{-3} T^2 \quad (29)$$

3.3.6 Sürdürülebilirlik analizleri

Hayvansal protein kaynakları ile işlenmiş et ürünlerinin ve alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin sürdürülebilirlik analizleri için öncelikle işlemlerin sınır koşulları belirlenmiştir. Sınır koşulları tarladan son ürün fabrika çıkış kapısına (perakendeye gönderilmeye hazır paketlenmiş ürün) kadar olan bölümü içine almaktadır. Sürdürülebilirlik analizlerinde; formülasyonlarda kullanılan girdilerin üretimi ve hammaddelerin yetiştirilmesi, formülasyonlarda kullanılacak olan girdilerin fabrikaya taşınması, içerikte bulunan girdilerin geleneksel olarak işlenmiş et ürünlerine ve hayvansal içerik içermeyen ürünlere dönüştürmek için kullanılan enerji (su, elektrik veya doğalgaz) ve nihai ürünler için kullanılan ambalaj türünün üretilmesi (plastik, karton veya kutular) ve fabrika içi faaliyetler dikkate alınmıştır. Fabrika kapısının ötesinde herhangi bir faaliyeti dahil edilmeyeceği için tüketici tarafından perakende satış, hazırlama ve gıda imhası için kullanılan nakliye, enerji kullanımı ve su arıtma işlemi, sürdürülebilirlik analizlerinde dahil edilmemiştir.

Sınır koşullarının belirlenmesinin ardından hesaplamalarda kullanılacak olan veriler üretici firmada yapılan ölçümlerle ve Open LCA paket programdan veri kütüphanesinden (Agribalyse_v301 veri tabanı) elde edilmiştir. Sürdürülebilirlik analizleri kapsamında oluşturulan ve üretim hattı boyunca sisteme giriş ve çıkış yapan hammadde, enerji akışı ve atıkların tanımlandığı model grafiği ReCiPe 2016

ve Impact 2002+ modülleriyle çözümlenmiştir. Sürdürülebilirlik analizleri, 1 kg son ürün fonksiyonel birim baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan sürdürülebilirlik analizleri sonucunda geleneksel olarak işlenmiş et ürünlerinin ve hayvansal içerik içermeyen ürünlerin küresel ısınmaya etkisi (kgCO₂), su tüketimi (kg), alan kullanımı (m²), ozon tabakası incelmeye etkisi (kg CFC-11), ötrofikasyon (kgP) ve asidifikasyon (kg SO₂) değerleri tespit edilmiştir.

3.3.7 İstatistiksel değerlendirme

Tez kapsamında gerçekleştirilen analizlerin istatistiksel değerlendirmesi için SPSS istatistik paket programı (SPSS, 20, IBM, USA) paket programı kullanılmıştır. İşlenmiş et ürünleri ve vegan alternatifleri için üretim hatlarının performans analizi sonuçları varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş; elde edilen verilen Duncan çoklu karşılaştırma testine göre %95 güven aralığında değerlendirilmiştir. Dana burger-vegan burger, dana misket köfte-vegan köfte, kaplamalı tavuk ürünü-kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü hatlarının işlem basamaklarındaki enerji ve ekserji karşılaştırmaları ise t-Test (independent samples) analizine tabi tutulmuştur. Ayrıca işlenmiş et ürünleri üretim hatlarının sürdürülebilirlik analiz sonuçları ve alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin üretim hatlarının sürdürülebilirlik analiz sonuçları varyans analizine tabi tutularak Duncan çoklu karşılaştırma testine göre %95 güven aralığında değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında bazı işlenmiş et ürünlerinin (dana burger, dana misket köfte, kaplamalı tavuk ürünü) ve alternatif protein kaynakları ile üretilen ürünlerin (vegan burger, vegan köfte, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün) endüstriyel ölçekteki üretim hatlarının performans ve sürdürülebilirlik değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Performans değerlendirmesi kapsamında ele alınan üretim hatlarının enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizleri gerçekleştirilmiş, üretim hattında geliştirme potansiyeli bulunan işlem basamakları belirlenmiştir.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen sürdürülebilirlik değerlendirmesi kapsamında bazı işlenmiş et ürünlerinin (dana burger, vegan burger, kaplamalı tavuk ürünü) ve alternatif protein kaynakları ile üretilen ürünlerin (vegan burger, vegan köfte, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün) endüstriyel ölçekteki üretim hatlarının çevresel ve sağlık etkilerini oluşturan kategorilerde etki düzeyleri karşılaştırılmıştır.

4.1 İşlenmiş Et Ürünlerinin ve Alternatif Protein Kaynakları ile Üretilen Ürünlerin Kompozisyonu

Tez kapsamında endüstriyel ölçekte üretimleri gerçekleştirilen dana burger, dana misket köfte, kaplamalı tavuk ürünü, vegan burger, vegan köfte, kaplamalı tavuk benzeri ürününün kompozisyon değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 İşlenmiş et ürünlerinin ve alternatif protein kaynakları ile üretilen alternatif ürünlerin kompozisyonu

	İşlenmiş et ürünleri			Alternatif protein kaynakları ile üretilen ürünler		
	Dana burger	Dana misket köfte	Kaplamalı tavuk ürünü	Vegan burger	Vegan köfte	Kaplamalı tavuk benzeri ürün
Yağ (g)	21.78 ±1.24	14.45 ±1.53	16.26 ±1.01	8.30 ±0.48	12.24 ±1.42	13.95 ±1.38
Karbonhidrat	5.20±0.53	6.30 ±1.42	12.44±0.98	6.45 ±0.54	13.65 ±1.93	25.25 ±1.23
Protein (g)	12.42±0.68	12.85 ±0.77	12.35 ±0.84	18.75 ±0.92	5.11 ±0.38	12.15 ±0.76
Su (g)	59.25 ±1.82	64.90 ±1.99	56.75 ±1.72	64.70 ±1.35	66.50 ±1.65	46.25 ±1.52

Kül (g)	1.35 ±0.2	1.50 ±0.8	2.20 ±0.55	1.8 ±0.21	2.5 ±0.11	2.40±0.67
---------	-----------	-----------	------------	-----------	-----------	-----------

Tez çalışması kapsamında değerlendirilen işlenmiş et ürünleri ve vegan alternatifleri incelendiğinde dana burgerin yağ içeriğinin vegan burgere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Alternatif protein kaynaklı vegan burgerin daha düşük yağ içeriğine sahip olması, bu ürünlerin özellikle yağ tüketimini sınırlamak isteyen bireyler için iyi bir seçenek olabileceğini göstermektedir. Karbonhidrat içeriği açısından değerlendirildiğinde ise kaplamalı tavuk ürününün ve bu ürünün vegan alternatifi olan kaplamalı tavuk benzeri ürünün kendi ürün grupları içerisinde karbonhidrat oranlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Protein içeriğine bakıldığında ise vegan burger 18.75 gram protein içeriği ile öne çıkmaktadır. Bu durum, alternatif protein kaynaklarının doğru formülasyonlarla et ürünlerine benzer protein değerlerine ulaşabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak vegan köfte, 5.11 gram protein içeriği ile daha düşük bir değere sahiptir. Bu farklılık, kullanılan bitkisel protein kaynaklarının çeşitliliği ve oranlarına bağlı olarak değişmektedir. Son yıllarda bilinçli tüketicilerin beslenme alışkanlıklarında meydana gelen değişiklikler ve günlük protein alımına verilen önemin artması göz önünde bulundurulduğunda, vegan köfte ürününün protein oranının artırılması gerektiği düşünülmektedir. Öte yandan et ve et ürünleri yetişkinler için gerekli olan sekiz temel amino asidi ve çocuklar için gerekli olan dokuz amino asidi içeren yüksek biyolojik değere sahip ürünlerdir (Higgs, 2000). Ek olarak diğer gıdalara göre vücudun daha kolay emebildiği birçok mineral (demir, çinko) ve vitamini (B₁₂) içeriğinde bulundurmaktadır (Giromini and Givens, 2022). Ancak kırmızı et içeriği yüksek diyetlerin kardiyovasküler hastalık ve bazı kanserler gibi bazı sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilmektedir (Bouvard et al., 2015 Boada et al., 2016). Bu nedenle, bireylerin bilinçli tercihler yaparak protein, yağ ve karbonhidrat oranlarını dengelemeleri ve çeşitlilik içeren bir beslenme düzeni benimsemeleri gerekmektedir.

4.2 Üretim Hatlarının Performans Değerlendirmesi

İşlenmiş et ürünleri ve bu ürünlere yönelik vegan alternatiflerin üretim süreçlerini sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından analiz etmek giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu bağlamda yapılan tez çalışması, üç farklı işlenmiş et ürünü (dana burger, dana misket köfte, kaplamalı tavuk) ile üç farklı vegan alternatifinin (vegan burger, vegan köfte, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün) üretim hatlarını enerji, entropi ve ekserji verimlilikleri temelinde değerlendirmiştir. Her üretim

aşamasında enerji tüketimi ve verimlilik analizleri gerçekleştirilmiş; süreçlerin performansı detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca eksergo-ekonomik analizlerle üretim maliyetleri üzerinde etkili olan parametreler belirlenmiştir.

4.2.1 İşlenmiş et ürünleri üretim hatlarının performans değerlendirmesi

İşlenmiş et ürünlerinin üretim hatlarının performans değerlendirmesi kapsamında dana burger, dana misket köfte ve kaplamalı tavuk ürünlerinin üretim hatları işlem basamakları bazında incelenmiştir. Üretim hatlarında ana işlem basamakları bazında giren enerji değerleri, enerji verimliliği, entropi jenerasyonu, yokolan ekserji, ekserji verimliliği ve geliştirme potansiyeli değerleri Çizelge 4.2-4.4’de verilmiştir.

Dana burger üretim hattının enerji ve ekserji analiz sonuçları incelendiğinde, enerji ve ekserji verimliliklerinin istatistiksel olarak en düşük olduğu işlem basamağının dondurma işlemi olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (EK 1) (Çizelge 4.2). Bu durum dondurma işleminin en fazla güç harcayan, enerji kayıplarının en yüksek olduğu ve en uzun süren işlem süresine sahip olan bölüm olmasından kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde enerji kayıplarının, entropi oluşumunun ve ekserji yıkımının en yüksek olduğu işleminin de dondurma işlemi olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (EK 1). Dolayısıyla, dana burger üretim hattında geliştirme potansiyeli en yüksek olan işlem basamağının dondurma işlemi olduğu belirlenmiştir. Bu durum performans değerlendirmesi kapsamında dana burger üretim hattında iyileştirmelerin gerçekleştirilmesi için odaklanması gereken noktanın dondurma işlemi olduğunu göstermektedir. Enerji ve ekserji verimlilikleri en yüksek olan işlem basamağının ise enerji girdisinin ve entropi jenerasyonunun en düşük olduğu form verme basamağı olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (EK 1). Dana burger üretim hattındaki işlem basamakları incelendiğinde ekserji verimliliğindeki azalışın, geliştirme potansiyelinde artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Alta and Ertekin (2015) dondurulmuş kiraz üretim sürecinin enerji ve ekserji değerlendirmelerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında ön yıkama, sap ayıklama, çekirdek çıkarma ve dondurma işlem basamaklarının enerji ve ekserji verimlilikleri tespit edilmiştir. Performans analizleri sonucunda dondurma işlemindeki enerji ve ekserji verimliliklerinin sırasıyla %31.56 ve %2.20 olduğu saptanmış ve diğer işlem basamaklarına göre en düşük enerji ve ekserji verimlilik değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir. Yapılan bir başka çalışmada ise enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilerek kıyma örneklerinde ohmik pişirme sürecinin performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir (Bozkurt and İcier, 2010). Çalışma

sonucunda ekserji yıkımındaki artışın ohmik pişirme sürecinin geliştirme potansiyelinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Tez çalışmasında dondurma işlemiyle ilgili elde edilen enerji ve ekserji verimlilik verileri ile ekserji verimliliği ve geliştirme potansiyeli arasındaki ilişki, literatürde incelenen çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Ancak, literatürde endüstriyel ölçekte bir burger üretim hattının performans analizine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çizelge 4.2 Dana burger üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları

	Ekayıp (kJ)	Enerji Verimliliği (%)	S _{gen} (kJ/K)	X _{yıkım} (kJ)	Ekserji Verimliliği (%)	GP (kJ)
Boyut Küçültme	192559±476 ^b	75.2±0.5 ^c	23.2±0.2 ^b	5407±40 ^b	42.2±0.2 ^b	3127±34 ^b
Harmanla ma	23995±369 ^c	72.15±0.40 ^b	20.7±0.17 ^b	4824.3±40.12 ^b	47.88±0.32 ^c	2511.3±34.29 ^b
Form Verme	8791.9±272.0 ^a	87.99±0.11 ^d	7.6±0.22 ^a	1764.7±52.15 ^a	72.33±0.69 ^d	487.3±29.83 ^a
Dondurma	283952.±482.7 ^d	42.75±0.07 ^a	258.5±3.43 ^d	60257.±798.6 ^c	31.25±0.27 ^a	41422±712.7 ^c

^{a, b, c, d} aynı sütundaki farklı üst simgeler, dana burger üretim hattı için işlem basamağına bağlı olarak ilgili performans özelliği açısından önemli farklılıkları gösterir (p < 0.05).

Dana misket köfte hattının enerji ve ekserji analiz sonuçları incelendiğinde, dana burger hattına benzer şekilde, enerji ve ekserji verimliliğin en düşük olduğu işlem basamağının dondurma işlemi olduğu belirlenmiştir (p<0.05) (EK 2) (Çizelge 4.3). Dondurma işleminden sonra enerjinin girdisinin yüksek, ancak enerji kayıplarının yüksek olduğu bir başka basamağın pişirme işlemi olduğu tespit edilmiştir (p<0.05) (EK 2). Boyut küçültme, harmanlama ve form verme işlemlerinde sadece mekanik bir işlem söz konusu iken pişirme işlemi sırasında ürünlerin merkez sıcaklığının buhar uygulaması ile 72°C'ye gelmesi hedeflenmektedir. Bu işlem sırasında ürünün hedef sıcaklığa gelmesi için harcanan enerjinin yanı sıra fırın sıcaklığını 140°C'de sabit tutmak için gerekli enerji tüketiminin meydana gelmesi enerji kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, dana misket köfte üretim hattında geliştirme potansiyeli yüksek olan işlem basamaklarının dondurma ve pişirme işlemleri olduğu belirlenmiştir (p<0.05) (EK 2). Bu durum dana misket köfte üretim hattında performans iyileştirmeleri için odaklanması gereken basamaklarının dondurma ve pişirme işlemleri olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, bir ısıtım işlemi olan kızartma işlem basamağında kızgın yağın sabit sıcaklığa getirilmesi ardından, işlem sırasında elde edilen enerji ve ekserji verimliliklerinin diğer işlem basamaklarına kıyasla oldukça yüksek

olduğu ($p < 0.05$), enerjinin kullanılabilirliğinin yüksek olduğu belirlenmiştir (EK 2). Dowlati et al. (2017) termodinamik verimsizliklerin yerlerini belirlemek amacıyla bir dondurma üretim tesisinin kapsamlı ekserji performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada karıştırma tankının ekserji verimliliği %35.38 olarak bulunurken dondurma işleminin ekserji verimliliği %13.19 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tüm üretim hattında geliştirme potansiyeli değerinin en yüksek olduğu işlem basamağının dondurma aşamasında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada ise portakal suyu üretiminin enerji ve ekserji verimlilikleri incelenmiştir (Waheed et al., 2008). Sıralama, temizleme, rendeleme, kırma gibi mekanik işlemlerinin gerçekleştiği portakal suyu üretiminde entropi oluşum değerleri sırasıyla 5.40 MJ, 67.13 MJ, 90.20 MJ ve 309.26 MJ olurken buhar kullanımının gerçekleştiği pastörizasyon işleminin entropi oluşumu 18630.81 MJ olarak gerçekleşmiştir. Yapılan tez çalışmasında da buhar kullanımının gerçekleştiği pişirme işlemindeki entropi oluşum değerlerinin üretim hattındaki mekanik işlemlere (boyut küçültme, harmanlama ve form verme) göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak, literatürde endüstriyel ölçekte bir köfte üretim hattının performans analizine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çizelge 4.3 Dana misket köfte üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları

	$E_{kayıp}$ (kJ)	Enerji Verimliliği (%)	S_{gen} (kJ/K)	$X_{yıkım}$ (kJ)	Ekserji Verimliliği (%)	GP (kJ)
Boyut Küçültme	5414.3±482.52 ^a	89.5±0.84 ^e	12.2±0.50 ^a	2846.1±116.15 ^a	51.7±1.03 ^e	1374.0±85.7 ^a
Harmanlama	24342±486.94 ^c	66.9±0.53 ^d	23.7±0.70 ^{a,b}	5521.5±162.89 ^{a,b}	38.7±0.88 ^d	3387.4±147.8 ^{a,b}
Form Verme	41100±489.43 ^d	55.8±0.61 ^c	38.9±0.80 ^b	9058.6±187.49 ^b	29.8±0.95 ^c	6359.6±217.2 ^b
Pişirme	142423±10291 ^e	53.8±2.33 ^b	393.320.12 ^c	91690±4691.4 ^c	26.0±1.71 ^b	67925±486 ^c
Kızartma	14505±1339.6 ^b	91.5±0.53 ^f	33.3±1.55 ^b	7753.5±361.63 ^b	78.7±0.22 ^f	1647.4±83.8 ^a
Dondurma	592062±3613.2 ^f	27.4±0.12 ^a	548.5±7.1 ^d	127894±1649.3 ^d	17.1±0.20 ^a	1265373±1621 ^d

^{a, b, c, d, e, f} aynı sütundaki farklı üst simgeler, dana misket köfte üretim hattı için işlem basamağına bağlı olarak ilgili performans özelliği açısından önemli farklılıkları gösterir ($p < 0.05$).

İşlenmiş et ürünlerinden bir diğeri olan kaplamalı tavuk ürün hattının enerji ve ekserji analiz sonuçları incelendiğinde de, dana burger ve dana misket köfte üretim hatlarına benzer şekilde dondurma işleminin enerji ve ekserji verimliliğinin en düşük olduğu işlem basamağı olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.4). Dana misket köfte üretim hattına benzer şekilde, pişirme işleminin enerji ve ekserji verimliliğinin diğer bölümlere kıyasla düşük olması dikkati çekmektedir ($p < 0.05$) (EK 3). Dolayısıyla, dondurma ve pişirme işlemleri geliştirme potansiyeli yüksek

işlem basamaklarıdır ($p<0.05$) (EK 3). Bu durumun dana misket köfte üretim hattındaki duruma benzer olarak, pişirme işlemi sırasında ürünün hedef sıcaklığa gelme sırasında harcanan enerjinin yanı sıra fırın sıcaklığının 140°C 'de sabit tutmak için tüketilen enerjinin yüksek olmasından ve enerji kayıplarının da fazla oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaplamalı tavuk ürünü üretim hattında bulunan kızartma işleminin üretim hattı içinde enerji ve ekserji verimliliği en yüksek işlem basamağı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (EK 3). Kızgın yağın sabit sıcaklığa getirilmesi sonrasında et ürününe aktarılabilen enerjinin dikkate alınmasını gösteren enerji verimliliğinin yüksek olmasının yanı sıra, bu işlem sırasında entropi jenerasyonun oldukça düşük olması enerjinin yüksek kullanılabilirlik oranının olmasına bir başka deyişle ekserji verimliliğinin yüksek elde edilebilmesine neden olmuştur. Literatürde bulunan kızartma işlemlerin performans analizleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde de benzer sonuçların elde edildiği tespit edilmiştir. Genc and Hepbaşı (2015) bir yanma odası, ısı değiştirici ve kızartma işlemlerinden oluşan bir patates cipsi kızartma sisteminin ekserjetik performansını değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda yanma odası, ısı değiştirici ve kızartma işlemlerinin ekserji verimliliklerinin sırasıyla %0.08, %47 ve %74 olduğu saptanmıştır. Ekserji yıkımının en düşük olduğu ve ekserji veriminin en yüksek olduğu işlem basamağının kızartma işleminde meydana geldiği belirlenmiştir. Genc et al. (2017) kırmızı şarap üretim hattı için gerçekleştirdikleri performans analizinde işlem basamaklarının ekserji verimliliklerini tespit etmişlerdir. Kırıcı/kök ayırıcı, plaka filtresi, membran filtresi gibi mekanik işlem basamaklarında %90 üzerinde ekserji verimliliği değerleri elde edilmiştir. Ancak bir termal işlem gerçekleşen ısı değiştirici hattında ise ekserji verimliliğinin %18.09 olduğu saptanmıştır. Literatürde kaplamalı tavuk ürünlerinin üretim hatlarına yönelik bir performans analizi bulunmamakla birlikte, kızartma ve ısıl işlem uygulamalarına dayanan performans analizleri çalışmalarıyla yapılan tez çalışmasının performans analizlerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.4 Kaplamalı tavuk ürünü üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları

	$E_{\text{kayıp}}$ (kJ)	Enerji Verimliliği (%)	S_{gen} (kJ/K)	$X_{\text{yıkım}}$ (kJ)	Ekserji Verimliliği (%)	GP (kJ)
Boyut Küçültme	5538.0 ± 216.1^a	90.7 ± 0.34^e	13.6 ± 0.73^a	3159.6 ± 170.34^a	52.8 ± 1.26^e	1493.9 ± 114.7^a
Harmanlama	25104 ± 496.6^b	70.5 ± 0.32^d	25.5 ± 1.20^a	5936.1 ± 279.55^a	42.2 ± 0.95^d	3434.1 ± 216.6^a
Form Verme	51320 ± 315.6^c	54.6 ± 0.38^b	48.1 ± 1.22^b	11213 ± 283.76^b	28.9 ± 0.48^c	7971.9 ± 242.5^b
Piştirme	157500 ± 5220.8^d	55.9 ± 0.57^c	451.9 ± 3.16^c	103901 ± 2909.2^c	27.2 ± 0.24^b	75673 ± 2295.6^c

Kızartma	2923.4±76.7 ^a	98.5±0.04 ^f	24.7±0.08 ^a	5756.6±18.38 ^a	86.1±0.02 ^f	801.7±3.77 ^a
Dondurma	565626±415.2 ^e	26.8±0.02 ^a	577.1±.06 ^d	134550±3510.9 ^d	16.7±0.35 ^a	112131±3386 ^d

^{a, b, c, d, e, f} aynı sütundaki farklı üst simgeler, kaplamalı tavuk ürünü üretim hattı için işlem basamağına bağlı olarak ilgili performans özelliği açısından önemli farklılıkları gösterir ($p < 0.05$).

İşlenmiş et ürünlerinin üretim hatları incelendiğinde, dana burger, dana misket köfte ve kaplamalı tavuk üretim süreçlerinde enerji ve ekserji verimliliğinin en düşük olduğu ortak işlem basamağının dondurma işlemi olduğu belirlenmiştir. Bu durum, dondurma işleminin en fazla güç harcanan, en yüksek ekserji yok oluşuna sahip ve en uzun süren aşama olmasından kaynaklanmaktadır. Dondurma işleminden sonra ise enerji tüketiminin en yüksek olduğu pişirme işleminin, verimlilik açısından geliştirilmesi gereken ikinci kritik işlem basamağı olduğu sonucuna varılmıştır. Pişirme sürecinde, ürünlerin hedef sıcaklığa ulaşması ve fırın sıcaklığının sabit tutulması için harcanan enerji, kayıpların artmasına neden olmaktadır. Genel olarak, üretim hatlarında dondurma ve pişirme işlemlerinin enerji ve ekserji verimliliğini artırmaya yönelik iyileştirme potansiyeline sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dana burger, dana misket köfte ve kaplamalı tavuk üretim hatlarında bulunan IQF dondurma sistemindeki enerji ve ekserji verimliliklerini yükseltmek için ürünlere kademeli soğutma gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir. Ürünlerin ön soğutma aşamasından geçirilmesi, IQF hattına giren ürünlerin sıcaklığını düşürerek sistemin yükünü hafifletebilecektir. Öte yandan IQF sisteminde yer alan hava kanallarındaki buzlanmaların düzenli olarak periyodik bakımlarını gerçekleştirerek temizlemek homojen hava akışını sağlayarak dondurma süresini kısaltıp enerji kaybını azaltacaktır. Ayrıca IQF tünelinin kapasitesine göre ürün yerleşimini ayarlamak hava akışını engellemeden dondurma işleminin verimliliğini artıracaktır. Dana misket köfte ve kaplamalı tavuk üretim hatlarında bulunan IQF dondurma sisteminden sonra geliştirme potansiyeli en yüksek olan basamağının pişirme fırınında olduğu tespit edilmiştir. Performans analizleri kapsamında pişirme fırınının enerji ve ekserji verimliliğini yükseltebilmek için pişirme tüneli içerisinde sıcaklık aşamalarının optimize edilerek kademeli pişirme işlemi gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir. Ek olarak pişirme tüneline çıkan sıcak hava ön ısıtma işleminde kullanılarak pişirme işlemi öncesinde ürünlerin sıcaklığını artırmak için değerlendirilebilir. Ayrıca düzenli bakım ve kalibrasyon işlemlerinin yanı sıra, pişirme fırınında kullanılan izolasyon malzemelerinin kontrol edilmesi, sıcak hava kaçaklarının tespit edilmesi ve bağlantı noktalarında etkili yalıtım malzemelerinin kullanılması, pişirme fırınının performans değerlerinin iyileştirilmesine katkı sağlayabilecektir.

4.2.2 Alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin üretim hatlarının performans değerlendirmesi

Alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin üretim hatlarının performans değerlendirmesi kapsamında vegan burger, vegan köfte ve kaplamalı tavuk benzeri ürünün üretim hatları incelenmiştir. Vegan burgerde alternatif protein kaynağı olarak bezelye proteini kullanılırken vegan köftede çeşitli sebze içerikleri bulunmaktadır. Kaplamalı tavuk benzeri vegan ürününde ise buğday proteini alternatif protein kaynağı olarak değerlendirilmiştir.

Alternatif protein kaynakları ile elde edilen ürünlerin üretim hatlarının performans özellikleri incelendiğinde, işlenmiş et ürün hatlarına benzer şekilde, en düşük enerji ve ekserji verimliliklerinin dondurma işlemi basamağında gerçekleştiği tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (EK 4, EK 5, EK 6) (Çizelge 4.5-4.7). Tüm üretim hatlarında dondurma aşamasında, diğer üretim aşamalarına kıyasla daha yüksek ekserji yıkımı ($p < 0.05$) ve entropi oluşumu ($p < 0.05$) nedeniyle düşük enerji ve ekserji verimlilikleri gerçekleşmiştir (EK 4, EK 5, EK 6). Bu duruma bağlı olarak üretim hattında geliştirme potansiyelinin en yüksek olduğu işlem basamağı dondurma işlemi olarak ortaya çıkmıştır. Alternatif protein kaynakları ile elde edilen ürünlerin üretim hatlarında benzer iyileştirme alanlarının belirlenmiş olması hatların verimlilik hedefleri doğrultusunda ortak stratejiler geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışma, üretim hatlarındaki dondurma işlem basamağında iyileştirmeler yapılması gerektiğini göstermektedir. İşlenmiş et ürünlerinin üretim hattında yer alan IQF dondurma sistemindeki iyileştirme olanaklarına benzer şekilde vegan ürünlerin IQF hattına girmeden önce ön soğutma aşamasından geçirilmesi ürün sıcaklığını düşürerek IQF sisteminin soğutma yükünü azaltacaktır. Bu yaklaşım ile enerji tüketimini ve ekserji kayıplarını minimize edilebileceği düşünülmektedir. Öte yandan hava kanallarında oluşabilecek buzlanmalar hava akışını engelleyerek dondurma süresini uzatabilecektir. Bu nedenle hava kanallarının düzenli olarak temizlenmesi ve periyodik bakımlarının yapılması homojen hava akışını sağlayarak enerji verimliliği artıracaktır. Ayrıca IQF dondurma sisteminin kapasitesine uygun ürün beslemesinin gerçekleştirilmesi ve ürünlerin tüneldeki yerleşimi hava akışını engellemeden dondurma işleminin verimliliğini artıracaktır.

Literatürdeki performans analizi çalışmaları incelendiğinde mekanik enerji kullanılan işlem basamaklarının genel olarak daha yüksek ekserji verimliliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Fadare et al., (2010) bira üretimi yapan bir tesisin

üretim hattındaki enerji ve ekserji verimlilikleri üzerine çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bira üretimi mekanik işlem basamaklarından olan taş ayırma, öğütme, harmanla ve öğütme işlem basamaklarının entropi oluşumu sırasıyla 69.98-75.03-152.14-585.32 MJ/K olmuştur. Pastörizasyon işlem basamağında ise entropi oluşumu 125317.11 MJ/K olduğu tespit edilirken bu işlem basamağındaki ekserji verimliliği %40.25 ile en düşük ekserji verimliliğine sahip işlem basamağı olarak belirlenmiştir. Sulaiman et al. (2012) çalışmasında, Nijerya'daki bir bitkisel yağ rafinerisi için enerji ve ekserji analizi yapılmış; üretim sürecindeki her bir operasyonun enerji ve ekserji kayıpları değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, 100 ton palm çekirdeği yağının yenilebilir yağa dönüştürülmesi için 487.04 MJ/ton enerji gerektiği belirlenmiştir. Bu enerjinin %4,65'i elektrik enerjisi, %95.23'ü termal enerji ve %0.12'si manuel enerji kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Herhangi bir termal işlemin uygulanmadığı nötralizasyon basamağında ekserji verimliliği %92.21 olurken, buhar enerjisinin kullanıldığı ağartma ve deodorizasyon işlemlerinde ekserji verimliliklerinin sırasıyla %62.79 ve %47.63 olduğu tespit edilmiştir. Khorasanizadeh et al., (2021) ise İran'da yer alan endüstriyel ölçekli bir portakal suyu üretim tesisinde ekserji analizi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan performans analizi sonrasında tesis genelinde ekserji yıkımının 17.7 MW olduğu tespit edilmiştir. Bu ekserji yıkımının büyük bir kısmının (%76.2) buhar üretim hattında gerçekleşmiş olduğu tespit edilmiştir. Karıştırma hattının ise toplam ekserji yıkımına katkısının en düşük seviyede (%1.5) olduğu belirlenmiştir. Ek olarak tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen işlenmiş et ürünlerinin üretim hatlarının performans analizi sonuçları ile vegan alternatiflerinin üretim hatlarının performans analizi sonuçlarının benzer eğilimlerde olduğu tespit edilmiştir. Mekanik işlemlerin gerçekleştiği işlemlerin enerji ve ekserji verimliliklerinin (boyut küçültme, harmanlama ve form verme) dondurma işlemine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Literatürde vegan ürünlerin üretim hatlarıyla ilgili bir performans analizi bulunamamıştır ancak benzer gıda üretim işlemlerinin gerçekleştiği performans analizleri çalışmalarıyla uyumluluk sağlandığı saptanmıştır.

	$E_{kayıp}$ (kJ)	Enerji Verimliliği (%)	S_{gen} (kJ/K)	$X_{yıkım}$ (kJ)	Ekserji Verimliliği (%)	GP (kJ)
Boyut Küçültme	20282±3312.5 ^a	80.1±2.57 ^d	26.9±2.47 ^a	6262.8±576.6 ^a	47.0±2.24 ^b	3326.9±452.9 ^b
Harmanlama	28088±725.2 ^b	75.9±0.32 ^c	24.8±0.61 ^a	5785.9±141.4 ^a	53.0±0.24 ^c	2718.6±78.8 ^a
Form Verme	43554±1058.2 ^c	69.8±0.72 ^b	38.0±0.66 ^b	8868.5±154.6 ^b	48.5±0.98 ^b	4566.3±165.5 ^c

Dondurma	250122±1273.7 ^d	53.1±0.14 ^a	234.5±1.83 ^c	54671±425.8 ^c	40.0±0.20 ^a	32806±366.3 ^d
----------	----------------------------	------------------------	-------------------------	--------------------------	------------------------	--------------------------

Çizelge 4.5 Vegan burger üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları

^{a, b, c, d} aynı sütundaki farklı üst simgeler, vegan burger üretim hattı için işlem basamağına bağlı olarak ilgili performans özelliği açısından önemli farklılıkları gösterir ($p < 0.05$).

Çizelge 4.6 Vegan köfte üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları

	$E_{kayıp}$ (kJ)	Enerji Verimliliği (%)	S_{gen} (kJ/K)	$X_{yıkım}$ (kJ)	Ekserji Verimliliği (%)	GP (kJ)
Boyut Küçültme	16720±1113.8 ^b	77.9±1.25 ^c	20.3±0.73 ^b	4734.7±169.2 ^b	45.4±1.17 ^c	2587.9±147.5 ^b
Harmanlama	18518±201.25 ^c	77.1±0.21 ^c	15.8±0.09 ^a	3674.0±19.9 ^a	54.4±0.21 ^d	1676.6±16.7 ^a
Form Verme	54663±118.38 ^d	53.9±0.06 ^b	44.3±0.07 ^c	10337±15.8 ^c	30.6±0.05 ^b	7170.8±14.9 ^d
Kızartma	2783.5±619.6 ^a	97.2±0.61 ^d	52.2±0.5 ^d	12168±120.2 ^d	45.5±0.54 ^c	6633.6±131.0 ^c
Dondurma	457632±482.77 ^e	25.6±0.04 ^a	508.4±0.62 ^e	118538±143.8 ^e	18.5±0.03 ^a	96611±154.8 ^e

^{a, b, c, d, e} aynı sütundaki farklı üst simgeler, vegan köfte üretim hattı için işlem basamağına bağlı olarak ilgili performans özelliği açısından önemli farklılıkları gösterir ($p < 0.05$).

Çizelge 4.7 Kaplamalı tavuk benzeri vegan ürününün üretim hattının enerji ve ekserji analizi sonuçları

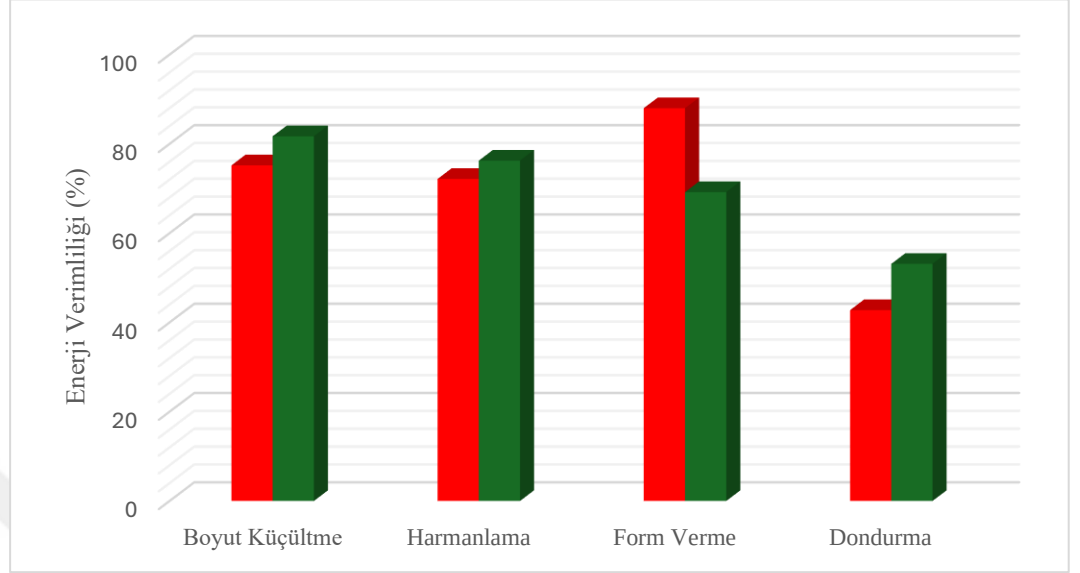
	$E_{kayıp}$ (kJ)	Enerji Verimliliği (%)	S_{gen} (kJ/K)	$X_{yıkım}$ (kJ)	Ekserji Verimliliği (%)	GP (kJ)
Boyut Küçültme	23826±499.23 ^b	69.1±0.53 ^c	31.1±0.51 ^b	7241.1±117.9 ^b	33.2±0.5 ^b	4840.6±115.0 ^b
Harmanlama	22732±1021.1 ^b	73.10±1.29 ^d	24.2±0.49 ^a	5638.1±114.5 ^a	45.5±1.46 ^d	3073.3±144.4 ^a
Form Verme	41097±314.1 ^c	61.8±0.34 ^b	40.0±0.18 ^c	9327.7±43.0 ^c	36.9±0.69 ^c	5884.9±66.6 ^c
Kızartma	8274.0±440.3 ^a	92.01±0.43 ^e	54.9±0.45 ^d	12793.2±108.1 ^d	45.5±0.75 ^d	6976.8±150.4 ^d
Dondurma	463638±1112.5 ^d	31.7±0.05 ^a	472.0±1.09 ^e	110057±254.5 ^e	20.4±0.12 ^a	87653±307.1 ^e

^{a, b, c, d, e} aynı sütundaki farklı üst simgeler, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü üretim hattı için işlem basamağına bağlı olarak ilgili performans özelliği açısından önemli farklılıkları gösterir ($p < 0.05$).

4.2.3 Farklı üretim hatlarının performanslarının karşılaştırılması

Dana burger ve vegan burger üretim hatlarının enerji ve ekserji verimlilik değerleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Vegan burger üretiminde dana burger üretimine kıyasla boyut küçültme, harmanlama ve dondurma işlemlerinin enerji ve

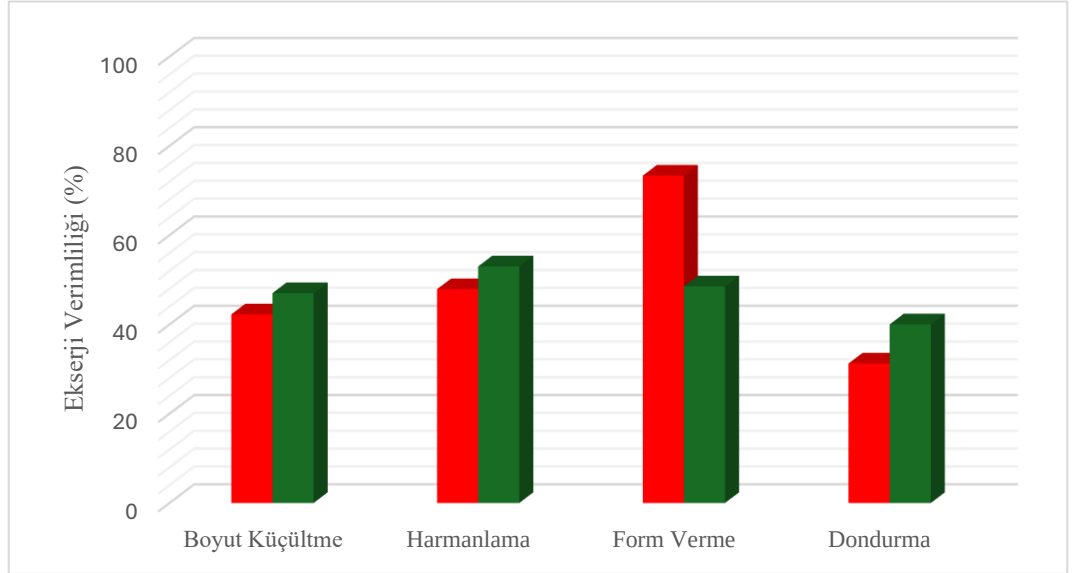
ekserji verimlilik değerlerinin daha yüksek olduğu ($p<0.05$) tespit edilmiştir (EK 7, EK 8). Dana burger ve vegan burger üretim hatlarında form verme işlemi haricinde, boyut küçültme, harmanlama ve dondurma aşamalarında aynı ekipmanlar



kullanılmaktadır. Ancak dana burgerin tek partilik üretim miktarı 520 kg iken, vegan burgerin tek partilik üretim miktarı 690 kg olarak gerçekleşmiştir. Aynı ekipmanlarla daha fazla ürün işlenmesi, bu hatlardaki verimlilik değerlerini artırmıştır. Ayrıca, üretim hattındaki ekipmanların tam kapasiteyle çalıştırılmasının enerji ve ekserji verimliliklerini yükselttiği sonucuna varılmıştır. Diğer yandan, her iki üretim hattında da en düşük enerji ve ekserji verimlilik değerlerinin dondurma işlemi sırasında meydana geldiği tespit edilmiştir.

Şekil 4.1 Dana burger ve vegan burger üretim hatlarında işlem basamaklarının enerji verimliliklerinin karşılaştırılması
(■ : Dana burger hattı, ■ : Vegan burger hattı)

Dana burger üretimindeki form verme işleminin enerji ve ekserji verimlilik değerlerinin ise, vegan burgere kıyasla daha yüksek olduğu ($p<0.05$) tespit edilmiştir (EK 7, EK 8) (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Form verme işleminde kullanılan ekipmanlar değerlendirildiğinde, dana burger hattında kullanılan Formax Ultra26 makinesi 5 kW, vegan burger hattında kullanılan CFS MLF 600 makinesi ise 23 kW gücünde çalışmaktadır. Vegan burger üretiminde işlenen ürün miktarı daha fazla olmasına rağmen, ekipmanlar arasındaki güç farkı enerji ve ekserji verimliliğini etkilemiştir. Öte yandan form verme işlemi sırasında farklı ekipmanların kullanılması işlem sırasındaki enerji kayıplarında farklılık meydana getirmiştir (Bkz Çizelge 4.2; Çizelge 4.5). Vegan burger üretim hattındaki form

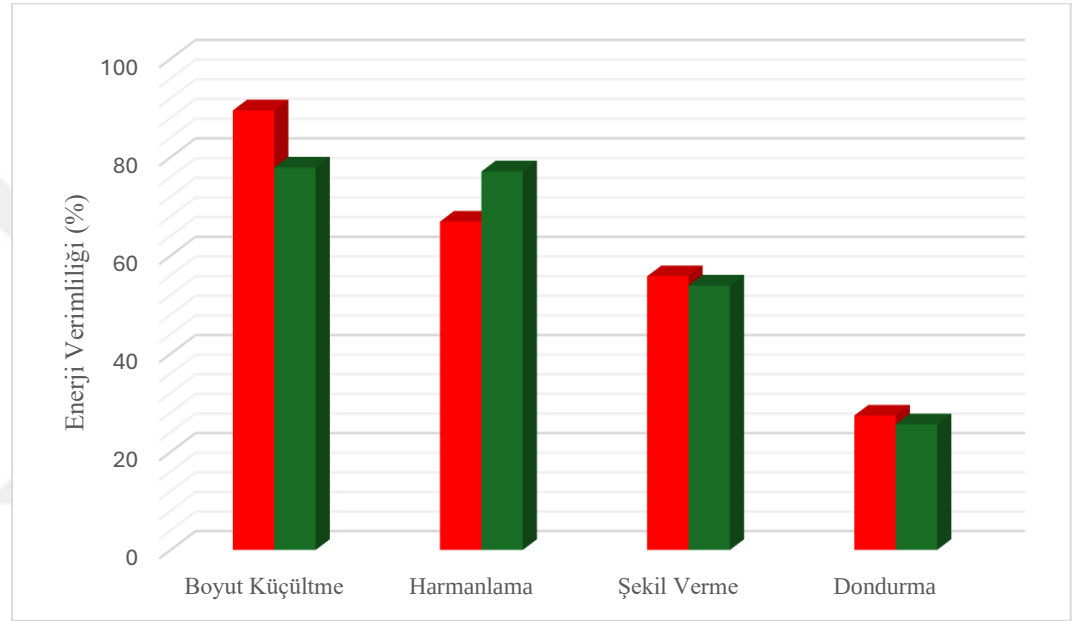


verme işlem basamağının enerji kayıplarının dana burgere göre daha yüksek olması enerji ve ekserji verimlilik değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Yapılan performans analizleri, üretim sürecinde kullanılan ekipmanların güç değerlerinin ve tam kapasite kullanımının enerji ve ekserji verimlilikleri açısından kritik bir rol oynadığını ortaya koymuştur.

Şekil 4.2 Dana burger ve vegan burger üretim hatlarında işlem basamaklarının ekserji verimliliklerinin karşılaştırılması (: Dana burger hattı, : Vegan burger hattı)

Dana misket köfte ve vegan köfte üretim hatlarının enerji ve ekserji verimlilik değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Her iki üretim hattında da en düşük ($p < 0.05$) enerji ve ekserji verimlilik değerleri dondurma işlemi sırasında gerçekleşmiştir (EK 9, EK 10). Ek olarak her iki hattın şekil verme işlemleri için ekserji verimliliklerinin benzer ($p > 0.05$) olduğu tespit edilmiştir (EK 10). Boyut küçültme işleminde dana misket köftenin enerji ve ekserji verimliliği vegan köfteye göre daha yüksek ($p < 0.05$) değerlere ulaşmıştır (EK 9, EK 10). Bu durumun farklı üretim hatlarında kullanılan ekipmanlar arasındaki güç tüketimi farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Bkz. Çizelge 3.8; Çizelge 3.11). Dana misket köfte üretiminde boyut küçültme ekipmanı olan Working Danmark A/S Type C300 ekipmanı 55 kW güç değerine sahip iken, vegan köfte üretiminde kullanılan boyut küçültme ekipmanı 116 kW güç değerine sahiptir. Yaklaşık aynı sürelerde tamamlanan boyut küçültme işleminde kullanılan ekipmanların farklılığı enerji ve ekserji değerlerinde farklılığına neden olmuştur. Ek olarak boyut küçültme işlemi sırasında farklı ekipmanların kullanılması işlem sırasındaki entropi oluşumu

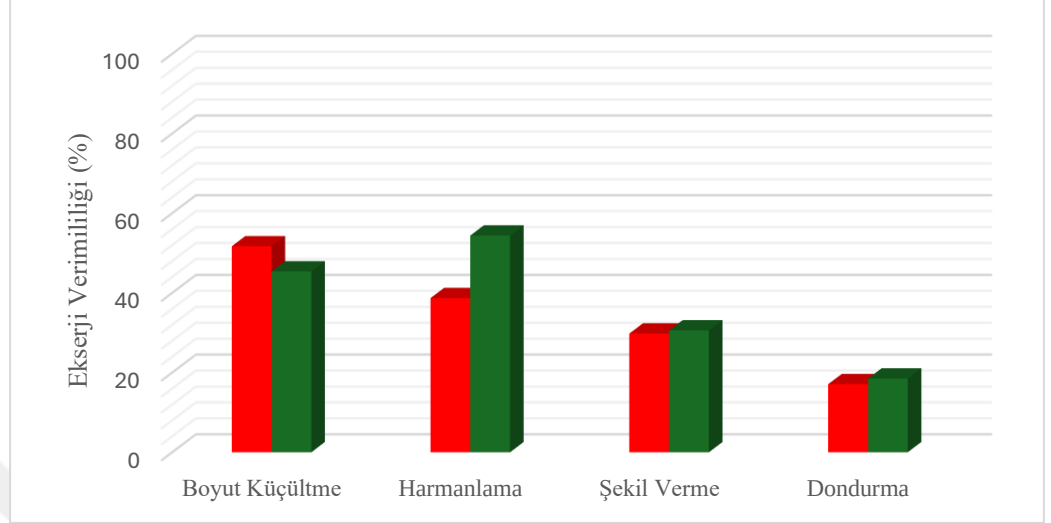
ve ekserji yıkımlarında farklılık meydana getirmiştir (Bkz Çizelge 4.3; Çizelge 4.6). Vegan köfte üretim hattındaki boyut küçültme işlemi sırasında entropi oluşumu ve ekserji yıkımı dana misket köfte ürününe göre daha yüksek olması enerji ve ekserji verimliliğinde düşüşe neden olmuştur. Bu bulgular benzer şekilde üretim sürecinde kullanılan ekipmanların güç tüketim farklılıklarının enerji ve ekserji verimliliği üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle dondurma ve şekil verme işlemlerinde benzer verimlilik değerleri elde edilirken, boyut küçültme ve aşamalarında ekipman seçiminin verimlilik üzerinde belirleyici bir faktör olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.3 Dana misket köfte ve vegan köfte üretim hatlarında işlem basamaklarının enerji verimliliklerinin karşılaştırılması (■ : Dana misket köfte hattı, ■ : Vegan köfte hattı)

Harmanlama işleminde ise vegan köfte hattının enerji ve ekserji verimlilik değerlerinin dana misket köfte hattına kıyasla daha yüksek ($p < 0.05$) olduğu saptanmıştır (EK 9, EK 10). Harmanlama işleminde kullanılan ekipmanların güç değerleri incelendiğinde birbirine yakın değerlere sahip ekipmanlar olduğu belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 3.8; Çizelge 3.11). Dana misket köfte üretiminde kullanılan harmanlama makinesinin (Wolfking TSMIG 1250) güç değeri 41 kW iken vegan köfte üretiminde kullanılan harmanlama makinesi (CFS Combigrind 1500/200) 49 kW güce sahiptir. Ancak harmanlama işlem süresinin dana misket köfte ürünü için daha uzun olması ve üretim sırasında işlenen ürün miktarının daha düşük olması dana misket köfte hattında enerji ve ekserji verimliliklerinin düşmesine neden olmuştur. Bu sonuçlar enerji ve ekserji verimliliğinin yalnızca ekipman gücüne

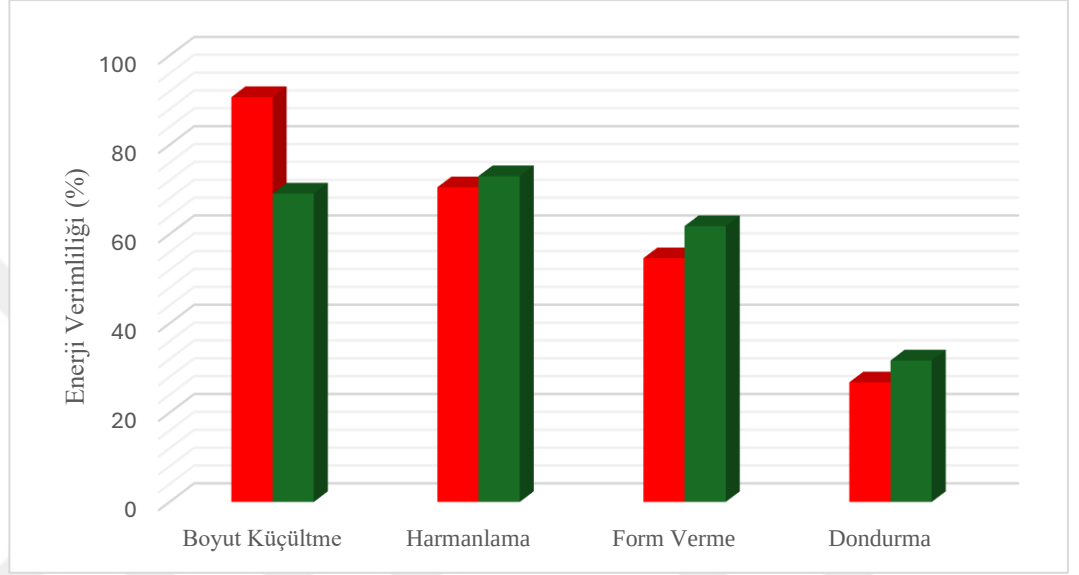
değil, aynı zamanda işlem süresi ve işlenen ürün miktarına da bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.



Şekil 4.4 Dana misket köfte ve vegan köfte üretim hatlarında işlem basamaklarının ekserji verimliliklerinin karşılaştırılması (■: Dana misket köfte hattı, ■: Vegan köfte hattı)

Kaplamalı tavuk ürünü ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü üretim hatlarının enerji ve ekserji verimlilik değerleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da verilmiştir. Kaplamalı tavuk ürününün tek partilik üretim miktarı 512 kg iken kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünün tek partilik üretim miktarı 540 kg’dır. Her iki ürün için benzer miktarlarda üretim gerçekleştirilirken, farklı boyut küçültme ekipmanlarının kullanımı enerji ve ekserji verimliliklerinde farklılığa ($p < 0.05$) neden olmuştur (EK 11, EK 12) (Bkz. Çizelge 3.9; Çizelge 3.12). Kaplamalı tavuk ürününde kullanılan boyut küçültme ekipmanı 55 kW güç değerine sahip iken kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü üretiminde kullanılan boyut küçültme ekipmanı 116 kW güç değerine sahiptir. Bu durum kaplamalı tavuk ürünü üretim hattındaki boyut küçültme işleminin enerji ve ekserji verimlilik değerlerinin daha yüksek olmasına neden olmuştur. Ayrıca kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü üretim hattındaki boyut küçültme işlemindeki enerji kaybı ve ekserji yıkımı değerlerinin kaplamalı tavuk ürünündeki aynı işleme göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu durum kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretim hattının enerji ve ekserji verimliliklerinde düşüşü neden olmuştur. Harmanlama işleminde ise hem ekipmanların benzer güç değerlerine sahip olması hem de benzer miktarda ürün işleme miktarından dolayı enerji ve ekserji verimlilikleri istatistiksel olarak farklılık gösterse de ($p < 0.05$) birbirine benzer değerlerde olduğu belirlenmiştir (EK 11, EK 12).

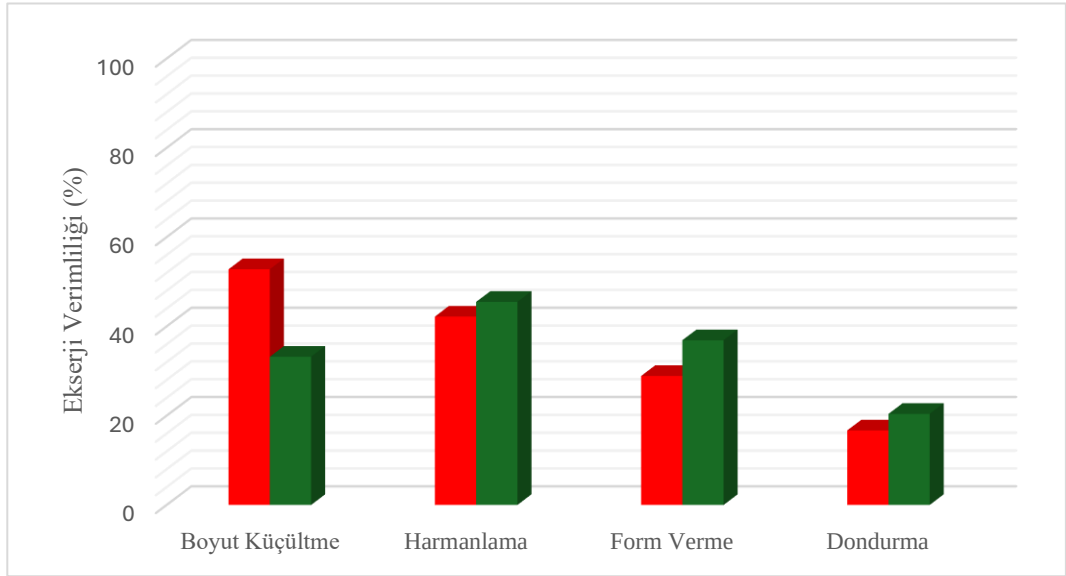
Her iki üretim hattının form verme işlemleri incelendiğinde ise, kullanılan ekipmanların güç değerlerinin birbirine yakın değerlere sahip ekipmanlar olduğu görülmüştür. Kaplamalı tavuk ürünü üretiminde kullanılan form verme makinesinin (Koppens VM600 HSE) güç değeri 22 kW iken kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretiminde kullanılan form verme makinesi (CFS MLF 600) 23 kW güce sahiptir. Ancak kaplamalı tavuk ürününün form verme işlem süresinin daha uzun olması enerji kayıplarını, entropi oluşumunu ve ekserji kayıplarını arttırmıştır. Bu durum kaplama tavuk ürünü üretim hattındaki form verme işleminin enerji ve ekserji



verimlilik değerlerinin düşmesine neden olmuştur.

Şekil 4.5 Kaplamalı tavuk ürünün ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü üretim hatlarında işlem basamaklarının enerji verimliliklerinin karşılaştırılması (: Kaplamalı tavuk ürünü hattı, : Kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün hattı)





Şekil 4.6 Kaplamalı tavuk ürünün ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü üretim hatlarında işlem basamaklarının ekserji verimliliklerinin karşılaştırılması (■: Kaplamalı tavuk ürünü hattı, ■: Kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün hattı)

Sonuç olarak üretim hatlarının enerji ve ekserji verimliliklerini etkileyen başlıca parametreler arasında kullanılan ekipmanların güç değerleri, farklı ekipman sistemlerinde oluşan enerji kayıplarındaki farklılıklar, işlem süreleri ve işlenen ürün miktarının etkili olduğu tespit edilmiştir. Ekipmanların güç değerleri, verimlilik üzerinde doğrudan etkili olup, özellikle aynı işlemde kullanılan farklı güç değerlerine sahip ekipmanlar, bu sistemlerde oluşan farklı enerji kayıpları enerji ve ekserji verimliliklerinde belirgin farklılıklara yol açmaktadır. Ayrıca, işlem süreleri ve işlenen ürün miktarı da verimliliği belirleyen önemli faktörlerdendir. Uzun işlem süreleri ve düşük üretim miktarları, enerji ve ekserji verimliliğinin düşmesine neden olmaktadır. Özellikle dondurma ve pişirme işlemlerinde, işlem süresinin uzunluğu, yüksek güç tüketimi ve ekserji yıkımı performansta düşüşe neden olmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; Fadare et al. (2010) bira üretim hattında yapmış olduğu performans analizi çalışmasında da benzer sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Bira üretim hattında taş ayırma, harmanlama ve öğütme işlemlerinde kullanılan ekipmanların güç değerleri sırasıyla 13.5-33-80.5 kW'dir. Üretim sırasında bu ekipmanların kullanım süresi ise aynı sıralamayla 1.3-1.9-1.6 saattir. Bira üretimindeki pastörizasyon işlemindeki güç değeri ise 310 kW iken işlem süresinin 21.3 saat olduğu belirtilmiştir. Performans analizi sonuçlarında taş ayırma, harmanlama ve öğütme işlemlerinin ekserji verimlilikleri sırasıyla %99.7-%99.3-%99.79 olduğu saptanmıştır. Pastörizasyon işleminin ise ekserji verimliliğinin %40.25 olduğu tespit edilmiştir. Sulaiman et al. (2012) bitkisel yağ üretimi için gerçekleştirmiş olduğu çalışmada 6 saat boyunca süren ağartma

işleminde kullanılan ekipmanın 5.5 kW güç değerinde olduğu belirtmiştir. Deodorizasyon işleminde kullanılan ekipmanın ise 26.2 kW güç değerinde olmasının yanı sıra işlem süresinin de 7 saat olduğu belirtilmiştir. Üretim hattının performans değerlendirmesi sonucunda ağartma işleminin ekserji verimliliğinin %62.79, deodorizasyon işleminin ekserji verimliliğinin ise %47.63 olduğu saptanmıştır. Her ne kadar literatürde işlenmiş et ürünleri ve vegan ürünlerin üretim hatlarıyla ilgili detaylı bir performans analizi çalışması bulunmasa da endüstriyel üretim hatlarında gerçekleştirilen ekserji verimlilikleri analiz sonuçları ile tez kapsamında gerçekleştirilen ekserji verimlilikleri arasında uyum olduğu belirlenmiştir.

4.2.4 Farklı üretim hatlarının eksergo-ekonomik değerlendirmesi

Farklı üretim hatları için yıllık baz dikkate alınarak gerçekleştirilen eksergo-ekonomik değerlendirme sonuçları Çizelge 4.8’de yer almaktadır. Dana burger ürününde kullanılan hammadde bileşenlerin hem değerli olması hem de üretim miktarının yüksek olması (48 ton/yıl) girdi maliyetlerinin yükselmesine neden olmuştur. Ek olarak yıllık üretim miktarının yüksek olması işletme maliyetlerini de artırmıştır. Ayrıca dana burger ürününün birim ekserji maliyetinin diğer ürünlere göre daha yüksek ($p<0.05$) olduğu tespit edilmiştir (EK 13). Kaplamalı tavuk ürününde kullanılan bileşen fiyatlarının dana misket köfte (15 ton/yıl üretim) ürününe göre daha düşük ($p<0.05$) olmasına rağmen, kaplamalı tavuk ürününün yıllık üretim miktarının 72 ton olması $C_{girdiler}$ değerinin daha yüksek ($p<0.05$) olmasına neden olmuştur (EK 13). Ek olarak üretim miktarının fazla olması kaplamalı tavuk ürününde işletme maliyeti artırmıştır.

Vegan köfte ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürününün üretim hattında bulunan ekipmanların yatırım maliyetlerinin vegan burger yatırım maliyetine göre daha fazla ($p<0.05$) olduğu belirlenmiştir (EK 13). Yıllık bazda değerlendirildiğinde, vegan köftenin üretim miktarı 6500 kg/yıl iken vegan burger ve kaplamalı tavuk benzeri ürünün üretim miktarı 2000 kg/yıl’dır. Vegan köfte üretim miktarının diğer vegan ürünlere kıyasla daha yüksek oluşu işletme maliyetlerini de artırmıştır. Vegan köfte ürününün işletme maliyeti yıllık bazda 226062 TL iken vegan burger ve kaplamalı tavuk benzeri ürününün işletme maliyeti sırasıyla 94632 TL ve 76646 TL olduğu tespit edilmiştir. Ancak hem vegan burgerde hem de kaplamalı tavuk benzeri vegan ürününde, her ne kadar üretim miktarları vegan köfteye göre düşük olsa da daha değerli bileşenler kullanılmasından dolayı girdi maliyetlerinin yükselmesine neden olmuştur.

Çizelge 4.8 Farklı üretim hatları için yıllık bazda gerçekleştirilen eksergo-ekonomik performans değerleri

	Z _{işletme} (TL)	Z _{yatırım} (TL)	Z _{toplam} (TL)	C _{girdiler} (TL)	C _{son ürün} (TL/J)	Birim Ürün Maliyeti (TL/kg)
Dana Burger	1827058	1107479	2934537	23830978±70.3 ^f	13.65±0,2 ^f	496.5±0.001 ^e
Dana Misket Köfte	586785	2028134	2614919	8639680±20.1 ^d	4.87±0,11 ^d	444.8±0.001 ^c
Kaplamalı Tavuk Ürünü	2242816	1659262	3902078	10395039±127.4 ^e	6.33±0.14 ^e	144.4±0.002 ^a
Vegan Burger	94632	512077	606709	942082±12.0 ^a	0.39±0.003 ^b	471.0±0.005 ^d
Vegan Köfte	226062	868277	1094339	1495600±7.9 ^c	0.05±0.003 ^a	230.1±0.001 ^b
Kaplamalı Tavuk Benzeri Vegan Ürünü	76646	870108	946754	1297043±2.9 ^b	0.81±0.005 ^c	648.5±0.001 ^f

a, b, c, d, e, f Aynı sütundaki farklı üst simgeler, aynı işletme için ürün tipine bağlı olarak ilgili eksergo-ekonomik performans özelliği açısından önemli farklılıkları gösterir (p < 0.05). *Kur Fiyatı 1 Dolar: 35.90 TL olarak kabul edilmiştir.

Yapılan eksergo-ekonomik analizler doğrultusunda, incelenen ürünlerin yıllık üretim miktarının, kullanılan bileşenlerin değerinin ve üretim hattındaki ekipman sayısının birim maliyetler üzerine etkili olabileceği düşünülmektedir. Dana burger üretimi hem yüksek üretim miktarı hem de değerli bileşenler içermesi nedeniyle en yüksek birim ekserji maliyetine sahiptir. Kaplamalı tavuk ürünü üretiminin, düşük bileşen maliyetine rağmen yüksek üretim miktarı ve yatırım gereksinimleri nedeniyle işletme ve yatırım maliyetleri yüksektir. Vegan ürünler arasında ise, vegan köfte en yüksek üretim miktarına sahip olup işletme maliyetleri de buna bağlı olarak artış göstermiştir. Ancak, vegan burger ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünlerde kullanılan değerli bileşenler, üretim miktarlarının düşük olmasına rağmen girdi maliyetlerini yükseltmiştir. Genel olarak ürünlerin birim maliyetlerinin, üretim hacmi, kullanılan hammaddelerin maliyeti ve üretim sürecinde yer alan ekipmanların yatırım gereksinimlerine bağlı olarak şekillendiği ortaya konulmuştur.

Literatür araştırmasında işlenmiş et ürünleri ve vegan ürünlerinin üretimiyle ilgili gerçekleştirilen bir eksergo-ekonomik analiz çalışması bulunamamıştır. Ancak gıda üretim sürecinde gerçekleştirilen benzer çalışmalar incelendiğinde Singh et al. (2019) bir süt işletme tesisinin eksergo-ekonomik analizlerini ele almıştır. Çalışma sonucunda sermaye yatırım maliyetlerinin, işletme ve bakım maliyetlerine kıyasla termodinamik verimsizliklerle ilişkili maliyetlere göre daha etkili olduğunu tespit etmiştir. Gerçekleştirilen tez çalışmasında, özellikle yıllık üretim miktarlarının düşük olduğu vegan ürünlerde, birim ekserji maliyetini yatırım maliyetlerinin işletme maliyetlerine göre daha fazla etkilediği tespit edilmiştir. Li

et al. (2020) ise endüstriyel ölçekte mısır kurutma tesisinde gerçekleştirilen üretimin eksergo-ekonomik analizlerini gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda birim ekserji maliyetinin kurutma süresinin artmasıyla birim ekserji maliyetinin ve ekonomik maliyetinin arttığını belirlemişlerdir. İşlenmiş et ürünlerin eksergo-ekonomik analizleri sonucunda da yıllık üretim miktarının birim maliyetler üzerine etkisinin olduğu belirlenmiştir. Yıllık üretim miktarında farklılıklar üretimlerin gerçekleştiği hatların yıllık bazda işletim sürelerinde de farklılık meydana getirmektedir. Amid et al. (2021) yılında gerçekleştirmiş olduğu endüstriyel ölçekli melas bazlı etanol üretim tesisinin eksergo-ekonomik analizlerde yatırım maliyetinin 3500000 \$ olduğu belirtilmiştir. Üretimler sırasında kullanılan hammadde ve enerji maliyetlerinin ise toplam 9508 \$ olduğu tespit edilmiştir.

4.3 Farklı Üretim Hatlarının Sürdürülebilirlik Değerlendirmeleri

Küresel boyutta iklim değişikliği ile mücadele giderek hız kazanırken iklim değişikliği ve ticaret politikalarının birbiriyle olan bağlantısını güçlendirme çalışmaları da giderek artmaktadır. Bu amaçla bir iklim politikasından ziyade ekonomik bir dönüşüm programı olan Avrupa Yeşil Mutabakatı 11 Aralık 2019 tarihinde Avrupa Birliği tarafından açıklanmıştır. Bu doğrultuda gıda sektöründe farklı üretim hatları için genel sürdürülebilirlik değerlendirmesinin ve çevresel etki mekanizmalarının belirlenmesi, kritik işlem basamaklarının iyileştirilmesi ve önlemlerin alınması açısından oldukça önem taşımaktadır. Yaşam döngüsü analizleri, üretim hatlarının kontrolü ve yeniden düzenlenmesi açısından farklı bir yaklaşım sunmaktadır.

Tez çalışması kapsamında işlenmiş et ürünlerinin (dana burger, dana misket köfte ve kaplamalı tavuk ürünü) ve vegan alternatiflerinin (vegan burger, vegan köfte ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünün) endüstriyel ölçekli üretimlerinin sürdürülebilirlik değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Sürdürülebilirlik analizlerinde formülasyonlarda kullanılan girdilerin üretimi ve hammaddelerin yetiştirilmesi, formülasyonlarda kullanılacak olan girdilerin fabrikaya taşınması, içerikte bulunan girdilerin işlenmiş et ürünlerine ve hayvansal içerik içermeyen ürünlere dönüştürmek için kullanılan enerji değerleri dikkate alınmıştır. Son aşama olan yorumlama kısmında ise OpenLCA 2.0.0 (GreenDelta, 2023) paket programında Agribalyse_v301 veri tabanı ve ReCiPe 2016 etki analiz metodu kullanılarak veriler analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Sürdürülebilirlik analizlerin çevresel etkileri altı farklı etki (alan kullanımı, asidifikasyon, küresel ısınmaya etki, ozon tabakası incelmesine olan etki,

ötrofikasyon ve su tüketimi) altında ele alınmıştır. Sürdürülebilirlik analizleri, 1 kg son ürün fonksiyonel birim baz alınarak gerçekleştirilmiştir.

4.3.1 İşlenmiş et ürünleri üretim hatlarının sürdürülebilirlik değerlendirmeleri

Dana burger, dana misket köfte ve kaplamalı tavuk ürünlerinin üretim hatları; alan kullanımı, asidifikasyon, küresel ısınmaya etki, ozon tabakası incelmeye olan etki, ötrofikasyon ve su tüketimi açısından değerlendirilmiştir. İşlenmiş et ürünlerinin sürdürülebilirlik değerlendirmeleri Şekil 4.6'da verilmiştir.

Şekil 4.6a işlenmiş et ürünlerinin üretim hatlarının “alan kullanımına” etkisini içermektedir. Alan kullanımı, bir ürünün üretimi için ihtiyaç duyulan tarımsal ve endüstriyel alan miktarını ifade etmektedir. Yüksek alan kullanımı; orman tahribatı, biyolojik çeşitlilik kaybı ve habitatların yok olması gibi ciddi çevresel sonuçlara yol açabilmektedir (Borrelli et al., 2020). Dana burger üretimi, 26.26 m² ile en yüksek alan kullanımı etkisine sahip iken, dana misket köfte üretimi 24.00 m² ile daha düşük değere sahiptir. Buna karşılık kaplamalı tavuk ürünü üretimi 7.25 m² alan kullanımı etkisi ile en çevre dostu seçenek olarak öne çıkmaktadır (p<0.05) (EK 14). Tavukların yem verimliliğinin ve daha az yer kaplamasının, bu farkı oluşturan önemli unsurlar olduğu düşünülmektedir (Gerbens-Leenes et al., 2013). Dana burger üretiminde alan kullanımı etki kategorisine %95.47 oranında dana eti üretimi neden olurken, dana misket köfte üretiminde ise bu oran %96.44 olarak belirlenmiştir. Kaplamalı tavuk ürünüde tavuk eti üretimi toplam alan kullanımına %80.27 oranına etki etmiştir. Nyugen et al., (2010) AB’de sığır eti üretiminin çevresel etkisini incelediği çalışmada 1 kg dana eti üretimi gerekli olan alan kullanımının 22.7 m² olduğunu saptamıştır. Broom, 2019 yılında yapmış olduğu çalışmada 1 kg dana eti üretimi için gerekli olan alan gereksinimin besi çiftliği yöntemleri göre farklılık gösterdiğini ve alan kullanımının 23-271 m² arasında değiştiğini saptamıştır. Heller and Keoleian (2018) ise Amerika’da 1 kg dana eti için gerekli alan kullanımının 33.5 m² olduğunu tespit etmiştir. Alig et al. (2012) ise yapmış olduğu çalışma sonucunda 1 kg tavuk eti üretimi için gerekli olan alan kullanımının 2.1-5.0 m² arasında değiştiğini tespit etmiştir. Bir başka çalışmada 1 kg tavuk eti üretimi için gerekli olan alanın 3.85-3.89 arasında olduğu tespit edilmiştir (Smetana et al., 2015). Literatürdeki çalışmalar dana eti üretimi için gerekli olan alan kullanımının tavuk eti üretimine göre daha az olduğunu desteklemektedir. Bu noktada tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ile literatürde araştırması sonucu elde edilen sonuçların uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.6b işlenmiş et ürünlerinin üretim hatlarının “asidifikasyon” etkilerini içermektedir. Asidifikasyon, atmosferdeki kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksitlerin su buharıyla reaksiyona girerek asit yağmurlarına neden olma potansiyelini ifade etmektedir (Shammas et al., 2020). Asit yağmurları, toprak ve su ekosistemlerine zarar verirken, bitkilerde ve sulak alanlarda biyolojik çeşitliliği olumsuz yönde etkilemektedir. Dana burger üretimi, 0.20 kg SO_2 ile en yüksek asidifikasyon değerine sahiptir. Bu miktarının %96.03'lük kısmı dana eti üretiminden kaynaklandığı belirlenmiştir. Dana misket köfte üretimi 0.19 kg SO_2 ile benzer ($p>0.05$) bir seviyede olup, kaplamalı tavuk ürününün üretimi 0.06 kg SO_2 ile en düşük ($p<0.05$) değere sahip olduğu tespit edilmiştir (EK 14). Dana misket köfte üretiminde asidifikasyon etki kategorisine %95.69 oranında dana eti üretimi neden olurken, kaplamalı tavuk ürünü üretiminde ise tavuk eti üretiminin etkisi %78.44 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, tavuk bazlı ürünlerin üretiminin asidifikasyon açısından çevreye daha az zarar verdiği şeklinde yorumlanabilir. Nyugen et al., (2010) yapmış olduğu çalışma 1 kg dana eti üretimde gerçekleşen SO_2 değerinin 0.131 kg olduğunu belirlemiştir. Aynı araştırmacının 2012 yılında yapmış olduğu bir diğer araştırmada ise asidifikasyon potansiyelinin 0.168-0.173 kg SO_2 /kg karkas ağırlığı olduğu tespit edilmiştir (Nyugen et al., 2012). Berton et al., (2017) ise entegre Fransa-İtalya dana eti üretim sisteminin çevresel ayak izi değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda 1 kg dana eti asidifikasyon potansiyelinin 0.193 ± 0.013 kg olduğu belirlenmiştir. Pelletier (2008) yapmış olduğu çalışmada 1 kg tavuk etinin asidifikasyon değerinin 0.0158 kg SO_2 olduğunu tespit etmiştir. Asidifikasyon değerleri açısından dana eti ile işlenen ürünlerin hatları ile kaplamalı tavuk ürünü hatlarının etkileri arasındaki farklılığın literatürdeki sonuçlarla benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Şekil 4.6c işlenmiş et ürünlerinin üretim hatlarının “küresel ısınma” etkilerini göstermektedir. Küresel ısınmaya etki, bir ürünün üretim sürecinde atmosfere saldıgı sera gazı miktarıdır (Shen et al., 2020). Sera gazları, küresel sıcaklıkların artmasına neden olarak iklim değişikliğini hızlandırmaktadır. Dana burger üretimi, 6.75 kg CO_2 ile en yüksek sera gazı emisyonuna sahiptir. Dana burger üretiminde meydana gelen sera gazı emisyonunun %93.08'i dana eti üretiminden, %2.87'si ise üretim sırasında kullanılan enerjiden kaynaklandığı belirlenmiştir. Dana misket köfte üretimi 6.44 kg CO_2 ile daha düşük değerde kalırken, kaplamalı tavuk ürünü üretimi 4.45 kg CO_2 ile en düşük ($p<0.05$) karbon ayak izine sahiptir (EK 14). Bu durum, tavuk bazlı ürünlerin küresel ısınma üzerindeki etkilerinin diğer ürünlere kıyasla daha sınırlı olduğunu göstermektedir. Dana misket köfte üretiminde sera gazı emisyonunun %90.09'u dana eti üretiminden, %6.17'si ise üretim sırasında

kullanılan enerjiden kaynaklanmıştır. Kaplamalı tavuk ürünü üretiminde ise tavuk eti üretiminin etkisi %74.82 olarak belirlenmiştir. Üretim sırasında kullanılan enerji de toplam sera gazı emisyonunun %6.24'ünü oluşturmuştur. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; Peters et al. (2010) bir kg kırmızı et üretiminde gerçekleşen karbondioksit salınımının 7.2-11.5 kg CO₂/kg olduğunu tespit etmişlerdir. Nyugen et al., (2010) ise yapmış olduğu yaşam döngü analizi sonucunda 1 kg dana eti üretimi sırasında 17.9 kg CO₂ salınımı meydana geldiğini belirlemiştir. Rotz et al., (2019) Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan farklı üretim bölgelerindeki dana eti üretiminin çevresel ayak izini inceledikleri çalışmada karbon ayak izinin 20.2-28.9 kg CO₂/kg dana eti arasında değiştiğini saptamışlardır. Pelletier (2008) tavuk eti üretimi için gerçekleştirmiş olduğu yaşam döngü analizi sonucunda 1 kg tavuk eti üretiminde 1.4 kg CO₂ salınımı meydana geldiğini tespit etmiştir. Cederberg et al. (2009) 1 kg tavuk eti üretiminin 1.9 kg CO₂ salınımı gerçekleştirdiğini belirlemiştir. Kalhor et al. (2010) yapmış oldukları çalışmada ise 1 kg paketlenmiş tavuk eti ürününün 2.9-5.3 kg CO₂ arasında salınım yapmış olduğunu saptamıştır. Tez çalışmasında dana eti ile işlenen ürün hatları ile tavuk eti ile işlenen ürünün üretim hatlarının meydana getirdiği CO₂ salınımı sonuçlarıyla literatürde elde edilen sonuçların benzerlik gösterdiği düşünülmektedir.

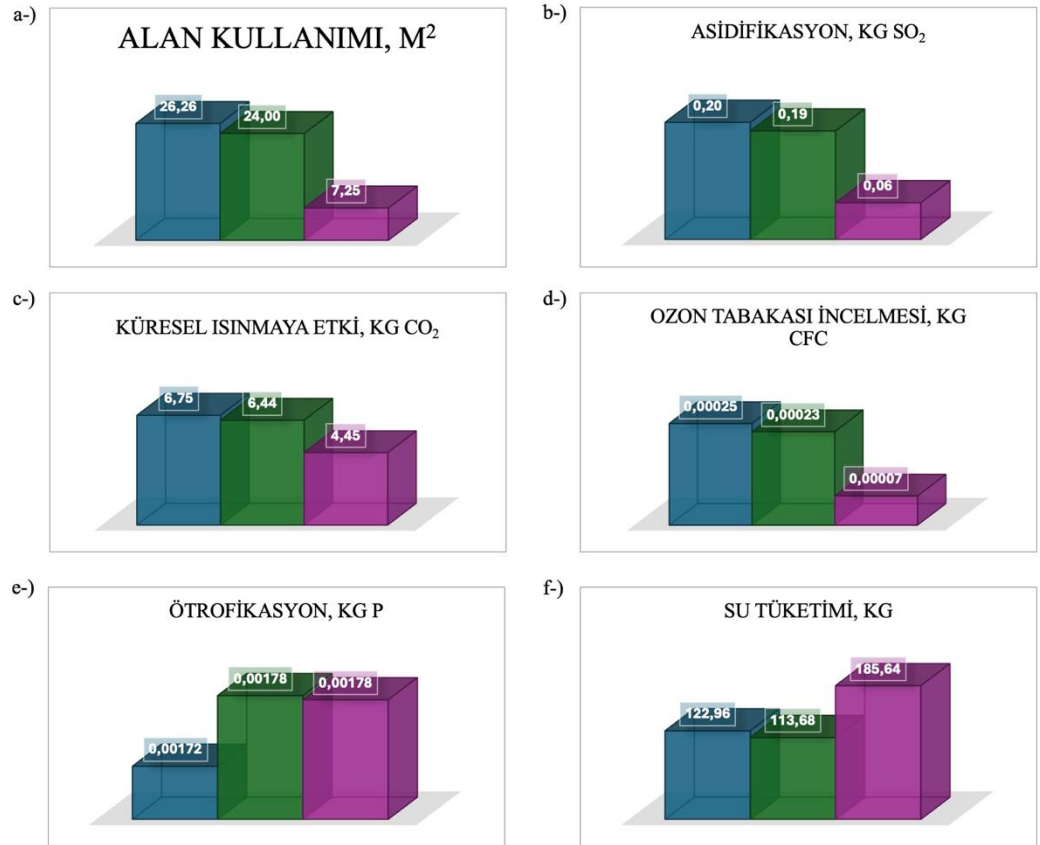
Şekil 4.6d işlenmiş et ürünlerinin üretim hatlarının “ozon tabakası” etkilerini göstermektedir. Ozon tabakası incelenmesi, ozon tabakasını yok edebilecek kimyasal bileşiklerin (CFC) salınmasıyla ilişkilidir (Roy, 2020). Ozon tabakası, yeryüzüne ulaşan zararlı ultraviyole (UV) ışınlarını filtreleyerek hayati bir rol oynamaktadır. Dana burger üretimi, 0.00025 kg kloroflorokarbonlar (CFC) ile en yüksek değere sahipken, dana misket köfte üretimi 0.00023 kg CFC ile benzer ($p>0.05$) bir seviyede kalmaktadır. Kaplamalı tavuk ürünü üretimi ise 0.00007 kg CFC ile en düşük ($p<0.05$) etkiye sahiptir (EK 14). Tavuk bazlı ürünlerin üretiminin bu alandaki çevresel etkisinin dana eti bazlı ürünlerin üretim hatlarının etkisine kıyasla daha sınırlı olduğu belirlenmiştir. Dana burger üretiminde ozon tabakası incelenmesi etki kategorisine %96.74 oranında dana eti üretimi neden olurken, dana misket köfte üretiminde ise bu oran %97.12 olarak belirlenmiştir. Kaplamalı tavuk ürününde tavuk eti üretimi toplam ozon tabakası incelenmesine %80.03 oranına etki etmiştir. Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde, Saerens et al. (2021) dana burger ve tavuk burger ürünlerinin yaşam döngü analizleri üzerine çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Dana burger ürününün ozon tabakası incelenmesi değerinin 0.088 mg CFC/kg dana burger olduğu tespit edilirken tavuk burger ürününün ozon tabakası incelenmesi değerinin 0.074 mg CFC/kg tavuk burger olduğu tespit edilmiştir. Dana burger ve dana köfte ürününün CFC salınımıyla kaplamalı tavuk

ürününün CFC salınımı sonuçlarının literatürdeki sonuçlarla uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.6e işlenmiş et ürünlerinin üretim hatlarının “ötrofikasyon” etkilerini içermektedir. Ötrofikasyon, sulara fazla miktarda fosfor (P) salınması sonucu alg patlamalarına neden olan bir süreçtir (Wurtsbaugh et al., 2019). Bu durum, su ekosistemlerinde oksijen seviyelerinin düşmesine ve su canlılarının ölümüne yol açmaktadır. Dana burger üretimi, 0.00172 kg P (fosfor) üretimini sağlaması nedeniyle nispeten daha düşük bir çevresel etkiye sahiptir. Dana misket köfte ve kaplamalı tavuk ürünü üretimlerinin, 0.00178 kg P ile benzer ($p>0.05$) ötrofikasyon değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir (EK 14). Dana burger üretiminde meydana gelen ötrofikasyon etki kategorisinin %81.70’i dana eti üretiminden, %10.62’si ise üretim sırasında kullanılan enerjiden kaynaklandığı belirlenmiştir. Dana misket köfte üretiminde ötrofikasyonun %73.00’ü dana eti üretiminden, %21.07’si ise üretim sırasında kullanılan enerjiden kaynaklanmıştır. Kaplamalı tavuk ürünü üretiminde ise tavuk eti üretiminin etkisi %67.98 olarak belirlenmiştir. Üretim sırasında kullanılan enerji de toplam ötrofikasyon değerinin %14.75’i oluşturmuştur. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, Nyugen et al., (2012) dana eti üretim sistemlerinin çevresel etkileri üzerinde hayvan yemi içeriğinin etkisini incelemiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda ötrofikasyon değerinin 0.094-0.098 kg P/kg karkas ağırlığı olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Berton et al. (2017) gerçekleştirmiş olduğu yaşam döngü analizi sonucunda 1 kg dana eti asidifikasyon potansiyelinin 0.057 kg P olduğunu tespit etmişlerdir. Bragaglio et al. (2018), farklı dana çiftliği yetiştirme sistemlerinin İtalya’da dana eti üretimi üzerindeki çevresel etkilerini incelemiştir. Araştırma sonucunda dana eti üretiminde gerçekleşen ötrofikasyon değerlerinin çiftlik sistemlerine göre farklılık gösterdiğini ve 1 kg dana eti üretimi ötrofikasyon değerlerinin 0.7-1.0 kg P olduğunu tespit etmişlerdir. Saerens et al. (2021) yapmış oldukları araştırmada ise dana burger ve tavuk burger ürünlerinin yaşam döngü analizleri sonuçlarında ötrofikasyon potansiyellerinin sırasıyla 0.006-0.0006 kg P/kg son ürün olduğunu saptamışlardır.

Son olarak Şekil 4.6f ise işlenmiş et ürünlerinin üretim hatlarının “su tüketimi” üzerine olan etkisini belirtmektedir. Su tüketimi bir ürünün üretim sürecinde doğrudan veya dolaylı olarak tüketilen su miktarını ifade etmektedir (Mousavi et al., 2015). Kaplamalı tavuk ürününün üretimini, 185.64 kg su kullanımı ile en yüksek ($p<0.05$) su tüketimine sahip olan üretim hattı olduğu belirlenmiştir (EK 14). Bu miktarın %78.70’lik kısmı tavuk eti üretiminden kaynaklandığı belirlenmiştir. Dana burger üretimi, 122.96 kg ile daha düşük bir

seviyede, dana misket köfte üretimi 113.68 kg ile en düşük ($p < 0.05$) su tüketimine sahiptir (EK 14). Dana burger üretiminde su tüketimi etki kategorisine %85.79 oranında dana eti üretimi neden olurken, dana misket köfte üretiminde dana eti üretimi %85.67 oranında etki ettiği belirlenmiştir. Mekonnen and Hoekstra (2012) yapmış oldukları çalışmada farklı ürün gruplarının su ayak izlerini belirlemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda 1 kg dana eti su ayak izinin ortalama 15415 L, 1 kg tavuk eti su ayak izinin ise 4325 L olduğunu tespit etmişlerdir. Ibidhi et al. (2017) ise 1 kg tavuk eti üretiminde meydana gelen su tüketiminin 4746 L olduğunu belirlemişlerdir. Rotz et al., (2019) yapmış oldukları yaşam döngü analizi çalışmasında Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan farklı üretim bölgelerindeki sığır eti üretiminin çevresel ayak izini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda sığır eti üretimi için su ayak izinin 193-5082 L/kg dana eti arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.



Şekil 4.7 İşlenmiş et ürün hatlarının fonksiyonel birim için (1 kg son ürün) “Yaşam Döngü Analizi” sürdürülebilirlik etkileri değerleri (■ : Dana burger hattı, ■ : Dana misket köfte hattı, ■ : Kaplamalı tavuk ürün hattı)

Genel olarak değerlendirildiğinde, kaplamalı tavuk ürününün üretimi alan kullanımı, asidifikasyon, küresel ısınma ve ozon tabakası incelmesi açısından daha

çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Ancak, yüksek su tüketimi ve ötrofikasyon potansiyeli, bu ürünlerin çevresel etkilerinin azaltılması için daha sürdürülebilir üretim yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Kırmızı et ürünlerinde ise karbon ayak izi ve alan kullanımının düşürülmesi, bu sektördeki çevresel etkilerin hafifletilmesine katkıda bulunacaktır. Bu analiz sonuçlarının, tüketici tercihlerinin ve üretim politikalarının çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda şekillendirilmesine önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

4.3.2 Alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin üretim hatlarının sürdürülebilirlik değerlendirmeleri

Alternatif protein kaynakları ile üretimleri gerçekleştirilen vegan burger, vegan köfte ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünlerinin üretim hatları; alan kullanımı, asidifikasyon, küresel ısınmaya etki, ozon tabakası incelmeye olan etki, ötrofikasyon ve su tüketimi açısından değerlendirilmiştir. Alternatif protein kaynakları ile üretimleri gerçekleştirilen ürün hatlarına ait sürdürülebilirlik değerlendirmeleri Şekil 4.7’de sunulmuştur.

Vegan burger üretimi, 1.40 m² ile en az ($p<0.05$) alan kullanımı etkisi gösteren üretim olarak öne çıkmaktadır. Alan kullanıma %53.5 oranında bezelye proteini üretimi neden olmuştur. Vegan köfte üretimi 3.01 m² ile daha fazla alan kullanımı etkisine sahipken, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretimi 4.02 m² ile en yüksek alan kullanımı etkisine sahiptir ($p<0.05$) (EK 15) (Şekil 4.7a). Bu sonuç, vegan burger üretiminin tarımsal arazi kullanımında diğer iki ürüne göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Vegan köfte üretiminde alan kullanımı etkisi, %41.40 oranında nohut üretiminden kaynaklanırken, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürününde ise bu etki %74.87 oranında gluten üretiminden kaynaklanmıştır.

Asidifikasyon açısından vegan burger üretimi, 0.004 kg SO₂ ile en düşük değeri taşımaktadır. Vegan burger üretiminde meydana gelen asidifikasyonun %43.29’ü ayçiçek yağı kullanımından, %20.35’si ise üretimler sırasında kullanılan enerjiden kaynaklandığı belirlenmiştir. Vegan köfte üretimi 0.007 kg SO₂ ile daha fazla etki yaratırken, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretimi 0.016 kg SO₂ ile en yüksek asidifikasyon potansiyeline sahiptir ($p<0.05$) (EK 15) (Şekil 4.7b). Bu durum, vegan burger üretiminin çevreye asidik gaz salınımı açısından daha sürdürülebilir bir seçenek olduğunu ortaya koymaktadır. Vegan köfte üretiminde

meydana gelen asidifikasyonun %36.44'ü ayçiçek yağı kullanımından, %19.92'si ise üretim sırasında kullanılan enerjiden kaynaklanmıştır. Kaplamalı tavuk ürünü üretiminde ise gluten kullanımının etkisi %73.20 olarak belirlenmiştir. Üretim sırasında kullanılan enerji de asidifikasyon değerinin %7.79'unu oluşturmuştur.

Şekil 4.7c'de alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin üretimlerinin küresel ısınmaya olan etkileri gösterilmektedir. Küresel ısınmaya etki kategorisinde vegan burger üretimi, 0.61 kg CO₂ ile en düşük karbon ayak izine sahiptir. Vegan köfte üretimi 1.16 kg CO₂ ile bu alanda ikinci sırada gelirken, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretimi 1.74 kg CO₂ ile en yüksek ($p<0.05$) sera gazı salınımına neden olmaktadır (EK 15). Bu sonuç, vegan burger üretiminin karbon salınımı bakımından diğer ürünlerin üretimlerine kıyasla daha çevre dostu olduğunu göstermektedir. Vegan burger üretiminde gerçekleşen sera gazı salınımının %36.70'i ayçiçek yağı kullanımından, %27.27'si ise üretim sırasında kullanılan enerjiden kaynaklanmaktadır. Vegan köfte üretiminde ise sera gazı salınımının %32.25'i ayçiçek yağı kullanımından, %27.86'sı ise üretim sürecinde harcanan enerjiden dolayı meydana gelmektedir. Kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünlerin üretiminde ise gluten kullanımının etkisi %58.08 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, üretim sırasında kullanılan enerji, sera gazı salınımının %15.60'ını oluşturmaktadır.

Benzer şekilde vegan burger üretimi, 0.000007 kg CFC ile ozon tabakasına zarar verme potansiyeli en düşük ($p<0.05$) olan üretim olduğu belirlenmiştir. Vegan köfte üretimi 0.000011 kg CFC ile daha yüksek etkiye sahip iken, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretimi 0.00003 kg CFC ile bu kategoride en yüksek ($p<0.05$) etki değerini göstermektedir (EK 15) (Şekil 4.7d). Vegan burger üretiminin ozon tabakasının incelmeye neden olan etkinin %54.96'sı bezelye proteini üretiminden kaynaklanmaktadır. Vegan köfte üretiminde ayçiçek yağı kullanımı, toplam ozon tabakasının incelmeye neden olmuştur. Kaplamalı tavuk benzeri vegan üretiminde, gluten kullanımı toplam ozon tabakasının incelmeye neden olmuştur. Kaplamalı tavuk benzeri vegan üretiminde, gluten kullanımı toplam ozon tabakasının incelmeye neden olmuştur. Kaplamalı tavuk benzeri vegan üretiminde, gluten kullanımı toplam ozon tabakasının incelmeye neden olmuştur. Kaplamalı tavuk benzeri vegan üretiminde, gluten kullanımı toplam ozon tabakasının incelmeye neden olmuştur. Kaplamalı tavuk benzeri vegan üretiminde, gluten kullanımı toplam ozon tabakasının incelmeye neden olmuştur.

Şekil 4.7e alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürünlerin üretimlerinin ötrofikasyon değerini içermektedir. Vegan burger üretimi, 0.00034 kg P ile en düşük fosfor salınımına sahiptir. Vegan köfte üretimi 0.00074 kg P ile daha yüksek bir değere ulaşırken, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretimi 0.00087 kg P ile en yüksek ($p<0.05$) ötrofikasyon değerini taşımaktadır (EK 15). Bu sonuçlar, vegan burger üretiminin su kirliliği potansiyeli açısından diğer ürünlerin üretimlerine göre daha sürdürülebilir olduğunu göstermektedir. Üretimlerde kullanılan enerjinin

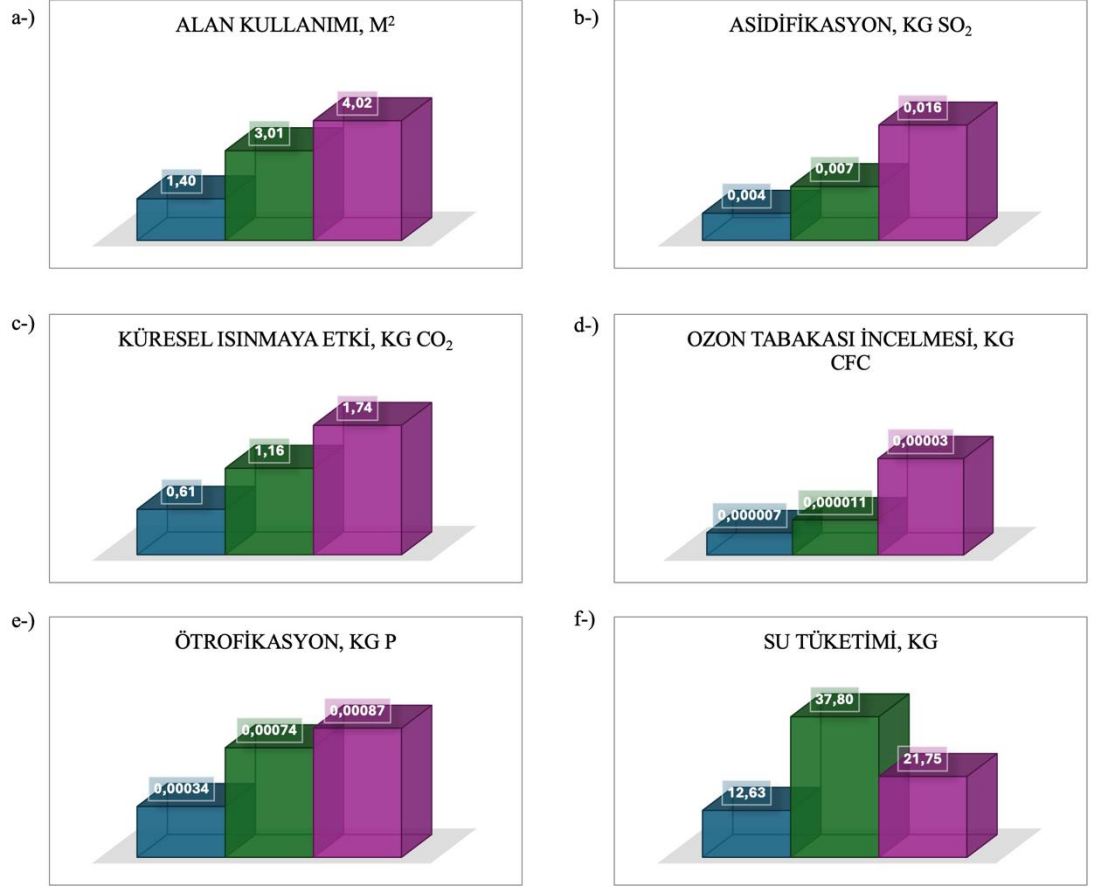
ötrofikasyon üzerindeki etkisi, vegan burger, vegan köfte ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretimleri için sırasıyla %46.05, %41.56 ve %29.54 olarak tespit edilmiştir.

Son olarak, su tüketiminde vegan burger üretimi, 12.63 kg ile en az su kullanımı etkisine sahip olan üretim olarak öne çıkmaktadır. Bu miktarının %58.32'lik bezelye proteini üretiminden kaynaklandığı belirlenmiştir. Vegan köfte üretimi, 37.80 kg ile su tüketimi açısından en yüksek ($p < 0.05$) etki değeri taşıırken, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretimi 21.75 kg ile ortalama bir değer göstermektedir (EK 15) (Şekil 4.7f). Vegan köfte üretiminde su tüketimi üzerindeki etkinin %29.16'sı mısır kullanımından kaynaklanırken, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü üretiminde ise gluten kullanımı %65.28 oranında etki etmiştir.

Mejia et al. (2020) üç farklı fabrika üretimleri gerçekleştirilen çeşitli et benzeri ürünlerin sera gazı emisyonlarını hesaplamak için Simapro 8.1 ile kısmi (çiftlikten fabrikaya) yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda burger benzeri vegan ürünlerin üretiminin sera gazı emisyonu üzerine etkisinin ortalama 2.20 kg CO₂ salınım gerçekleştirdiği saptanmıştır. Kaplamalı tavuk ürünü benzeri vegan ürünlerin üretimlerinin CO₂ salınım değerlerinin ise ortalama 1.86 kg CO₂ olduğu belirlenmiştir.

Saerens et al. (2021) tekstüre bitkisel proteinler kullanarak üretilen vegan burger ürünlerinin yaşam döngü analizleri üzerine araştırmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada tekstüre soya proteini kullanılarak üretimi gerçekleştirilen vegan burger ürününün 1.4 m²/1 kg vegan burger olduğu tespit edilmiştir. Aynı üretimin asidifikasyon değerinin ise 0.004 kg SO₂ /1 kg vegan burger olduğu belirlenmiştir. Tekstüre soya proteini kullanarak üretimi gerçekleştirilen vegan burgerin üretim sürecinin küresel ısınmaya etkisi, ozon tabakasına incelemeye etkisi ve ötrofikasyon değerlerinin ise sırasıyla 0.87 kg CO₂ /1 kg vegan burger, 0.043 mg CFC/1 kg vegan burger ve 0.0003 kg P/1 kg vegan burger olduğu saptanmıştır.

Van Mierlo et al., (2022) ise soya bazlı vegan şinitzel ürününün yaşam döngü analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda 1 kg soya bazlı vegan şinitzel üretiminde meydana gelen sera gazı emisyonlarının 2.10 kg CO₂ olduğu belirlenmiştir. Ozon tabakasına olan etki 9.72×10^{-8} kg CFC/kg vegan şinitzel düzeyinde olurken ötrofikasyon değerinin 9.25×10^{-4} kg P olduğu belirlenmiştir. Aynı ürünün su tüketiminin ise 10.4 kg/kg vegan şinitzel olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.8 Alternatif protein kaynakları ile işlenmiş ürün hatlarının fonksiyonel birim için (1 kg son ürün) “Yaşam Döngü Analizi” sürdürülebilirlik etkileri değerleri (■:Vegan burger hattı, ■: Vegan köfte hattı, ■: Kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün hattı)

4.3.3 Farklı üretim hatlarının sürdürülebilirlik değerlendirmelerinin karşılaştırılması

Tez kapsamında üretimleri gerçekleştirilen işlenmiş et ürünlerinin üretim hatlarının ve vegan alternatiflerinin üretim hatlarının sürdürülebilirlik analizleri dana burger-vegan burger, dana misket köfte-vegan köfte, kaplamalı tavuk ürünü ve kaplamalı tavuk benzeri ürün grupları olarak karşılaştırılmıştır (Şekil 4.8-4.10). Sürdürülebilirlik değerlendirmeleri; alan kullanımı, asidifikasyon, küresel ısınmaya etkisi, ozon tabakası incelmesi, ötrofikasyon ve su tüketimi etki kategorileri kapsamında değerlendirilmiştir.

Dana burger üretim hattı ve vegan burger üretim hatlarının sürdürülebilirlik etkilerinin karşılaştırması:

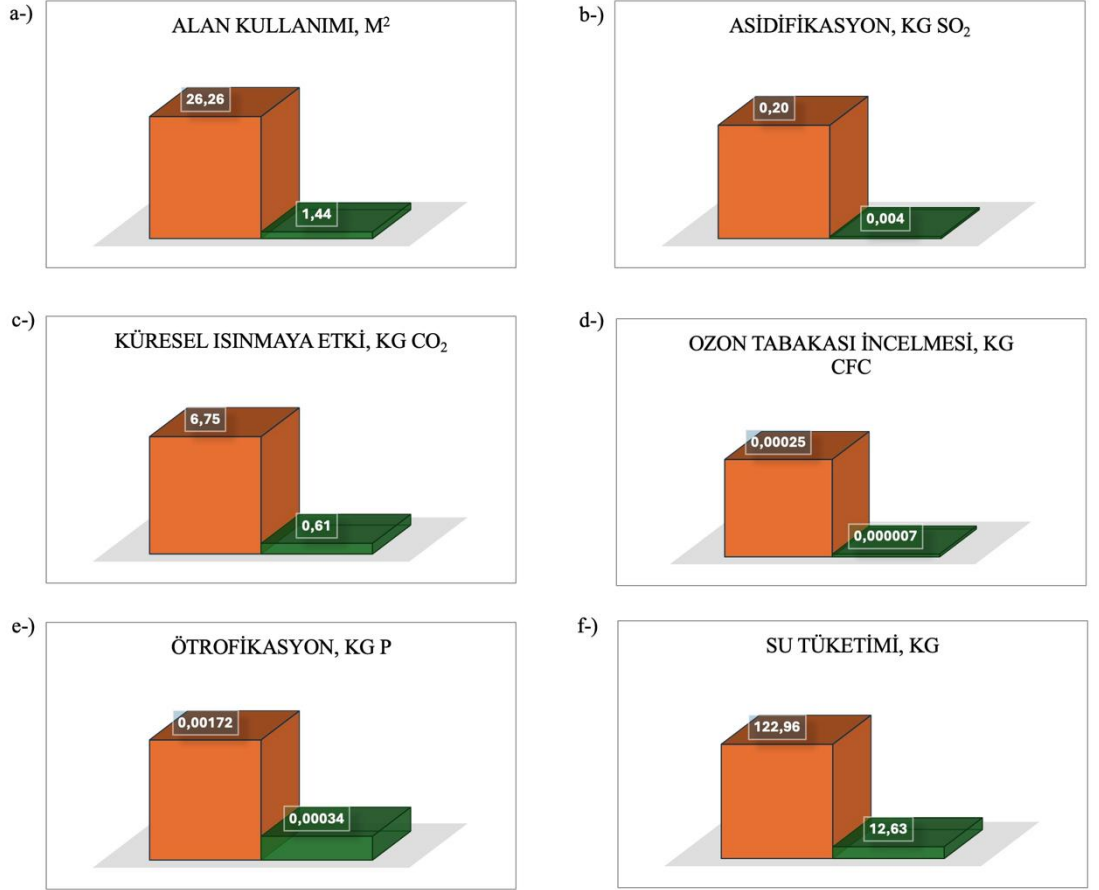
Şekil 4.8a’da görüldüğü üzere dana burgerin üretimi, vegan burger üretimine kıyasla 18.2 kat daha fazla alan kullanımı etkisine sahiptir. Bu farkın temel nedeni, dana burgerin hayvancılığa dayalı bir üretim süreci olmasıdır. Hayvancılık, yem üretimi için geniş tarım arazileri, otlatma alanları ve hayvan yetiştirme alanları gerektirmektedir (Phelps and Kaplan, 2017). Bunun aksine vegan burgerin sadece bitkisel kaynaklı hammaddelerden üretilmesi tarımsal arazi kullanımını büyük ölçüde azaltmaktadır. Asidifikasyon açısından dana burger üretimi, vegan burger üretimine kıyasla 50 kat daha yüksek SO₂ salınımı ile çevreye daha çok zarar veren üretim olarak öne çıkmaktadır. Bu fark, hayvancılık sektöründen kaynaklanan yüksek miktardaki amonyak salınımından kaynaklanmaktadır. Hayvancılıkla ilişkili gübreleme ve hayvan dışkılarından kaynaklanan emisyonlar, toprak ve su kaynaklarını asidik hale getirmektedir (Fangueiro et al., 2015). Vegan burgerin üretiminde kullanılan hammaddeler ise gübreleme ihtiyacını azaltmakta ve dolayısıyla SO₂ salınımını minimal seviyeye indirmektedir. Heller’in yayını kullan.

Şekil 4.8c, dana burger üretiminin vegan burger üretimine kıyasla 11 kat daha fazla CO₂ salınımına ve çok daha yüksek karbon ayak izine sahip olduğunu göstermektedir. Hayvancılık, metan gazı (CH₄) salınımı açısından oldukça yoğun bir sektördür. Özellikle geniş getiren hayvanlardan kaynaklanan metan salınımı, karbon dioksitten çok daha yüksek bir küresel ısınma potansiyeline sahiptir. Vegan burgerde kullanılan bitkisel hammaddelerin üretimi, metan salınımını içermediği gibi, düşük karbon salınımı ile sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır (Moumen et al., 2016). Ozon tabakası incelmeye olan etkilerde dana burger üretimi vegan burger üretimine kıyasla yaklaşık 36 kat daha fazla kg CFC etki değerine sahiptir (Şekil 4.8d). Bu fark, hayvancılıkla ilişkili soğutma ve taşıma süreçlerinden kaynaklanır. Et ürünleri, muhafaza ve taşımada soğutma sistemlerine bağımlı olduğundan, bu süreçlerde ozon tabakasını incelten maddeler (CFC'ler) daha fazla kullanılmaktadır (Dong et al., 2021). Vegan burger üretiminde ise soğutma ihtiyacını minimize eden bitkisel içerikler ve daha az karmaşık tedarik zinciri ile bu kategoride daha çevreci bir seçenek sunmaktadır.

Ötrofikasyon kategorisinde dana burger üretimi, vegan burger üretimine kıyasla yaklaşık 5 kat daha fazla kg P salınımına sahip yüksek çevresel etki yaratmaktadır (Şekil 4.8e). Bu durum, hayvancılık sektöründe kullanılan kimyasal

gübrelerin ve hayvan gübrelerinin sulara karışarak azot ve fosfor birikimine yol açmasından kaynaklanmaktadır (Bouwman et al., 2011). Bu birikim, su kaynaklarında alglerin aşırı büyümesine ve oksijen azalmasına neden olarak su ekosistemlerini olumsuz etkilemektedir. Vegan burgerin bitkisel üretime dayalı üretim süreci, gübre kullanımını ve fosfor salınımını önemli ölçüde azaltmaktadır (Evans, 2024). Su tüketimi açısından da dana burger üretimi, 122.96 kg su kullanımı ile çevresel sürdürülebilirlik açısından dezavantajlı ürün olarak öne çıkmaktadır. Vegan burger üretimi ise dana burger üretimine kıyasla yaklaşık 10 kat daha düşük su kullanımı ile çok daha az bir tüketim gerektirmektedir (Şekil 4.8f). Hayvancılık sektöründe, hayvanların içme suyu ihtiyacının yanı sıra yem üretimi ve tesislerin temizliği için de yüksek miktarda su kullanımına sahiptir (Gerber et al., 2007). Vegan burgerin üretim sürecinde ise bitkisel hammaddeler su kullanımını minimize ederek su kaynaklarının korunmasına önemli bir katkı sağlar.

Literatürdeki dana burger ve vegan burger ürünlerinin çevresel etkilerini karşılaştıran çalışmalara tez kapsamında gerçekleştirilen karşılaştırma sonuçlarının birbirleri arasında paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Saerens et al. (2021) yapmış olduğu çalışmada hem dana burger hem de tekstüre soya proteini bazlı vegan burger ürünlerinin yaşam döngü analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda kg başına dana burger ürününün 5.912 m² alan kullanımına gereksinimi olduğu belirlenirken vegan burger ürününde bu değerin 1.4 m² alana düştüğü tespit edilmiştir. Dana burger ürününün asidifikasyon potansiyeli 0.7 kg SO₂/kg dana burger olarak tespit edilmiştir. Vegan burgerin asidifikasyon potansiyeli ise 0.04 kg SO₂/kg vegan burger olarak saptanmıştır. Ayrıca dana burger ürününün vegan burger ürününe göre yaklaşık 30 kat daha fazla CO₂ salınımına neden olduğu belirlenmiştir. Ozon tabakası incilmesi verileri incelendiğinde de dana burger ürününün vegan burger ürününe göre yaklaşık 2 kat daha fazla CFC salınımı meydana getirdiği saptanmıştır. Ötrofikasyon potansiyeli verilerinde ise 20 kat farklılığın olduğu ve dana burger ürününün bu kategori için çevresel etkisinin daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.9 Dana burger ve vegan burger üretim hatlarının sürdürülebilirlik özelliklerinin karşılaştırması (■:Dana burger hattı, ■:Vegan burger hattı)

Dana burger ve vegan burger üretim süreçleri arasındaki çevresel etkiler kıyaslandığında, vegan burger üretiminin tüm kategorilerde daha sürdürülebilir bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Dana burger üretiminin çevresel etkilerinin yüksek olmasının temel sebepleri, hayvancılığın doğası gereği yüksek kaynak tüketimi, sera gazı salınımı ve kimyasal kullanımından kaynaklanmaktadır. Vegan burger üretimi ise bitkisel temelli üretim süreçleri sayesinde çevresel ayak izini minimal seviyede tutar.

Dana misket köfte üretim hattı ve vegan köfte üretim hatlarının sürdürülebilirlik etkilerinin karşılaştırması:

Dana misket köfte ve vegan köfte ürünlerinin üretimlerinin sürdürülebilirlik değerlendirmeleri karşılaştırması Şekil 4.9'da verilmiştir. Dana misket köfte üretimi, vegan köfte üretimine göre yaklaşık 8 kat daha fazla alan kullanımına neden olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.9a). Bu farkın temel nedeni, hayvancılık sektörünün doğasında yatan yoğun arazi kullanımı gereksinimidir. Hayvanların

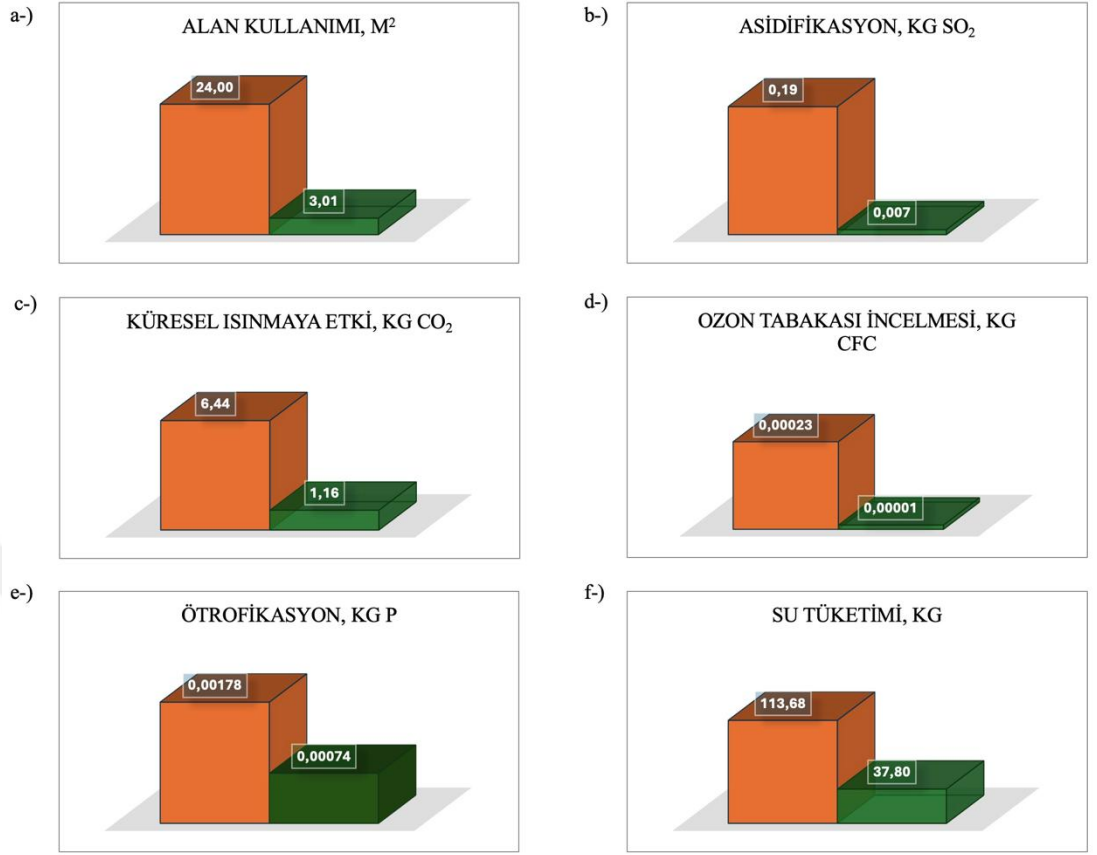
yetiştirildiği otlak alanlarının yanı sıra, yem bitkilerinin üretimi için geniş tarım arazilerine ihtiyaç duyulması, alan kullanımını ciddi şekilde artırmaktadır. Bunun yanı sıra, hayvan yetiştiriciliği sırasında yem verimliliğinin düşük olması, birim protein başına düşen arazi ihtiyacını daha da yükseltmektedir. Buna karşılık, vegan köftenin bitkisel temelli üretim süreci, daha az arazi gerektiren ürünlerden faydalanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu sonuçlar vegan köfte ürününün arazi kaynaklarının korunmasına önemli bir katkı sağladığını göstermektedir. Asidifikasyon açısından da dana misket köfte üretimi, vegan köfte üretimine göre yaklaşık 27 kat daha fazla SO₂ salınımıyla çevreye daha fazla yük getirmektedir. Hayvancılığın gübreleme, hayvan atıklarının yönetimi ve yem üretimi süreçlerinden kaynaklanan yüksek kükürt dioksit salınımı, bu farkın temel nedenlerini oluşturmaktadır (Leip et al., 2015).

Küresel ısınmaya etkiler açısından değerlendirildiğinde, dana misket köfte üretiminin CO₂ salınımı vegan köfte üretimine göre yaklaşık 5 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. (Şekil 4.9c). Bu farkın temel nedeni, hayvancılık sektörünün doğrudan ve dolaylı sera gazı emisyonlarındaki yoğunluğudur. Hayvanların sindirim süreçlerinde metan gazı üretimi, ahırların enerji ihtiyacı ve yem üretimindeki fosil yakıt tüketimi, hayvansal bazlı ürünlerin karbon ayak izini önemli ölçüde artırmaktadır (Cederberg et al., 2012; Barthelmie, 2022). Ayrıca, yem üretimi için gereken tarım faaliyetleri hem enerji tüketimine hem de toprağın işlenmesi sırasında sera gazı salınımına yol açmaktadır (Bennetzen et al., 2016). Buna karşılık, vegan köfte üretiminde yalnızca bitkisel hammaddelerin kullanılması, üretim sürecindeki enerji ve kaynak tüketimini azaltarak karbon salınımını oldukça düşük seviyede tutmaktadır. Ozon tabakasının incelmeye olan etkiler açısından dana misket köfte üretimi vegan köfte üretimi göre 23 kat daha fazla CFC salınımı gerçekleştirmiştir (Şekil 4.9d). Hayvancılık sektörü, özellikle soğutma ve taşıma sırasında kullanılan soğutucuların yol açtığı ozon tabakası inceltici maddeler (CFC'ler) nedeniyle çevreye zarar vermektedir (Sejian et al., 2015). Et ürünlerinin bozulmasını önlemek için kullanılan soğutucular, vegan köfte gibi daha az soğutma gerektiren hammaddelerin kullanıldığı ürünlere kıyasla daha fazla çevresel zarara yol açmaktadır.

Aynı doğrultuda dana misket köfte üretiminin vegan köfte üretimine göre yaklaşık 2.5 kat daha fazla kg fosfor salınımıyla çevreye daha fazla yük getirdiği tespit edilmiştir. (Şekil 4.9e). Su tüketimi kategorisinde dana misket köfte üretiminin 113,68 kg su tüketimi ile vegan köftenin 37,80 kg olan değerinden yaklaşık üç kat fazla su kullandığı görülmektedir (Şekil 4.9f). Bu fark, hayvancılık

faaliyetlerinin su kaynakları üzerindeki yoğun baskısından kaynaklanmaktadır. Hayvanların yaşam döngüsü boyunca içme suyu ihtiyaçlarının yanı sıra, yem bitkilerinin yetiştirilmesi için gerekli olan sulama miktarı, toplam su tüketimini ciddi şekilde artırmaktadır. Ayrıca, hayvancılık tesislerinin bakımında ve temizlik süreçlerinde kullanılan su da bu yüksek değere katkıda bulunmaktadır (Heinke et al., 2020). Vegan köfte üretiminde ise yalnızca bitkisel hammaddelerin kullanılması ve daha az sulama gerektiren tarım uygulamalarına dayanması toplam tüketimi önemli ölçüde azaltmaktadır (Santo et al., 2020). Bu durum, vegan köfte üretiminin su kaynaklarını koruma ve sürdürülebilir su yönetimi açısından çok daha avantajlı bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Literatürdeki dana köfte ve vegan köfte ürünlerinin üretim süreçlerinin çevresel etkilerini karşılaştıran çalışmalara tez kapsamında gerçekleştirilen karşılaştırma sonuçlarının birbirleri arasında paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Saget et al. (2021) yapmış olduğu çalışmada hem dana köfte hem de bezelye proteini bazlı vegan köfte ürünlerinin üretim süreçlerinin yaşam döngü analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda bezelye proteini köftesi üretiminin karbon ayak izi, dana köfte üretimine kıyasla en az %85 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bezelye köftesi üretiminin asidifikasyon etkisi dana köfte üretimine göre en az %81 daha düşük, arazi kullanımının ise en az %89 daha az olduğu saptanmıştır. Ayrıca bezelye proteini köftesi üretiminin ötrofikasyonu yükü dana köfte üretimiyle kıyaslandığında önemli ölçüde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde ozon tabakası incelmesi bakımından da bezelye proteini köftesi üretiminin dana köfte üretimine göre çok daha düşük bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.10 Dana misket köfte ve vegan köfte üretim hatlarının sürdürülebilirlik özelliklerinin karşılaştırması (■:Dana misket köfte hattı, ■:Vegan köfte hattı)

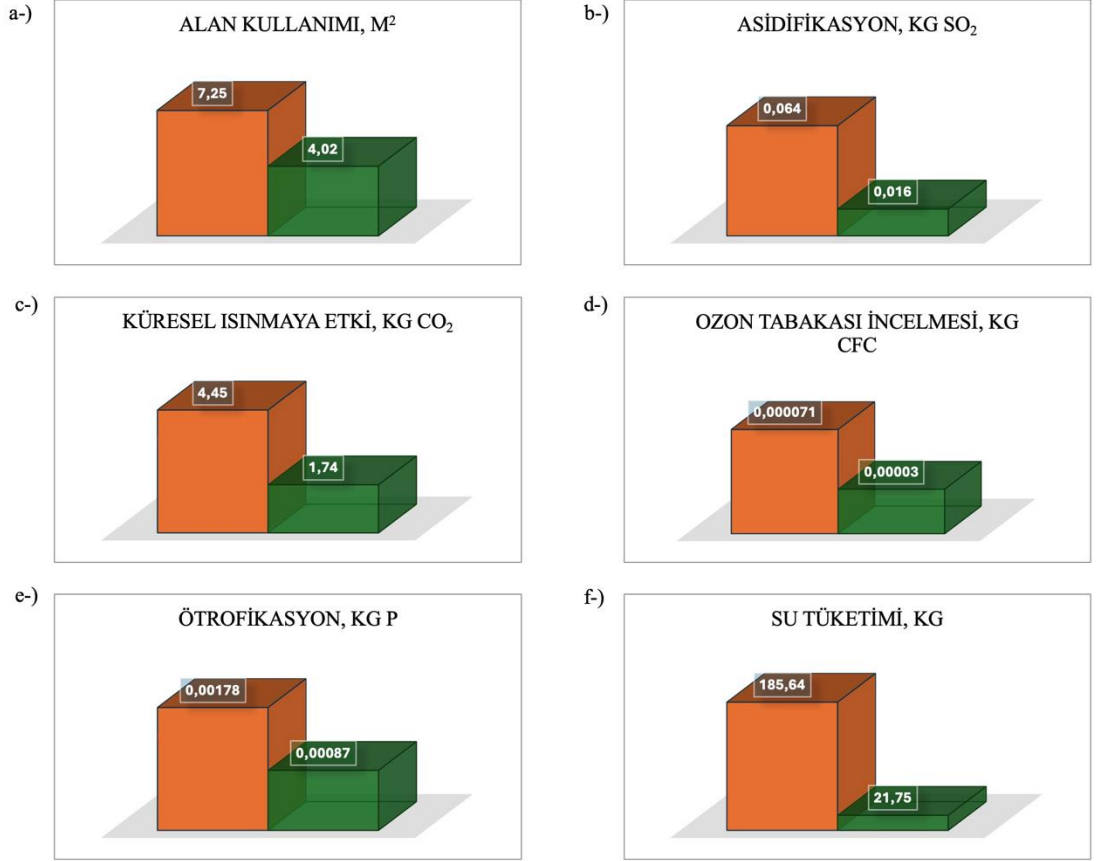
Dana misket köfte üretiminde hayvancılığa dayalı üretim süreci, yüksek miktarda arazi, su ve enerji tüketimi gerektirirken, vegan köfte üretimi bitkisel kaynaklı hammaddeler sayesinde çevre dostu bir alternatif sunar. Bu analizler, vegan köfte üretiminin çevresel sürdürülebilirlik açısından daha avantajlı olduğunu ortaya koymakta ve tüketim alışkanlıklarının çevre dostu ürünler lehine değiştirilmesinin ekosistem üzerindeki baskıyı azaltabileceğini göstermektedir.

Kaplamalı tavuk ürünü üretim hattı ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretim hatlarının sürdürülebilirlik etkilerinin karşılaştırması:

Kaplamalı tavuk ürünü ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü üretimlerinin sürdürülebilirlik değerlendirmeleri karşılaştırması Şekil 4.10'da verilmiştir. Diğer ürünlerin üretim süreçlerinde tartışıldığı gibi, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürününün üretimi, tıpkı vegan burger üretimi ve vegan köfte üretimi gibi, incelenen tüm çevresel etki kategorilerinde daha düşük bir çevresel etki oluşturduğu tespit

edilmiştir. Alan kullanımı açısından kaplamalı tavuk ürünü üretimi 7.25 m^2 ile daha yüksek bir değer gösterirken, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünü üretimi 4.02 m^2 ile yaklaşık 2 kat daha düşük bir çevresel etkiye sahiptir. Asidifikasyon kategorisinde, kaplamalı tavuk ürünü üretimi 0.064 kg SO_2 değeriyle vegan alternatif üretimine göre 4 kat daha fazla SO_2 oluşumuna neden olduğu tespit edilmiştir. Küresel ısınmaya etkisi açısından kaplamalı tavuk ürünü üretimi 4.45 kg CO_2 , kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretimi ise 1.74 kg CO_2 salınımına neden olmuştur. Bu durum kaplamalı tavuk ürünü üretiminin vegan alternatifine göre yaklaşık 2.5 kat daha fazla küresel ısınmaya etkisinin olduğunu göstermektedir. Ozon tabakası incelmeye etkisi de benzer şekilde kaplamalı tavuk ürünü üretimi vegan alternatifine göre yaklaşık olarak 2 kat CFC salınımına neden olmuştur. Ötrofikasyon kategorisinde kaplamalı tavuk ürünü üretimi 0.00178 kg P değeri ile öne çıkarken, kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretimi 0.00087 kg P değeriyle yaklaşık olarak 2 kat daha düşük bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Su tüketimi açısından, kaplamalı tavuk ürünü üretimi 185.64 kg ile oldukça yüksek bir değer göstermiş, buna karşın kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretimi yaklaşık 8 kat daha az su tüketimi ile bu alanda belirgin bir avantaj sağlamıştır.

Van Mierlo et al. (2022) yapmış olduğu çalışmada ise ötrofikasyonu kategorisinde şinitzel üretiminin etkisi $1.46 \times 10^{-3} \text{ kg}$ fosfor eşdeğeri olarak belirlenirken, vegan şinitzel üretiminde bu değer $9.25 \times 10^{-4} \text{ kg}$ fosfor eşdeğerine olduğu tespit edilmiştir. Ozon tabakası incelmeye açısından ise şinitzel üretiminin etkisi $2.09 \times 10^{-7} \text{ kg CFC}$ iken, vegan şinitzel üretiminde bu değer $9.72 \times 10^{-8} \text{ kg CFC}$ olarak hesaplanmıştır. Şinitzel üretimi ortalama 3.92 kg CO_2 eşdeğeri emisyonu yol açarken, vegan şinitzel üretimi için bu değer 2.10 kg CO_2 eşdeğeri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca şinitzel üretiminin su kaynağı tükenmesine etkisi $2.58 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ su iken vegan şinitzel üretiminde bu miktarın $1.04 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ su olduğu belirlenmiştir. Literatürde kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün ile kaplamalı tavuk ürünün üretimlerinin çevresel etkilerine ilişkin yapılan çalışmaların, tez kapsamında elde edilen sonuçlarla paralellik gösterdiği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.11 Kaplamalı tavuk ürünü ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretim hatlarının sürdürülebilirlik özelliklerinin karşılaştırması (■: Kaplamalı tavuk ürünü hattı, ■: Kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün hattı)

Sürdürülebilirlik analizinde incelenen üç farklı ürün grubunun üretim süreçlerinden (dana burger-vegan burger, dana misket köfte-vegan köfte, kaplamalı tavuk ürünü-kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün) elde edilen sonuçlar, hayvansal bazlı ürün üretim süreçlerinin çevresel etkilerinin genel olarak vegan alternatiflerinden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu fark, özellikle alan kullanımı, su tüketimi ve küresel ısınmaya etkisi kategorilerinde belirgin hale gelmektedir. Bu farkların temel nedeni, hayvansal bazlı ürünlerin üretim süreçlerinin daha yoğun kaynak kullanımı gerektirmesidir. Hayvan yetiştiriciliği için büyük miktarda tarımsal alan, su ve yem gibi kaynakların tüketilmesi, çevresel etkilerin önemli ölçüde artmasına neden olmaktadır. Vegan ürünlerde ise bitkisel bazlı hammaddeler kullanıldığı için bu etkiler minimize edilmiştir. Ayrıca, bitkisel kaynaklı üretim süreçlerinde daha az enerji ve su kullanımı, karbon emisyonlarının ve diğer çevresel etkilerin de azaltılmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak, sürdürülebilir bir gelecek için vegan alternatiflerin tercih edilmesinin çevresel etkileri azaltmada önemli bir katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Ancak et ve et ürünleri, B12 vitamini, demir, çinko ve kreatin gibi vitamin ve minerallerin yanı

sıra, diyetle bulunması gereken elzem amino asit ihtiyacının tamamını da karşılamaktadır. Lif açısından incelendiğinde ise bitkisel bazlı alternatifler lif bakımından zengin olduğu için sindirim sistemine olumlu katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle sağlıklı bir beslenme düzeni için besin değerleri arasındaki farklılıkların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu analiz sonuçları, tüketici tercihlerinin yönlendirilmesi ve üretim politikalarının şekillendirilmesi açısından değerli veriler sunmaktadır. Özellikle gıda sektöründe daha düşük çevresel etkiye sahip alternatiflerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir adım olacaktır.



5. GENEL SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında endüstriyel ölçekte üretilen işlenmiş et ürünleri ve vegan alternatiflerinin üretim hatlarının performans ve sürdürülebilirlik değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Performans değerlendirmesi, üretim hatlarının enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik değerlendirmelerini içermektedir. Tez çalışması, enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizlerin sonuçlarını ortaya koyarak, Türkiye'deki et işleme sektörüne yönelik enerji verileri ve enerji yönetimi stratejileri açısından bir referans niteliği taşımayı hedeflemiştir. Bu bağlamda, sektördeki enerji kullanımının daha verimli hale getirilmesine yönelik öneriler geliştirilmiştir. Üretim hatlarının performans analizlerine ek olarak, üretilen ürünlerin yaşam döngüsü analizleri de kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Sürdürülebilirlik değerlendirmeleri ile hem hayvansal protein kaynaklarına dayalı ürünlerin hem de alternatif proteinlerden üretilen ürünlerin üretim süreçlerinin çevresel etkileri değerlendirilmiş ve mevcut durum tespiti yapılmıştır. Elde edilen bulgularla, endüstriyel ölçekte daha çevre dostu ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Performans değerlendirmelerinde dana burger, dana misket köfte, kaplamalı tavuk, vegan burger, vegan köfte ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünlerin üretim hatları incelenmiş; enerji ve ekserji tüketimleri ile verimlilik özellikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, farklı üretim hatlarının benzer eğilimler gösterdiğini, ancak enerji yoğunluğu ve verimlilik açısından işlem bazında önemli farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur. Genel olarak, tüm üretim hatlarında boyut küçültme ve harmanlama işlemlerinin enerji tüketimi ve ekserji verimliliği açısından en yüksek enerji ve ekserji verimliliğine sahip aşamalar olduğu görülmüştür. Bu işlemler hem enerji talebi bakımından düşük seviyelerde kalmış hem de verimlilik değerleriyle kaynak kullanımında etkin süreçler olarak öne çıkmıştır. Form verme işlemi, hemen hemen tüm üretim hatlarında daha yüksek enerji tüketimi ile dikkat çekmiş, ancak enerji ve ekserji verimlilikleri bakımından orta düzeyde performans sergileyerek yönetilebilir bir aşama olarak değerlendirilmiştir. Kızartma işlemi de enerji ve ekserji açısından verimli bir süreç olarak belirlenmiştir. Buna karşılık dondurma işlemi tüm hatlar için enerji ve ekserji açısından en verimsiz aşama olarak öne çıkmış; yüksek enerji tüketimi ve düşük enerji ve ekserji verimlilikleri ile dikkat çekmiştir. Özellikle kaplamalı tavuk, dana burger ve vegan ürün hatlarında bu işlemin enerji kayıplarının yoğunlaştığı kritik bir süreç olduğu belirlenmiştir. Dondurma işleminin iyileştirilmesi, enerji tasarrufu

sağlamak ve sürdürülebilir üretim süreçlerini desteklemek adına büyük bir potansiyel taşımaktadır.

Performans değerlendirmeleri özetlendiğinde, enerji yönetimi stratejilerinin etkinleştirilmesi ve düşük verimli süreçlerin optimizasyonu önerilmektedir. Özellikle dondurma işlemlerinde enerji tasarrufunu artıracak teknolojik iyileştirmeler büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, harmanlama ve boyut küçültme aşamalarının mevcut performanslarının korunması, form verme ve pişirme işlemlerinin ise verimlilik hedefleri doğrultusunda geliştirilmesi tavsiye edilmektedir. Sonuç olarak, incelenen altı farklı üretim hattında benzer iyileştirme alanlarının belirlenmiş olması, enerji verimliliği ve sürdürülebilir üretim hedefleri doğrultusunda ortak stratejiler geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Enerji yoğun aşamalarda yenilikçi teknolojilerin kullanılması ve dönüşüm kayıplarının azaltılması hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlayarak üretim süreçlerinin etkinliğini artıracaktır.

Performans analizleri, üretim hatlarındaki enerji ve ekserji verimliliklerinin; ekipman seçimi, ekipmanların güç değerleri, işlem süreleri ve üretim miktarları gibi faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Özellikle dondurma, boyut küçültme ve harmanlama gibi enerji yoğun süreçlerde, ekipmanların kapasite kullanımının optimize edilmesi kritik bir öneme sahiptir. Form verme ve dondurma işlemleri ise yüksek enerji tüketimi nedeniyle süreç iyileştirme potansiyeli taşımaktadır. Bu bağlamda, ekipmanların doğru seçimi ve operasyonların dengeli yönetimi, sürdürülebilir ve enerji verimli üretim süreçlerinin geliştirilmesine önemli katkı sağlayacaktır. Üretim hattında bulunan ekipmanların tam kapasite kullanımı enerji verimliliğini artıracak stratejiler olarak önerilmektedir. Genel olarak, enerji ve ekserji verimliliklerini etkileyen temel parametreler arasında ekipmanların güç tüketim değerleri, işlem süreleri ve işlenen ürün miktarı öne çıkmaktadır. Aynı işlem için farklı güç değerlerine sahip ekipmanların kullanılması, belirgin verimlilik farklılıklarına yol açmaktadır. Ayrıca uzun işlem süreleri ve düşük üretim miktarları, verimliliği olumsuz etkileyerek enerji kayıplarını artırmaktadır. Özellikle dondurma ve pişirme süreçlerinde yüksek güç tüketimi ve uzun işlem süreleri önemli verimlilik kayıplarına neden olmaktadır. Sonuç olarak, ekipman gücü, işlem süresi ve üretim miktarı arasındaki uyumun sağlanması, enerji ve ekserji verimliliklerinin artırılmasında belirleyici rol oynamaktadır. Bu bulgular, süreklilik gösteren iyileştirme çalışmaları için temel oluşturmakta ve enerji verimli, sürdürülebilir üretim süreçlerinin geliştirilmesine önemli katkı sağlamaktadır.

Yıllık bazda eksergo-ekonomik analizler, dana burger üretiminin hem yüksek üretim miktarı hem de değerli bileşenler içermesi nedeniyle en yüksek birim ekserji maliyetine sahip olduğunu göstermiştir. Kaplamalı tavuk ürünü üretim hattı, düşük bileşen maliyetine rağmen yüksek üretim miktarı ve yatırım gereksinimleri nedeniyle artan işletme ve yatırım maliyetleri ile dikkat çekmiştir. Vegan ürünler arasında ise vegan köfte üretimi, en yüksek üretim miktarına sahip olması nedeniyle daha yüksek işletme maliyetleri göstermiştir. Ancak vegan burger ve kaplamalı tavuk benzeri vegan ürünlerde, düşük üretim miktarlarına rağmen değerli bileşenlerin kullanılması girdi maliyetlerini yükselten bir faktör olmuştur. İncelenen ürünlerin maliyet yapılarının, üretim hacmi, kullanılan hammaddelerin maliyeti ve üretim sürecinde yer alan ekipmanların yatırım gereksinimleri gibi faktörlere bağlı olarak şekillendiği tespit edilmiştir. Bu bulgular, gıda üretim hatlarında enerji ve ekserji verimliliğini arttırmak ve maliyet yapısını optimize etmek için ekipman seçimi, işletme süreleri ve üretim miktarlarının dikkatle planlanması gerektiğini ortaya koymuştur.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen sürdürülebilirlik analizleri ile işlenmiş et ürünleri ile vegan alternatiflerinin çevresel etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Genel olarak, vegan ürün üretim hatlarının çevre dostu özellikleri ile daha sürdürülebilir seçenekler sunduğu tespit edilmiştir. Alan kullanımı açısından yapılan değerlendirmelerde işlenmiş et ürünlerinin, özellikle dana burger ve dana misket köftenin, yüksek arazi gereksinimine sahip olduğu görülmüştür. Buna karşılık, vegan burger ve vegan köfte gibi bitkisel kaynaklı ürünler, tarımsal alan kullanımında önemli ölçüde avantaj sağlamaktadır. Asidifikasyon potansiyeli açısından da benzer bir durum gözlemlenmiş ve dana eti bazlı ürünlerin daha yüksek asidik gaz salınımına neden olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, vegan ürün üretim süreçlerinin çevreye daha az asidik gaz salarak daha sürdürülebilir bir profil sunmuştur. Küresel ısınma etkileri değerlendirildiğinde ise hayvansal et bazlı ürün üretim süreçlerinin sera gazı emisyonları açısından olumsuz bir tablo çizdiği, vegan ürün üretim süreçlerinin ise karbon ayak izinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Ozon tabakasına zarar verme potansiyeli bakımından dana eti bazlı ürünler nispeten yüksek CFC emisyonlarına sahipken, vegan burger üretimi bu kategoride en düşük çevresel etkiyi göstermiştir. Ancak kaplamalı tavuk benzeri vegan ürün üretimi, ozon tabakasına daha fazla zarar veren bir profil çizmiştir. Ötrofikasyon açısından dana burger üretim sürecinin su kirliliğine yol açma potansiyelinin diğer ürünlere kıyasla daha düşük olduğu, kaplamalı tavuk ve dana misket köfte üretim süreçlerinin ise benzer seviyelerde fosfor salınımına neden olduğu belirlenmiştir. Su tüketimi bakımından beklenmedik bir durum olarak

kaplamalı tavuk ürünü üretimi en yüksek değere sahip olurken, yine vegan ürünlerin bu kategoride daha avantajlı olduğu dikkat çekmiştir.

Sonuç olarak, alternatif protein kaynakları ile elde edilen ürünlerin üretim süreçlerinin sürdürülebilirlik açısından daha çevre dostu bir alternatif sunduğu ortaya konulmuştur. Bu bulgular doğrultusunda, gıda üretiminde bitkisel temelli ürünlerin teşvik edilmesi, tüketim alışkanlıklarının sürdürülebilir seçeneklere yönlendirilmesi ve vegan ürünlerin üretim süreçlerinde yapılacak iyileştirmelerle çevreye olan etkinin daha da azaltılması önemli stratejiler olarak önerilmektedir. Alternatif protein kaynakları ile elde edilen ürünlerin yaygınlaşması, hem ekolojik dengenin korunmasına hem de sürdürülebilir bir gıda sisteminin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Afshin, A., Sur, P. J., Fay, K. A., Cornaby, L., Ferrara, G., Salama, J. S. and Murray, C. J.**, 2019, Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017, *The Lancet*, 393(10184), 1958-1972.
- Afzali, F., Darvishi, H. and Behrooz-Khazaei, N.**, 2019, Optimizing exergetic performance of a continuous conveyor infrared-hot air dryer with air recycling system, *Applied Thermal Engineering*, 154, 358-367.
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S. and Madadlou, A.**, 2013, A review on exergy analysis of drying processes and systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 1-22.
- Ahmad, S., Wong, K. Y., Rashid, A. F. A. and Khan, M.**, 2023, Environmental impacts and improvement implications for industrial meatballs manufacturing: scenario in a developing country, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29(8), 1510-1522.
- Ajwalia, R.**, 2020, Meat alternative gaining importance over traditional meat products. *Food and Agriculture Spectrum Journal*, 1(01), 39-44.
- Alders, R., Awuni, J. A., Bagnol, B., Farrell, P. and de Haan, N.**, 2014, Impact of avian influenza on village poultry production globally, *Ecohealth*, 11(1), 63-72.
- Alexander, P., Brown, C., Arneth, A., Finnigan, J., Moran, D. and Rounsevell, M. D.**, 2017, Losses, inefficiencies and waste in the global food system, *Agricultural systems*, 153, 190-200.
- Alig, M., Grandl, F., Mieleitner, J., Nemecek, T. and Gaillard, G.**, 2012, Life cycle assessment of beef, pork and poultry. *Executive Summary. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich*, 1-8.
- Alta, Z. D. and Ertekin, C.**, 2015, Exergetic performance of production unit operations of a frozen fruit: a case study for sweet cherry. *International Journal of Exergy*, 16(2), 169-182.
- Amid, S., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Karimi, K., Nizami, A. S., Rehan, M. and Lam, S. S.**, 2021, Exergetic, exergoeconomic, and exergoenvironmental aspects of an industrial-scale molasses-based ethanol production plant, *Energy Conversion and Management*, 227, 113637.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Anonymous**, 2015, United Nations Department of Economics and Social Affairs, “World population projected to reach 9.7 billion by 2050”, <https://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html> (Erişim tarihi: 24 Kasım 2024)
- Anonymous**, 2016, Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen, Verordnung des EDI betreffend die Information über Lebensmittel, <https://www.fedlex.admin.ch/eli/oc/2017/158/de> (Erişim tarihi: 5 Şubat 2024)
- Anonymous**, 2017a, REFIT, Platform Opinion on the submission by the European Vegetarian Union (LtL 548) on the definition of 'vegan' and 'vegetarian'
- Anonymous**, 2017b, The Netherlands Environmental Assessment Agency, The Protein Puzzle—the consumption and production of meat, dairy and fish in the European Union.
- Anonymous**, 2017c, International Olive Council, “Determination of Fatty Acid Methyl Esters by Gas Chromatography”, <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/COI-T.20-Doc.-No-33-Rev.-1-2017.pdf> (Erişim tarihi: 26 Şubat 2025)
- Anonymous**, 2018a, Transparency Market Research, “Meat Alternatives Market Trends, 2021- 2031”, <https://www.transparencymarketresearch.com/meat-alternatives-market.html> (Erişim tarihi: 1 Şubat 2022)
- Anonymous**, 2018b, Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission, Leitsätze für vegane und vegetarische Lebensmittel mit Ähnlichkeit zu Lebensmitteln tierischen Ursprungs, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittel-Kennzeichnung/LeitsaetzevegetarischeveganeLebensmittel.html (Erişim tarihi: 5 Şubat 2025)
- Anonymous**, 2019a, Innova Market Insights, Alternative proteins: A finger on the pulse of pea protein market.
- Anonymous**, 2019b, Euromonitor International, “Driving forces behind plant-based diets: Climate concern and meat reduction “ <https://www.euromonitor.com/driving-forces-behind-plant-baseddiets-climate-concern-and-meat-reduction/report> (Erişim tarihi: 14 Kasım 2024)

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Anonymous**, 2019c, EUVEPRO, “The use of plant-based proteins in food and beverages in the EU-a 10-year review of New Product Launches Containing Plant-Based Proteins across EU 28”, https://euvepro.eu/_library/_files/INNOVA_2018_report_summary_-_THE_USE_OF_PLANT-BASED_PROTEINS_IN_FOOD_AND_BEVERAGES_IN_THE_EU.pdf (Erişim tarihi: 17 Ekim 2024)
- Anonymous**, 2019d, Mintel Global New Product Database, Meat Substitutes, Mintel GNPD, London, UK
- Anonymous**, 2019e, New York Times, “Fake Meat vs. Real Meat”, <https://www.nytimes.com/2019/12/03/well/eat/fake-meat-vs-real-meat.html> (Erişim tarihi: 6 Ocak 2022)
- Anonymous**, 2019f, Roy Morgan, “The Slow But Steady Rise of Vegetarianism in Australia”, <http://www.roymorgan.com/findings/vegetarianisms-slow-but-steady-rise-in-australia-201608151105> (Erişim tarihi: 16 Şubat 2022)
- Anonymous**, 2019g, The Vegan Society, “Statistics”, <https://www.vegansociety.com/news/media/statistics> (Erişim tarihi: 21 Ekim 2024)
- Anonymous**, 2019ğ, Food Standards Agency, Food and You Survey, <https://www.food.gov.uk/research/food-and-you/food-and-you-secondary-analysis-waves-1-5>, (Erişim tarihi: 5 Şubat 2025)
- Anonymous**, 2019h, National Heart Foundation, Dietary Position Statement—Meat & Heart Healthy Eating; National Heart Foundation: Melbourne, Victoria, Australia.
- Anonymous**, 2020a”, Mordor Intelligence, “Protein Alternatives Market-Growth, Trends, Covid-19 Impact and Forecasts (2021-2026)”, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/protein-alternatives-market> (2020) (Erişim tarihi: 16 Kasım 2024)
- Anonymous**, 2020b, Fast Company, “How the Netherlands became a plant-based protein powerhouse”, <https://www.fastcompany.com/90573547/how-the-netherlands-became-a-plant-based-protein-powerhouse> (Erişim tarihi: 24 Aralık 2024)

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Anonymous**, 2021a, Our World in Data, ‘‘Global meat production, 1961 to 2018’’, <https://ourworldindata.org/grapher/global-meat-production> (Erişim tarihi: 22 Ekim 2024)
- Anonymous**, 2021b, Meticulous Research, ‘‘Alternative Protein Market by Stage/Type (Emerging Alternative Protein, Adolescent Alternative Protein, Matured Alternative Protein), Application (Plant-Based Products, Insect-Based Products, Microbial Products)-Global Forecast to 2027’’ <https://www.meticulousresearch.com/product/alternative-protein-market-4985> (Erişim tarihi: 7 Eylül 2024)
- Anonymous**, 2021c, National Cancer Institute, ‘‘Red Meat and Processed Meat Consumption’’, https://progressreport.cancer.gov/prevention/red_meat (Erişim tarihi: 11.02.2022)
- Anonymous**, 2021d, Meticulous Market Research, ‘‘Alternative Protein Market to Reach \$27.05 Billion by 2027- Market Size, Share, Forecasts, & Trends Analysis Report with COVID-19 Impact by Meticulous Research’’, <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/09/13/2295883/0/en/Alternative-Protein-Market-to-Reach-27-05-Billion-by-2027-Market-Size-Share-Forecasts-Trends-Analysis-Report-with-COVID-19-Impact-by-Meticulous-Research.html> (Erişim tarihi: 13 Aralık 2024)
- Anonymous**, 2021e, Good Food Institute Israel, Israel state of alternative protein innovation report, https://innovationisrael.org.il/sites/default/files/GFI%20Israel%20State%20of%20Alternative%20Protein%20Innovation%20Report%202021_0.pdf (Erişim tarihi: 5 şubat 2025)
- Anonymous**, 2021f, UK Research and Innovation, ‘‘Alternative proteins: new horizons for novel and traditional food production’’, <https://www.ukri.org/our-work/our-main-funds/industrial-strategy-challenge-fund/clean-growth/transforming-food-production-challenge/alternative-proteins-new-horizons-for-novel-and-traditional-food-production/> (Erişim tarihi: 10 Aralık 2024)

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Anonymous**, 2021g, Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, 2021, Yeşil Mutabakat Eylem Planı <https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YEŞİL.pdf> (Erişim tarihi: 5 Şubat 2025)
- Anonymous**, 2022a, V-Label, <https://www.v-label.eu/tr> (Erişim tarihi: 4 Aralık 2024)
- Anonymous**, 2022b, Beyond Meat, <https://www.beyondmeat.com> (Erişim tarihi: 22 Eylül 2024)
- Anonymous**, 2022c, Impossible Foods, <https://impossiblefoods.com> (Erişim tarihi: 22 Ekim 2024)
- Anonymous**, 2022d, Protein Industries Canada, “Who we are”, <https://www.proteinindustriescanada.ca/who-we-are> (Erişim tarihi: 15 Aralık 2024)
- Anonymous**, 2022e, Good Food Institute, “Indian government grants over \$600,000 to cell-based meat research”, <https://gfi.org/blog/2019-04-26/> (Erişim tarihi: 22 Kasım 2024)
- Anonymous**, 2022f, Green Queen, “IntegriCulture Gets US\$2.2M Government Grant To Build Cell-Ag Facility”, <https://www.greenqueen.com.hk/integriculture-gets-us2-2m-government-grant-to-build-cellag-facility/> (Erişim tarihi: 21 Eylül 2024)
- Anonymous**, 2023a, Good Food Institute, “U.S. retail market insights for the plant-based industry”, <https://gfi.org/marketresearch/> (Erişim tarihi: 21 Şubat 2025)
- Anonymous**, 2023b, Grand View Research, “Plant-based Meat Market Size, Share & Trends Analysis Report By Source (Soy, Pea, Wheat), By Product, By Type (Chicken, Pork, Beef, Fish, Others), By End-use, By Storage, By Region, And Segment Forecasts, 2024 - 2030”, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/plant-based-meat-market> (Erişim tarihi: 21 Şubat 2025)
- Anonymous**, 2023c, International Magazine for Animal Feed and Additives Industry, “Global Alternative Proteins Market”, <https://www.feedandadditive.com/global-alternative-proteins-market/> (Erişim tarihi: 21 Şubat 2025)

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Anonymous**, 2024a, M., Schneider, ‘The world population will be 8.09 billion on New Year’s Day after a 71 million increase in 2024’’, <https://apnews.com/article/world-population-census-bureau-fcc8cc23d572ddf91be31a6ec651e0d0> (Erişim tarihi: 26 Şubat 2025)
- Anonymous**, 2024b, Meticulous Research, ‘Alternative Protein Market Size, Share, Forecast, & Trends Analysis by Type (Plant Protein [Soy, Pea, Potato], Insect Protein [Crickets, BSF], Microbial [Algae Protein, Fungal Proteins]), Application (Food & Beverage, Alternative Proteins) - Global Forecast to 2031’’, <https://www.meticulousresearch.com/product/alternative-protein-market-4985> (Erişim tarihi: 21 Şubat 2025)
- Anonymous**, 2024c, GlobeNewswire, ‘Single Cell Protein Market Thrives with a Robust 6.8% CAGR, Set to Reach US\$ 6,963.0 Million by 2033 | According to Persistence Market Research’’, <https://www.globenewswire.com/news-release/2024/01/09/2806605/0/en/Single-Cell-Protein-Market-Thrives-with-a-Robust-6-8-CAGR-Set-to-Reach-US-6-963-0-Million-by-2033-According-to-Persistence-Market-Research.html> (Erişim tarihi: 21 Şubat 2025)
- Anonymous**, 2024d, Protein Production Technology, ‘New data reveals Germany's growing appetite for meat alternatives’’, <https://www.proteinproductiontechnology.com/post/new-data-reveals-germanys-growing-appetite-for-meat-alternatives> (Erişim tarihi: 21 Şubat 2025)
- Anonymous**, 2024e, Clean Energy Wire, ‘Share of vegans and vegetarians largely unchanged in Germany – govt report’’, <https://www.cleanenergywire.org/news/share-vegans-and-vegetarians-largely-unchanged-germany-govt-report> (Erişim tarihi: 21 Şubat 2025)
- Apaiah, R. K., Linnemann, A. R. and Van Der Kooi, H. J., 2006**, Exergy analysis: A tool to study the sustainability of food supply chains, *Food Research International*, 39(1), 1-11.
- Apostolidis, C. and McLeay, F., 2016**, It's not vegetarian, it's meat-free! Meat eaters, meat reducers and vegetarians and the case of Quorn in the UK, *Social Business*, 6(3), 267-290.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Aschemann-Witzel, J., Gantriis, R. F., Fraga, P. and Perez-Cueto, F. J., 2021,** Plant-based food and protein trend from a business perspective: markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(18), 3119-3128.
- Aviara, N. A., Onuoha, L. N., Falola, O. E. and Igbeka, J. C., 2014,** Energy and exergy analyses of native cassava starch drying in a tray dryer, *Energy*, 73, 809-817.
- Ayub, I., Munir, A., Amjad, W., Ghafoor, A. and Nasir, M. S., 2018,** Energy- and exergy-based thermal analyses of a solar bakery unit, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133, 1001-1013.
- Azadbakht, M., Ziaratban, A., Torshizi, M. V. and Aghili, H., 2017,** Energy and exergy analyses during eggplant drying in a fluidized bed dryer, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(3), 177-182.
- Barthelmie, R. J., 2022,** Impact of dietary meat and animal products on GHG footprints: The UK and the US, *Climate*, 10(3), 43.
- Bayrak, M., Midilli, A. and Nurveren, K., 2003,** Energy and exergy analyses of sugar production stages, *International Journal of Energy Research*, 27(11), 989-1001.
- Bennetzen, E. H., Smith, P. and Porter, J. R., 2016,** Agricultural production and greenhouse gas emissions from world regions—The major trends over 40 years, *Global Environmental Change*, 37, 43-55.
- Berton, M., Agabriel, J., Gallo, L., Lherm, M., Ramanzin, M. and Sturaro, E., 2017,** Environmental footprint of the integrated France–Italy beef production system assessed through a multi-indicator approach, *Agricultural Systems*, 155, 33-42.
- Bhander, G. S., Christensen, T. H. and Hauschild, M. Z., 2010,** EASEWASTE—life cycle modeling capabilities for waste management Technologies, *The International journal of life cycle assessment*, 15, 403-416.
- Biermann, G. and Rau, H., 2020,** The meaning of meat:(Un)sustainable eating practices at home and out of home, *Appetite*, 153, 104730.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Birch, D., Skallerud, K. and Paul, N. A.,** 2019, Who are the future seaweed consumers in a Western society? Insights from Australia, *British Food Journal*.
- Boada, L. D., Henríquez-Hernández, L. A. and Luzardo, O. P.,** 2016, The impact of red and processed meat consumption on cancer and other health outcomes: Epidemiological evidences. *Food and Chemical Toxicology*, 92, 236-244.
- Bouwman, L., Goldewijk, K. K., Van Der Hoek, K. W., Beusen, A. H., Van Vuuren, D. P., Willems, J. and Stehfest, E.,** 2013, Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900–2050 period, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52), 20882-20887.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C. and Ballabio, C.,** 2020, Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070), *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36), 21994-22001.
- Bouvard, V., Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., El Ghissassi, F., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Mattock, H., Straif, K. and Corpet, D. E.,** 2015, Carcinogenicity of consumption of red and processed meat, *The Lancet Oncology*, 16(16), 1599-1600.
- Bozkurt, H. and Icier, F.,** 2010, Exergetic performance analysis of ohmic cooking process, *Journal of Food Engineering*, 100(4), 688-695.
- Bragaglio, A., Napolitano, F., Pacelli, C., Pirlo, G., Sabia, E., Serrapica, F. and Braghieri, A.,** 2018, Environmental impacts of Italian beef production: A comparison between different systems, *Journal of Cleaner Production*, 172, 4033-4043.
- Broom, D. M.,** 2019, Land and water usage in beef production systems, *Animals*, 9(6), 286.
- Castañé, S. and Antón, A.,** 2017, Assessment of the nutritional quality and environmental impact of two food diets: A Mediterranean and a vegan diet, *Journal of Cleaner Production*, 167, 929-937.
- Cederberg, C.,** 2009, Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs 1990 and 2005, SIK Institutet för livsmedel och bioteknik.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Cederberg, C., Hedenus, F., Wirsenius, S. and Sonesson, U.,** 2013, Trends in greenhouse gas emissions from consumption and production of animal food products—implications for long-term climate targets, *Animal*, 7(2), 330-340.
- Chiang, J.H., Loveday, S.M., Hardacre, A.K. and Parker, M.E.,** 2019, Effects of soy protein to wheat gluten ratio on the physicochemical properties of extruded meat analogues, *Food Structure*, 19, 100-102.
- Choi, Y. and Okos, M.R.,** 1986, Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods, *Food Engineering Process Applications*, 1:93-101.
- Circus, V. E. and Robison, R.,** 2018, Exploring perceptions of sustainable proteins and meat attachment. *British Food Journal*, 121(2), 533-545.
- Cokgezme, O.F., Sabanci, S., Cevik, M., Yildiz, H. and Icier, F.,** 2017, Performance analyses for evaporation of pomegranate juice in ohmic heating assisted vacuum system, *Journal of Food Engineering*, 207, 1-9.
- Cöner, A.,** 2017, ‘Fütürist gıda’, Apelasyon, <http://apelasyon.com/Yazi/709-futurist-gida> Erişim Tarihi: (27.12.2021)
- Çakır, O. and Dinçoğlu, A. H.,** 2022, Determination of Hydroxyproline Amount of Fermented Sausages by HPLC and Revealing the Relationship between Quality Parameters, *Asian Food Science Journal*, 21(2), 1-13.
- Çengel, Y.A. and Boles, M.A.,** 2006, Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th ed., McGraw-Hill. Boston. USA
- Çetin, İ., Çetin, E., Çavuşoğlu, E., Yeşilbağ, D., Abdourhamane, İ. M., Özbek, M., ve Petek, M.,** 2018, Geleneksel Derin Altılık ve Izgaralı Zeminde Yetiştirilen Yavaş ve Hızlı Gelişen Erkek Etçi Piliçlerde Bazı Et Kalitesi Özelliklerinin Karşılaştırılması, *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 58(1), 7-13.
- Çokgezme, Ö. F., Döner, D., Cevik, M., Kemahloğlu, A. V. and Icier, F.,** 2021, Influences of sample shape, voltage gradient, and electrode surface form on the exergoeconomic performance characteristics of ohmic thawing of frozen minced beef, *Journal of Food Engineering*, 307, 110660.
- de Araujo, M. E. V., Barbosa, E. G., Lopes, R. P., Corrêa, P. C. and Barbosa, E. G.,** 2021, Infrared drying of pear slices: Drying kinetics, energy, and exergy analysis, *Journal of Food Process Engineering*, 44(12), e13915.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- de Feo, G., Ferrara, C., Iuliano, C. and Grosso, A.,** 2016, LCA of the collection, transportation, treatment and disposal of source separated municipal waste: A Southern Italy case study, *Sustainability*, 8(11), 1084.
- Dekker, E., Zijp, M. C., van de Kamp, M. E., Temme, E. H. and van Zelm, R.,** 2020, A taste of the new ReCiPe for life cycle assessment: Consequences of the updated impact assessment method on food product LCAs, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 2315-2324.
- Demichelis, F., Tommasi, T., Deorsola, F. A., Marchisio, D., Mancini, G. and Fino, D.,** 2022, Life cycle assessment and life cycle costing of advanced anaerobic digestion of organic fraction municipal solid waste, *Chemosphere*, 289, 133058.
- Dikbaş, F. ve Mezarcıöz, S.,** 2019, Tekstilde yaşam döngüsü analizi, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 38, 107-113.
- Dincer, I.,** 2011, Exergy as a potential tool for sustainable drying systems, *Sustainable Cities and Society*, 1(2), 91-96.
- Dolgun, G., Aktaş, M., Oskaybaş Emlek, B., Erinç, H. and Dolgun, E. C.,** 2022, Energy and exergy analysis of the temperature and relative humidity controlled infrared convective walnut drying, *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12), e17141.
- Dong, Y., Coleman, M. and Miller, S. A.,** 2021, Greenhouse gas emissions from air conditioning and refrigeration service expansion in developing countries, *Annual Review of Environment and Resources*, 46(1), 59-83.
- Dowlati, M., Aghbashlo, M. and Soufiyan, M. M.,** 2017, Exergetic performance analysis of an ice-cream manufacturing plant: a comprehensive survey. *Energy*, 123, 445-459.
- Edwards, C. E., Yount, B. L., Graham, R. L., Leist, S. R., Hou, Y. J., Dinnon, K. H., Sims, A. C., Swanstrom, J., Gully, K., Scobey, T. D., Cooley, M. R., Currie, C. G., Randell, S. H. and Baric, R. S.,** 2020, Swine acute diarrhea syndrome coronavirus replication in primary human cells reveals potential susceptibility to infection, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(43), 26915-26925.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Edwards, J., Othman, M., Crossin, E. and Burn, S.,** 2018, Life cycle assessment to compare the environmental impact of seven contemporary food waste management systems, *Bioresource Technology*, 248, 156-173.
- Erbay, Z. and Hepbasli, A.,** 2014, Application of conventional and advanced exergy analyses to evaluate the performance of a ground-source heat pump (GSHP) dryer used in food drying, *Energy Conversion and Management*, 78, 499-507.
- Erbay, Z. and Icier, F.,** 2011, Energy and exergy analyses on drying of olive leaves (*Olea europaea* L.) in tray drier, *Journal of Food Process Engineering*, 34(6), 2105-2123.
- Eren, S., Karadağ, N., Yiğit, İ. ve Eren, H. A.,** 2022, Süperkritik ve Klasik Ortamda Poliester Boyamanın Yaşam Döngüsü Analizi ile Değerlendirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(3), 927-940.
- Ettinger, J.,** 2016, “Vegan meat is now the biggest trend in the tech industry”, <http://www.organicauthority.com/vegan-meat-is-now-the-biggest-trend-in-the-tech-industry/> (Erişim Tarihi: 29 Eylül 2024)
- Evans, D.,** 2024, Anticipatory Life Cycle Assessment of Phosphorus Recovery from Human Urine and Application in Agricultural Food Systems, *Arizona State University*.
- Fadare, D. A., Nkpubre, D. O., Oni, A. O., Falana, A., Waheed, M. A. and Bamiro, O. A.,** 2010, Energy and exergy analyses of malt drink production in Nigeria, *Energy*, 35(12), 5336-5346.
- FAO,** 2009, How to Feed the World in 2050, High-Level Expert Forum, Rome, Italy.
- Fangueiro, D., Hjorth, M. and Gioelli, F.,** 2015, Acidification of animal slurry—a review, *Journal of environmental management*, 149, 46-56.
- Fernández-Nava, Y., Del Rio, J., Rodríguez-Iglesias, J., Castrillón, L. And Marañón, E.,** 2014, Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: a case study of Asturias (Spain), *Journal of Cleaner Production*, 81, 178-189.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller N.D., O’Connell C., Ray, D. K., West, P.C., Balzer, C. Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D. and Zaks, D. P., 2011,** Solutions for a cultivated planet, *Nature*, 478(7369), 337-342.
- Fresán, U., Marrin, D. L., Mejia, M. A. and Sabaté, J., 2019,** Water footprint of meat analogs: selected indicators according to life cycle assessment, *Water*, 11(4), 728.
- Fritzson, A. and Berntsson, T., 2006,** Energy efficiency in the slaughter and meat processing industry—opportunities for improvements in future energy markets, *Journal of Food Engineering*, 77(4), 792-802.
- Gabriel, A., Victor, N. and du Preez James, C., 2014,** Cactus pear biomass, a potential lignocellulose raw material for single cell protein production (SCP): a review, *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 3(7), 171-197.
- Garnett, T., 2013,** Food sustainability: problems, perspectives and solutions, *Proceedings of the Nutrition Society*, 72(1), 29-39.
- Genc, M., Genc, S. and Goksungur, Y., 2017,** Exergy analysis of wine production: Red wine production process as a case study, *Applied Thermal Engineering*, 117, 511-521.
- Genc, S. and Hepbasli, A., 2015,** Performance assessment of a potato crisp frying process. *Drying Technology*, 33(7), 865-875.
- Gerbens-Leenes, P. W., Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y., 2013,** The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems, *Water resources and industry*, 1, 25-36.
- Gerber, P., Opio, C. and Steinfeld, H., 2007,** Poultry production and the environment—a review, *Animal production and health division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla*, 153, 1-27.
- Giromini, C. and Givens, D. I., 2022,** Benefits and risks associated with meat consumption during key life processes and in relation to the risk of chronic diseases, *Foods*, 11(14), 2063.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M. and Toulmin, C.,** 2010, Food security: the challenge of feeding 9 billion people, *Science*, 327(5967), 812-818.
- Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., Pierrehumbert, R.T., Scarborough, P., Springmann, M. and Jebb, S. A.,** 2018, Meat consumption, health, and the environment, *Science*, 361(6399).
- Gong, Y., Ma, T. C., Xu, Y. Y., Yang, R., Gao, L. J., Wu, S. H., Li, J., Yue, M.I., Liang, H., He, X. and Yun, T.,** 2020, Early research on COVID-19: a bibliometric analysis, *The Innovation*, 1(2), 100027.
- Grassian, D. T.,** 2020, The dietary behaviors of participants in UK-based meat reduction and vegan campaigns—A longitudinal, mixed-methods study, *Appetite*, 154, 104788.
- Gruener, O.,** 2010, The water footprint: water in the supply chain. *The Environmentalist*, 1(93), 12.
- Gungor, A., Erbay, Z. and Hepbasli, A.,** 2011, Exergetic analysis and evaluation of a new application of gas engine heat pumps (GEHPs) for food drying processes, *Applied Energy*, 88(3), 882-891.
- Heinke, J., Lannerstad, M., Gerten, D., Havlík, P., Herrero, M., Notenbaert, A. M. O. and Müller, C.,** 2020, Water use in global livestock production—opportunities and constraints for increasing water productivity, *Water Resources Research*, 56(12), e2019WR026995.
- Heller, M.C., Willits-Smith, A., Meyer, R., Keoleian, G.A. and Rose, D.,** 2018, Greenhouse Gas Emissions and Energy use Associated with Production of Individual Self-Selected US Diets, *Environmental Research Letters*, 13(4), 044004.
- Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M. and Tiwari, B.,** 2017, Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium, *Foods*, 6(7), 53.
- Higgs, J. D.,** 2000, The changing nature of red meat: 20 years of improving nutritional quality, *Trends in Food Science & Technology*, 11(3), 85-95.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Ibidhi, R., Hoekstra, A. Y., Gerbens-Leenes, P. W. and Chouchane, H.,** 2017, Water, land and carbon footprints of sheep and chicken meat produced in Tunisia under different farming systems, *Ecological indicators*, 77, 304-313.
- Icier, F., Colak, N., Erbay, Z., Kuzgunkaya, E. H. and Hepbasli, A.,** 2010, A comparative study on exergetic performance assessment for drying of broccoli florets in three different drying systems, *Drying Technology*, 28(2), 193-204.
- Jacquemin, L., Pontalier, P. Y. and Sablayrolles, C.,** 2012, Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry: a review, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17, 1028-1041.
- Jokandan, M. J., Aghbashlo, M., and Mohtasebi, S. S.,** 2015, Comprehensive exergy analysis of an industrial-scale yogurt production plant, *Energy*, 93, 1832-1851.
- Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L. and Daszak, P.,** 2008, Global trends in emerging infectious diseases, *Nature*, 451(7181), 990-993.
- Joseph, P., Searing, A., Watson, C. and McKeague, J.,** 2020, Alternative proteins: Market research on consumer trends and emerging landscape, *Meat and Muscle Biology*, 4(2).
- Jung, A. H., Hwang, J. H., Jun, S. and Park, S. H.,** 2022, Application of ohmic cooking to produce a soy protein-based meat analogue. *LWT-Food Science and Technology*, 160, 113271.
- Kalhor, T., Rajabipour, A., Akram, A. and Sharifi, M.,** 2016, Environmental impact assessment of chicken meat production using life cycle assessment, *Information Processing in Agriculture*, 3(4), 262-271.
- Kaya, S. Y., İlhan, S. and Paksoy, Ö. İ.,** 2024, Enhancement of semolina pasta with carob molasses pulp, *Czech Journal of Food Sciences*, 42(2).
- Kearney, J.,** 2010, Food consumption trends and drivers, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2793-2807.
- Khandelwal, H., Thalla, A.K., Kumar, S. and Kumar, R.,** 2019, Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management Options for India, *Bioresource Technology*, 288, 121515.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Khorasanizadeh, Z., Nasiri, F. Mahyari, K. F.**, 2021, A detailed thermodynamic assessment and exergetic performance analysis of an industrial-scale orange juice production plant, *International Journal of Exergy*, 35(3), 291-326.
- Kim, T., Riaz, M.N., Awika, J. and Teferra, T.F.**, 2021, The effect of cooling and rehydration methods in high moisture meat analogs with pulse proteins-peas, lentils, and faba beans, *Journal of Food Science*, 86(4), 1322-1334.
- Kumar, P., Chatli, M. K., Mehta, N., Singh, P., Malav, O. P. and Verma, A. K.**, 2017, Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(5), 923-932.
- Kyriakopoulou, K., Dekkers, B. and van der Goot, A. J.**, 2019, Plant-based meat analogues, Academic Press, Wageningen, 103-126p.
- Laso, J., Margallo, M., Serrano, M., Vázquez-Rowe, I., Avadí, A., Fullana, P. and Aldaco, R.**, 2018, Introducing the Green Protein Footprint method as an understandable measure of the environmental cost of anchovy consumption, *Science of the Total Environment*, 621, 40-53.
- Latvala, T., Niva, M., Mäkelä, J., Pouta, E., Heikkilä, J., Kotro, J. and Forsman-Hugg, S.**, 2012, Diversifying meat consumption patterns: Consumers' self-reported past behaviour and intentions for change, *Meat Science*, 92(1), 71-77.
- Lau, S. K., Wong, E. Y., Tsang, C. C., Ahmed, S. S., Au-Yeung, R. K., Yuen, K. Y., Wernery, U. and Woo, P. C.**, 2018, Discovery and sequence analysis of four deltacoronaviruses from birds in the Middle East reveal interspecies jumping with recombination as a potential mechanism for avian-to-avian and avian-to-mammalian transmission, *Journal of Virology*, 92(15), e00265-18.
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S. and Westhoek, H.**, 2015, Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity, *Environmental Research Letters*, 10(11), 115004.
- Li, B., Li, C., Huang, J. And Li, C.**, 2020, Exergoeconomic analysis of corn drying in a novel industrial drying system. *Entropy*, 22(6), 689.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Lonnie, M., Hooker, E., Brunstrom, J. M., Corfe, B. M., Green, M. A., Watson, A. W., Williams, E. A., Stevenson, E. J. Penson, S. and Johnstone, A. M.,** 2018, Protein for life: Review of optimal protein intake, sustainable dietary sources and the effect on appetite in ageing adults, *Nutrients*, 10(3), 360.
- Mammadov, A. ve Cılız, N.,** 2017, Yaşam döngüsü analizi: tanımı, amacı, sürdürülebilirlik kavramlarıyla ilişkisi ve sanayideki yeri, *Kalkınmada Anahtar Verimlilik*, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 29(345):4-9.
- Mann, N. J.,** 2018, A brief history of meat in the human diet and current health implications. *Meat Science*, 144, 169-179.
- Marinova, D. and Bogueva, D.,** 2019, Planetary health and reduction in meat consumption, *Sustainable Earth*, 2(1), 1-12.
- Martinelli, G., Vogel, E., Decian, M., Farinha, M. J. U. S., Bernardo, L. V. M., Borges, J. A. R. and Ruviano, C. F.,** 2020, Assessing the eco-efficiency of different poultry production systems: An approach using life cycle assessment and economic value added, *Sustainable Production and Consumption*, 24, 181-193.
- Mateos, G. G., Corrales, N. L., Talegón, G. and Aguirre, L.,** 2024, Pig meat production in the European Union-27: Current status, challenges, and future trends, *Animal bioscience*, 37(4), 755.
- Mejia, M., Fresán, U., Harwatt, H., Oda, K., Uriegas-Mejia, G. and Sabaté, J.,** 2019, Life cycle assessment of the production of a large variety of meat analogs by three diverse factories, *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 15(5), 699-711.
- Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y.,** 2012, A global assessment of the water footprint of farm animal products, *Ecosystems*, 15(3), 401-415.
- Meticulous Research,** ‘‘Alternative Protein Market by Stage/Type (Emerging Alternative Protein, Adolescent Alternative Protein, Matured Alternative Protein), Application (Plant-Based Products, Insect-Based Products, Microbial Products)-Global Forecast to 2027’’
<https://www.meticulousresearch.com/product/alternative-protein-market-4985> (2021) (Erişim tarihi: 7 Eylül 2024)

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Moumen, A., Azizi, G., Chekroun, K. B. and Baghour, M.,** 2016, The effects of livestock methane emission on the global warming: a review, *International Journal of Global Warming*, 9(2), 229-253.
- Mousavi, S., Kara, S. and Kornfeld, B.,** 2015, Assessing the impact of embodied water in manufacturing systems, *Procedia CIRP*, 29, 80-85.
- Mullee, A., Vermeire, L., Vanaelst, B., Mullie, P., Deriemaeker, P., Leenaert, T., De Henauw, S., Dunne, A., Gunter, M. J., Clarys, P. and Huybrechts, I.,** 2017, Vegetarianism and meat consumption: A comparison of attitudes and beliefs between vegetarian, semi-vegetarian, and omnivorous subjects in Belgium, *Appetite*, 114, 299-305
- Nadathur, S., Wanasundara, J. P. And Scanlin, L.,** 2016, Sustainable protein sources. Academic Press.
- Nawaz, M. A., Chung, G. and Golokhvast, K. S.,** 2023, The Genetics, Genomics, and Breeding of Cereals and Grain Legumes: Traits and Technologies for Future Food Security, *Agronomy*, 13(8), 2065.
- Nasiri, F., Aghbashlo, M. and Rafiee, S.,** 2017, Exergy analysis of an industrial-scale ultrafiltrated (UF) cheese production plant: a detailed survey, *Heat and mass transfer*, 53, 407-424.
- Navarro, J. C. A., Prado, S. M. C., Cardenas, P. A., Santos, R. D. and Caramelli, B.,** 2010, Pre-historic eating patterns in Latin America and protective effects of plant-based diets on cardiovascular risk factors, *Clinics*, 65(10), 1049-1054.
- Neff, R. A., Edwards, D., Palmer, A., Ramsing, R., Righter, A. and Wolfson, J.,** 2018, Reducing meat consumption in the USA: a nationally representative survey of attitudes and behaviours, *Public Health Nutrition*, 21(10), 1835-1844.
- Nunes, J., Da Silva, P. D., Andrade, L. P., Domingues, L. and Gaspar, P. D.,** 2016, Energy assessment of the Portuguese meat industry, *Energy Efficiency*, 9, 1163-1178.
- Nguyen, T. L. T., Hermansen, J. E. and Mogensen, L.,** 2010, Environmental consequences of different beef production systems in the EU, *Journal of Cleaner Production*, 18(8), 756-766.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Nguyen, T. T. H., Van der Werf, H. M. G., Eugène, M., Veyssset, P., Devun, J., Chesneau, G. and Doreau, M.,** 2012, Effects of type of ration and allocation methods on the environmental impacts of beef-production systems, *Livestock Science*, 145(1-3), 239-251.
- Orhan, M. F., Dincer, I. and Rosen, M. A.,** 2010, Exergoeconomic analysis of a thermochemical copper–chlorine cycle for hydrogen production using specific exergy cost (SPECOC) method. *Thermochimica Acta*, 497(1-2), 60-66.
- Ozgener, L. and Ozgener, O.,** 2006, Exergy analysis of industrial pasta drying process, *International Journal of Energy Research*, 30(15), 1323-1335.
- Ozilgen, M. and Sorguven, E.,** 2011, Energy and exergy utilization, and carbon dioxide emission in vegetable oil production, *Energy*, 36(10), 5954-5967.
- Paolotti, L., Rocchi, L. and Boggia, A.,** 2022, Environmental Assessment of the Fresh Sausage Transformation Process in the Italian Context: An LCA Study, *Environmental and Climate Technologies*, 26(1), 484-498.
- Pardoe, L.,** 2021, Raising the steaks: developing a market for alternative protein in the UK, *Social Market Foundation*, London, UK
- Pelletier, N.,** 2008, Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions, *Agricultural Systems*, 98(2), 67-73.
- Perez-Martinez, M. M., Noguerol, R., Casales, B. I., Lois, R. and 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.
- Peters, G.M., Rowley, H.V., Wiedemann, S., Tucker, R., Short, M.D. and Schulz, M.,** 2010, Red meat production in Australia: life cycle assessment and comparison with overseas studies, *Environmental Science and Technology*, 44(4), 1327-1332.
- Petri, E., Heigl, E. M., Fasolini, A., Zeilerbauer, L., Giovannucci, M., Küçükağa, Y. and Soavi, F.,** 2024, Conversion of biodigestate into activated carbon for electrochemical application: Process performance and life cycle assessment, *Carbon*, 226, 119221.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Phelps, L. N. and Kaplan, J. O.**, 2017, Land use for animal production in global change studies: Defining and characterizing a framework, *Global Change Biology*, 23(11), 4457-4471.
- Pimentel, D. and Pimentel, M.**, 2003, Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3), 660-663.
- Pison, G.**, 2022, World population: 8 billion today, how many tomorrow?, *Population & Societies*, 604(9), 1-4.
- Pitts, N. and Whitnall, T.**, 2019, Impact of African swine fever on global markets, *Agricultural Commodities*, 9(3), 52-54.
- Poore, J. and Nemecek, T.**, 2018, Reducing food's environmental impacts through producers and consumers, *Science*, 360(6392), 987-992.
- Rajaeifar, M. A., Tabatabaei, M., Ghanavati, H., Khoshnevisan, B. And Rafiee, S.**, 2015, Comparative life cycle assessment of different municipal solid waste management scenarios in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 886-898.
- Rajaeifar, M. A., Hemayati, S. S., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., and Mahmoudi, S. B.**, 2019, A review on beet sugar industry with a focus on implementation of waste-to-energy strategy for power supply, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 423-442.
- Ramirez, C. A., Patel, M. and Blok, K.**, 2006, How much energy to process one pound of meat? A comparison of energy use and specific energy consumption in the meat industry of four European countries, *Energy*, 31(12), 2047-2063.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T. and Pennington, D. W.**, 2004, Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications, *Environment international*, 30(5), 701-720.
- Rotz, C. A., Asem-Hiablue, S., Place, S. and Thoma, G.**, 2019, Environmental footprints of beef cattle production in the United States, *Agricultural systems*, 169, 1-13.
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N. and Shiina, T.**, 2009, A review of life cycle assessment (LCA) on some food products, *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1-10.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Roy, S.**, 2020, Ozone depletion and global environment, *Advances in Earth and Environmental Science*, 1(1), 1-5.
- Saerens, W., Smetana, S., Van Campenhout, L., Lammers, V and Heinz, V.**, 2021, Life cycle assessment of burger patties produced with extruded meat substitutes, *Journal of Cleaner Production*, 306, 127177.
- Saget, S., Costa, M., Santos, C. S., Vasconcelos, M. W., Gibbons, J., Styles, D. and Williams, M.**, 2021, Substitution of beef with pea protein reduces the environmental footprint of meat balls whilst supporting health and climate stabilisation goals, *Journal of Cleaner Production*, 297, 126447.
- Samad, A., Kumari, S., Hossain, M. J. and Alam, A. M. M.**, 2024, Recent Market Analysis of Plant Protein-Based Meat Alternatives and Future Prospect, *Journal of Animal & Plant Sciences*, 34(4).
- Schenk, P., Rössel, J. and Scholz, M.**, 2018, Motivations and constraints of meat avoidance, *Sustainability*, 10(11), 3858.
- Schneider, U. A., Havlík, P., Schmid, E., Valin, H., Mosnier, A., Obersteiner, M., Böttcher H., Skalsky, R., Balkovid, J., Sauer, T. and Fritz, S.**, 2011, Impacts of population growth, economic development, and technical change on global food production and consumption, *Agricultural Systems*, 104(2), 204-215.
- Schreuders, F.K., Dekkers, B.L., Bodnár, I., Erni, P., Boom, R.M. and van der Goot, A.J.**, 2019, Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation, *Journal of Food Engineering*, 261, 32-39.
- Schwingshackl, L., Schwedhelm, C., Hoffmann, G., Knüppel, S., Laure Preterre, A., Iqbal, K., Bechthold, A., De Henauw, S., Michels, N., Devleesschauwer, B., Boeing, H. and Schlesinger, S.**, 2018, Food groups and risk of colorectal cancer, *International Journal of Cancer*, 142(9), 1748-1758.
- Scott, A., Hernandez-Jover, M., Groves, P. and Toribio, J. A.**, 2020, An overview of avian influenza in the context of the Australian commercial poultry industry, *One Health*, 10, 100139.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Shammas, N. K., Wang, L. K. and Wang, M. H. S.,** 2020, Sources, chemistry and control of acid rain in the environment, In *Handbook of Environment and Waste Management: Acid Rain and Greenhouse Gas Pollution Control*, 1-26
- Sharima-Abdullah, N., Hassan, C.Z., Arifin, N. and Huda-Faujan, N.,** 2018, Physicochemical properties and consumer preference of imitation chicken nuggets produced from chickpea flour and textured vegetable protein, *International Food Research Journal*, 25(3), 1016-1025.
- Sheikhshoei, H., Dowlati, M., Aghbashlo, M. and Rosen, M. A.,** 2020, Exergy analysis of a pistachio roasting system, *Drying Technology*, 38(12), 1565-1583.
- Singh, G., Singh, P. J., Tyagi, V. V., Barnwal, P. and Pandey, A. K.,** 2019, Energy, exergy and exergoeconomic analysis of high temperature short time milk pasteurisation plant, *International Journal of Exergy*, 30(1), 26-62.
- Skunca, D., Tomasevic, I., Nastasijevic, I., Tomovic, V. and Djekic, I.,** 2018, Life cycle assessment of the chicken meat chain, *Journal of Cleaner Production*, 184, 440-450.
- Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A. and Heinz, V.,** 2015, Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(9), 1254-1267.
- Sorguven, E. and Ozilgen, M.,** 2012, Energy utilization, carbon dioxide emission, and exergy loss in flavored yogurt production process, *Energy*, 40(1), 214-225.
- Soufiyan, M. M. and Aghbashlo, M.,** 2017, Application of exergy analysis to the dairy industry: A case study of yogurt drink production plant, *Food and Bioproducts Processing*, 101, 118-131.
- Stoll-Kleemann, S. and Schmidt, U. J.,** 2017, Reducing meat consumption in developed and transition countries to counter climate change and biodiversity loss: a review of influence factors, *Regional Environmental Change*, 17(5), 1261-1277.
- Sulaiman, M. A., Oni, A. O. and Fadare, D. A.,** 2012, Energy and exergy analysis of a vegetable oil refinery, *Energy and Power Engineering*, 4, 358-364.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Sun, H., Xiao, Y., Liu, J., Wang, D., Li, F., Wang, C. and Liu, J.,** 2020, Prevalent Eurasian avian-like H1N1 swine influenza virus with 2009 pandemic viral genes facilitating human infection, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(29), 17204-17210.
- Taner, T. and Sivrioglu, M.,** 2015, Energy–exergy analysis and optimisation of a model sugar factory in Turkey, *Energy*, 93, 641-654.
- Tang, M., Miri, T., Soltani, F., Onyeaka, H. and Al-Sharify, Z. T.,** 2024, Life Cycle Assessment of Plant-Based vs. Beef Burgers: A Case Study in the UK, *Sustainability*, 16(11), 4417.
- Taylor, L. H., Latham, S. M. and Woolhouse, M. E.,** 2001, Risk factors for human disease emergence, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 356(1411), 983-989.
- Tilman, D. and Clark, M.,** 2014, Global diets link environmental sustainability and human health, *Nature*, 515(7528), 518-522.
- Tuomisto, H. L.,** 2019, The eco-friendly burger: could cultured meat improve the environmental sustainability of meat products?, *EMBO Reports*, 20(1), e47395.
- Van Mierlo, K., Baert, L., Bracquené, E., De Tavernier, J. and Geeraerd, A.,** 2022, Moving from pork to soy-based meat substitutes: Evaluating environmental impacts in relation to nutritional values. *Future Foods*, 5, 100135.
- Villanueva-Rey, P., Vázquez-Rowe, I., Arias, A., Moreira, M. T. and Feijoo, G.,** 2018, The importance of using life cycle assessment in policy support to determine the sustainability of fishing fleets: a case study for the small-scale xeito fishery in Galicia, Spain, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23, 1091-1106.
- Waheed, M. A., Jekayinfa, S. O., Ojediran, J. O. and Imeokparia, O. E.,** 2008, Energetic analysis of fruit juice processing operations in Nigeria, *Energy*, 33(1), 35-45.
- Wang, J., Okopi, S. I., Ma, H., Wang, M., Chen, R., Tian, W. and Xu, F.,** 2021, Life cycle assessment of the integration of anaerobic digestion and pyrolysis for treatment of municipal solid waste, *Bioresource Technology*, 338, 125486.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Wild, F., Czerny, M., Janssen, A. M., Kole, A. P., Zunabovic, M. and Domig, K. J.,** 2014, The evolution of a plant-based alternative to meat, *Agro FOOD Industry Hi Tech*, 25(1), 45-49.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S. and Murray, C. J.,** 2019, Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447-492.
- Wojdalski, J., Drózd, B., Grochowicz, J., Magryś, A. and Ekielski, A.,** 2013, Assessment of energy consumption in a meat-processing plant—a case study, *Food and Bioprocess Technology*, 6, 2621-2629.
- Woolhouse, M. and Gaunt, E.,** 2007, Ecological origins of novel human pathogens, *Critical Reviews in Microbiology*, 33(4), 231-242.
- Wurtsbaugh, W. A., Paerl, H. W. and Dodds, W. K.,** 2019, Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(5), e1373.
- Yay, A. S. E.,** 2015, Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya, *Journal of Cleaner Production*, 94, 284-293.
- Yıldız, M. ve Atış, E.,** 2023, Yaşam döngüsü analizi: teorik çerçeve ve tarıma uygulanması, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 60(2), 363-374.
- Yildirim, N. and Genc, S.,** 2017, Energy and exergy analysis of a milk powder production system, *Energy Conversion and Management*, 149, 698-705.
- Zisopoulos, F. K., Moejes, S. N., Rossier-Miranda, F. J., van der Goot, A. J. and Boom, R. M.,** 2015, Exergetic comparison of food waste valorization in industrial bread production, *Energy*, 82, 640-649.

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışma boyunca değerli katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Filiz İçier'e, tez çalışması sırasında değerli görüşleri ile katkıda bulunan tez izleme komitesi hocalarım; Doç. Dr. Gülen Yıldız Turp ve Prof. Dr. Yahya Tülek'e, daha sonra bana bütün çalışma boyunca her anlamda yardımcı olan Ar. Gör. Dr. Ömer Faruk Çokgezme'ye ve ayrıca çalışma sırasında beni destekleyen ve yardım eden Deniz Döner, Gamze Kor ve Burcu Anlı'ya, bu çalışmada emeği geçen ve yardımcı olan tüm Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği çalışan ve personeline ve her zaman yanımda olan ailem ve kıymetli arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

12 / 02 / 2025

Orhan Kaya

ÖZGEÇMİŞ

Orhan KAYA

Eğitim Durumu :

2016 – 2019 **Yüksek Lisans Eğitimi:** Ege Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü
Gıda Müh. A.B.D.

2011 – 2016 **Lisans Eğitimi:** Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü

Uluslararası alan endekslerinde yayımlanan makaleler:

1. Kaya, O. ve İçier, F., 2019, İndüksiyon ve Ohmik Isıtma İşlemlerinin Gıdalara Uygulanabilirliğinin Karşılaştırılması, Akademik Gıda, 17(1), 111-120.
2. İçier, F., Çokgezme, Ö. F., Döner, D., Bayana, D., Kaya, O., and Çabas, B. M., 2021, Mathematical modelling of vacuum ohmic evaporation process, Innovative Food Science & Emerging Technologies, 67, 102560.
3. İçier, F. and Kaya, O., 2022, Mathematical modeling of continuous induction heating of sour cherry juice, Journal of Food Process Engineering, 45(12), e14180.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceeding) basılan bildiriler :

1. İçier, F., Kaya, O., Bayana, D., Döner, D., Çokgezme, Ö.F. “Performance Analysis of a Novel Heat Exchanger ; Inductive Heater”, Yayın yeri: International Congress on Food Technology, Nevşehir, Turkey, Poster Presentation.
2. Göztok., S., P., Güler, H., Ö., Kaya, O., Çevik, M., Sabancı, S., Çokgezme, Ö. F., İçier, F. “Evaluation of the Quality Properties of Mint Samples Dried at Different Temperatures in Carbon Fiber Assisted Cabin Dryer”, Yayın Yeri: 1st International Congress on Medicinal and Aromatic Plants, Konya, Turkey, Poster Presentation.
3. Çokgezme, Ö., F., Bayana, D., Döner, D., Çevik, M., Kaya, O., İçier, F. “Mathematical Modelling of Microwave Heating of a Model Food in Finite Cylinder Geometry ” Yayın Yeri: 5th International ISEKI Food Conference, The

Food System Approach : New Challenges for Education, Research and Industry, Stuttgart, Germany, Poster Presentation.

4. Kaya, O., and İcier, F., “Heating Characteristics of Cherry Juice in an Inductive Heat Exchanger” Yayın Yeri: 6th International Conference on Thermophysical and Mechanical Properties of Advanced Materials, İzmir, Turkey, Oral Presentation

5. Kaya, O., and Çakaloğlu, B. “Sustainable Sources of Protein and the Potentials for Use in Alternative Meat and Meat Products” 3rd International Cukurova Agriculture and Veterinary Congress, Adana, Turkey, Oral Presentation

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan bildiri kitabında basılan bildiriler

1. Bayana, D., Kaya, O., Çokgezme, Ö.F., Çevik, M., İcier, F. “Elma Dilimlerinin Kızılötesi Işınım ile Kurutulmasının Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi” Yayın Yeri: 6. Gıda Güvenliği Kongresi, İstanbul, Türkiye, Poster Sunumu