



**TEKSTİL BOYAMA VE BASKI İŞLETMELERİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ
DEĞERLENDİRMESİ ÇALIŞMASI**

HAYAL OKTAY

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK

2023

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEKSTİL BOYAMA VE BASKI İŞLETMELERİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ
DEĞERLENDİRMESİ ÇALIŞMASI

HAYAL OKTAY

ORCID: 0000-0001-5225-8676

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ
Danışman: Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK

ŞUBAT-2023

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

TEKSTİL BOYAMA VE BASKI İŞLETMELERİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ ÇALIŞMASI

Hayal OKTAY

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK

Dokuma kumaşların baskı işletmesinde ve örme kumaşların boyahane işletmesinde geçtiği her bir işlem basamağının çevresel etkilerinin ortaya çıkarılması, çevresel etkiler açısından işlemler arasındaki kabul edilebilir farkların açığa çıkarılması, numunelerin çevresel etkilerinin çeşitli kumaş parametreleri ile ilişkisini incelemek amacıyla Trakya Bölgesinde faaliyet gösteren iki farklı firmaya ait boyahane ve baskı işletmelerinde fonksiyonel birimi 1 kg renkli kumaş olan toplam 11 adet kapıdan kapıya yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma, ISO 14044:2006 Çevre Yönetimi-Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi-Gereksinimler ve Kılavuzlar Standardına bağlı kalınarak, GaBi ts 9.5 profesyonel versiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Yaşam döngüsü envanteri birincil veriler, işletme raporları ve GaBi profesyonel veritabanından yararlanılarak oluşturulmuştur. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi CML2001-Ağustos 2016 etki metodolojisine göre yapılmıştır. Trakya Bölgesi yerel çevre sorunlarına gösterge oluşturması açısından çevresel etki kategorilerinden, asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.), ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.), insan toksosite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.), küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO₂eş.), fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C₂H₄eş.) seçilerek hassas nokta incelemesi yapılmıştır. Hassas nokta değerlendirmeleri sonucunda yumuşatıcı, elektrik, buhar, doğalgaz, reaktif boyarmadde, H₂O₂, NaOH ve soda girdilerinin farklı oranlarda kirletici kaynakları olduğu tespit edilmiştir. Kumaş parametreleri açısından gramaj ve elyaf cinsinin çevresel etki değerlerine kritik düzeyde etkisi olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Jet Boyama, Rotasyon Baskı, Pamuk Kumaş, Viskon Kumaş

ABSTRACT

A STUDY OF LIFE CYCLE ASSESSMENT IN TEXTILE DYEING AND PRINTING MILLS

Hayal OKTAY

Department of Textile Engineering

PhD Thesis

Supervisor: Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK

A total of 11 gate to gate life cycle assessments with a functional unit of 1 kg of colored fabric was carried at the two different dyeing and printing companies which are located in the Thrace Region. It was aimed to reveal environmental effects of each individual process which woven fabrics and knitted fabrics go through in a printing plant and a dyehouse, respectively. Plausible differences between consecutive stages of the entire manufacturing processes were analyzed in regard of environmental effects, and the significance of various fabric parameters on the environmental impacts of the samples was also investigated. The study was carried out with the professional version of GaBi ts 9.5, adhering to the ISO 14044:2006 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines Standard. The life cycle inventory was created using primary data, business reports and the GaBi professional database. The life cycle impact assessment was conducted according to the CML2001-August 2016 impact methodology. In consideration of local environmental problems of Thrace Region, the environmental impact categories were selected as acidification potential (AP-kg SO₂eq.), eutrophication potential (EP-kg PO₄⁻³eq.), freshwater aquatics ecotoxicity potential (FAETP-kg DCBeq.), human toxicity potential (HTP-kg DCBeq.), global warming potential (GWP100-kg CO₂eq.), photochemical ozone creation potential (POCP-kg C₂H₄eq.) and a hotspot examination for each individual process was also performed. As a result of hotspot examination, it was determined that softener, electricity, steam, natural gas, reactive dyestuff, H₂O₂, NaOH and soda are the most pollutant sources at different rates. It was also found that unit weight and fiber type have a critical effect on environmental impact values.

Keywords: Sustainability, Life Cycle Assessment, Jet Dyeing, Rotary Screen Printing, Cotton Fabric, Viscose Fabric

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
TEŞEKKÜR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tekstil Üretimi ve Sürdürülebilirlik.....	1
1.2 Literatür Özeti	3
1.2.1 Sürdürülebilirlik Kavramı	3
1.2.2 Sürdürülebilirlik Göstergeleri ve Araçları.....	5
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	11
2. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ.....	13
2.1 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Kapsamı	13
2.2 Tekstil ve Hazır Giyim Sektöründe Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi	21
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	29
3.1 Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	29
3.2 GaBi Yazılımı	31
3.3 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemi.....	32
3.4 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Sistem Sınırlarının Belirlenmesi.....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	37
4.1 Yaşam Döngüsü Envanterinin Oluşturulması.....	37
4.2 YDED Çevresel Etki Kategorilerinin Belirlenmesi	41
4.3 Model-1 Boyahane İşletmesinde Gerçekleştirilen YDED Çalışması	42
4.3.1 Model-1 YDED Sonuçları.....	42
4.3.2 Model-1 YDED Sonuçlarının Literatür ile Karşılaştırması	47
4.3.3 Model-1 Hassas Noktaların Belirlenmesi.....	52
4.3.3.1 Numune 1.1'in Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi.....	52
4.3.3.2 Numune 1.2'nin Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi.....	55

4.3.3.3 Numune 1.3'ün Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi	57
4.3.3.4 Numune 1.4'ün Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi	60
4.3.3.5 Numune 1.5'in Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi	63
4.4 Model-2 Baskı İşletmesinde Gerçekleştirilen YDED Çalışması	66
4.4.1 Model-2 YDED Sonuçları	66
4.4.2 Model-2 YDED Sonuçlarının Literatür ile Karşılaştırması	70
4.4.3 Model-2 Hassas Noktaların Belirlenmesi	71
4.4.3.1 Numune 2.1'in Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi	71
4.4.3.2 Numune 2.2'nin Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi	76
4.4.3.3 Numune 2.3'ün Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi	80
4.4.3.4 Numune 2.4'ün Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi	85
4.4.3.5 Numune 2.5'in Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi	90
4.4.3.6 Numune 2.6'nın Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi	94
4.5 Model-1 ve Model-2 YDED Normalizasyonu	98
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	108
5.1 Sonuçların Değerlendirilmesi	108
5.2 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	116
KAYNAKLAR	118
EK-1. MODEL-1 YAŞAM DÖNGÜSÜ ENVANTERİ	125
EK-2. MODEL-2 YAŞAM DÖNGÜSÜ ENVANTERİ	129
TEZDEN ÜRETİLMİŞ ESERLER	137

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Çeşitli ayak izi göstergeleri	5
Çizelge 1.2. Temiz üretim araçları	6
Çizelge 2.1. Bazı çevresel etki kategorileri örnekleri.....	17
Çizelge 2.2. Çeşitli YDED metodolojileri.....	18
Çizelge 2.3. Çeşitli YDD çalışmalarının karşılaştırılması.....	28
Çizelge 3.1. Model-1’de yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılan numuneler ve özellikleri..	29
Çizelge 3.2. Yaşam döngüsü değerlendirmesi modelleri, numuneler ve özellikleri	30
Çizelge 3.3. Karşılaştırması yapılacak numuneler	31
Çizelge 4.1. Model-1 ve Model-2 işlem girdilerinin kaynakları ve detayları	40
Çizelge 4.2. Model-1 numunelerinin küresel ısınma potansiyeli karşılaştırması.....	43
Çizelge 4.3. Model-1 numunelerini CML2001-Aug. 2016 çevresel etki metodolojisi kapsamında tüm etki kategorilerine göre karşılaştırma.....	46
Çizelge 4.4. Model-1 YDD sonuçlarının önceki çalışmalarla karşılaştırılması	47
Çizelge 4.5. Numune 1.1’in işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini.....	54
Çizelge 4.6. Numune 1.2’nin işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini.....	57
Çizelge 4.7. Numune 1.3’ün işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini.....	60
Çizelge 4.8. Numune 1.4’ün işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini.....	63
Çizelge 4.9. Numune 1.5’in işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini.....	66
Çizelge 4.10. Model-2 numunelerinin küresel ısınma potansiyeli karşılaştırması.....	67
Çizelge 4.11. Model-2 numunelerini CML2001-Aug. 2016 çevresel etki metodolojisi kapsamında tüm etki kategorilerine göre karşılaştırma.....	69
Çizelge 4.12. Numune 2.1’in işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini.....	76
Çizelge 4.13. Numune 2.2’nin işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini.....	80
Çizelge 4.14. Numune 2.3’ün işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini.....	85
Çizelge 4.15. Numune 2.4’ün işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini.....	89
Çizelge 4.16. Numune 2.5’in işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini.....	94
Çizelge 4.17. Numune 2.6’nın işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini.....	98

Çizelge 4.18. Model-1 numunelerinin çevresel etkilerinin normalize edilmiş değerleri 100

Çizelge 4.19. Model-2 numunelerinin çevresel etkilerinin normalize edilmiş değerleri 100



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Tekstil ve hazır giyim ürünlerinin yaşam döngüsündeki süreçler.....	3
Şekil 1.2. Sürdürülebilirlik kavramının kapsamı.....	4
Şekil 1.3. Sürdürülebilirlik yaklaşımları ve kapsamaları şematik gösterimi.....	8
Şekil 1.4. İskenderun endüstriyel simbiyoz örneği.....	9
Şekil 1.5. Evrensel olarak kabul görmüş bazı etiket örnekleri	10
Şekil 1.6. Örnek eko-etiketler.....	10
Şekil 2.1. Tipik bir YDD metodolojisi	14
Şekil 2.2. Yaşam döngüsü değerlendirmesi aşamaları	14
Şekil 2.3. Birim işlem detaylandırma	16
Şekil 2.4. CML metodolojisinin kapsadığı etki kategorileri ve izlediği yollar	20
Şekil 3.1. ISO 14044 bazında tezde uygulanan YDD yönteminin sistematik gösterimi.....	33
Şekil 3.2. Model-1 YDD sistem sınırları.....	34
Şekil 3.3. Model-2 YDD sistem sınırları.....	35
Şekil 4.1. Sistem sınırları.....	49
Şekil 4.2. Numune 1.1'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.).....	52
Şekil 4.3. Numune 1.2'nin çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.).....	55
Şekil 4.4. Numune 1.3'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.).....	58
Şekil 4.5. Numune 1.4'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.).....	61
Şekil 4.6. Numune 1.5'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.) (c)	

Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.).....	64
Şekil 4.7. Numune 2.1'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.).....	71
Şekil 4.8. Numune 2.1'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.).....	72
Şekil 4.9. Numune 2.2'nin çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.).....	77
Şekil 4.10. Numune 2.2'nin çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.).....	78
Şekil 4.11. Numune 2.3'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.).....	81
Şekil 4.12. Numune 2.3'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.).....	82
Şekil 4.13. Numune 2.4'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.).....	86
Şekil 4.14. Numune 2.4'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.).....	87
Şekil 4.15. Numune 2.5'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.).....	90
Şekil 4.16. Numune 2.5'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.).....	91
Şekil 4.17. Numune 2.6'nın çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.).....	95

Şekil 4.18. Numune 2.6'nın çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.).....	96
Şekil 4.19. Tüm numunelerin normalize edilmiş çevresel etki değerleri	101
Şekil 4.20. Pamuklu ve viskon boya numunelerinin HTP değerlerinin karşılaştırması	102
Şekil 4.21. Pamuklu ve viskon boya numunelerinin GWP100 değerlerinin karşılaştırması..	103
Şekil 4.22. Pamuklu ve viskon boya numunelerinin AP değerlerinin karşılaştırması	104
Şekil 4.23. Pamuklu ve viskon baskı numunelerinin GWP100 değerlerinin karşılaştırması .	105
Şekil 4.24. Pamuklu ve viskon baskı numunelerinin HTP değerlerinin karşılaştırması	106
Şekil 4.25. Pamuklu ve viskon baskı numunelerinin AP değerlerinin karşılaştırması.....	107
Şekil 5.1. Tüm numunelerin GWP100 değerleri	109
Şekil 5.2. Tekstil boyama ve baskı işlemlerinde incelenen çevresel etki kategorilerinin zarar verme potansiyeli olan alanlar ve bu etkiye yol açan kirletici kaynaklarının şematik gösterimi	115

SİMGELER DİZİNİ

cal	Kalori
cm ³	Santimetreküp
CO	Karbon monoksit
g	Gram
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit
kg	Kilogram
kg C ₂ H ₄ eş.	Kilogram Etilen Eşdeğeri
kg CO ₂ eş.	Kilogram Karbondioksit Eşdeğeri
kg DCB eş.	Kilogram Diklor Benzen Eşdeğeri
kg PO ₄ ⁻³ eş.	Kilogram Fosfat Eşdeğeri
kg Sb eş.	Kilogram Antimon Eşdeğeri
kg SO ₂ eş.	Kilogram Kükürt Dioksit Eşdeğeri
kV	Kilovolt
kWh	Kilovat saat
l	Litre
mg	Miligram
MJ	Mega Jule
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
NaOH	Sodyum hidroksit
Na ₂ CO ₃	Sodyum karbonat
NH ₃	Amonyak
ppm	Parts per million
R11 eş.	Freon Eşdeğeri
sa	Saat
sn	Saniye
t	Ton
%	Yüzde

KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Akım
ADP _{elements}	Abiyotik Elementlerin Tüketimi Potansiyeli
ADP _{fossil}	Abiyotik Fosil Tüketimi Potansiyeli
AKM	Askıda Katı Madde
AP	Asidifikasyon Potansiyeli
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CML	Centrum voor Milieuwetenschappen de Universiteit Leiden
CO	Cotton
CIRAIG	The International Reference Center for Life Cycle Assessment and Sustainable Transition
DE	Deutschland
EPA	The U.S. Environmental Protection Agency
EU-28	European Union (Avrupa Birliği)
FAETP	Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential (Tatlı Su Akuatikleri Ekotoksosite Potansiyeli)
GWP100	Küresel Isınma Potansiyeli
HTP	Human Toxicity Potential (İnsan Toksisite Potansiyeli)
ILCD	The International Reference Life Cycle Data System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
Aug	August
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LCI	Life Cycle Inventory
MAETP	Marine Aquatic Ecotoxicity Potential (Deniz Akuatikleri Ekotoksosite Potansiyeli)
Ne	Numara İngiliz
NOH	Nationaal Onderzoekprogramma Hergebruik van Afvalstoffen
NREL	National Renewable Energy Laboratory
ODP	Ozone Layer Depletion Potential (Ozon Tabakası Tüketimi Potansiyeli)
EP (ÖP)	Eutrophication Potential (Ötrofikasyon Potansiyeli)
PE	Polietilen

PET	Polietilen teraftalat
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential (Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli)
PL	Polonya
PLA	Polilaktik asit
PM	Particulate Matter
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SM	Standart Method
SKHKKY	Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
TETP	Terrestrial Ecotoxicity Potential (Karasal Ekotoksisite Potansiyeli)
TSS	Total Suspended Solid
UNEP	United Nations Environmental Programme
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
U.S.	United States
CV	Viskoz
WTO	World Trade Organization (Dünya Ticaret Örgütü)
WWTP	Waste Water Treatment Plant
YD	Yaşam Döngüsü
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
YDE	Yaşam Döngüsü Envanteri
YDED	Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının yűrűtűlmesi esnasında yardımlarını esirgemeyen deęerli DanıŐmanım Prof. Dr. H. Ziya ŐZEK'e, deęerli yorumları ve desteęi ile çalıŐmaya katkı sunan deęerli Tez İzleme Komitesi Őyesi Hocalarım Prof. Dr. Őule ALTUN KURTOęLU ve Dr. Őęr. Őyesi Umut BİLEN'e teŐekkűr ederim. Veri toplama aŐamasındaki Őzverili destekleri için Sayın Gizem ŐZBEK AM'a, Sayın Eray AKKUŐ'a, Trakya Bűlgesi'nde faaliyet gűsteren, çalıŐma için veri saęlayan firmalara ve yűneticilerine teŐekkűr ederim.

Hayal OKTAY

Tekstil Műhendisi

1. GİRİŞ

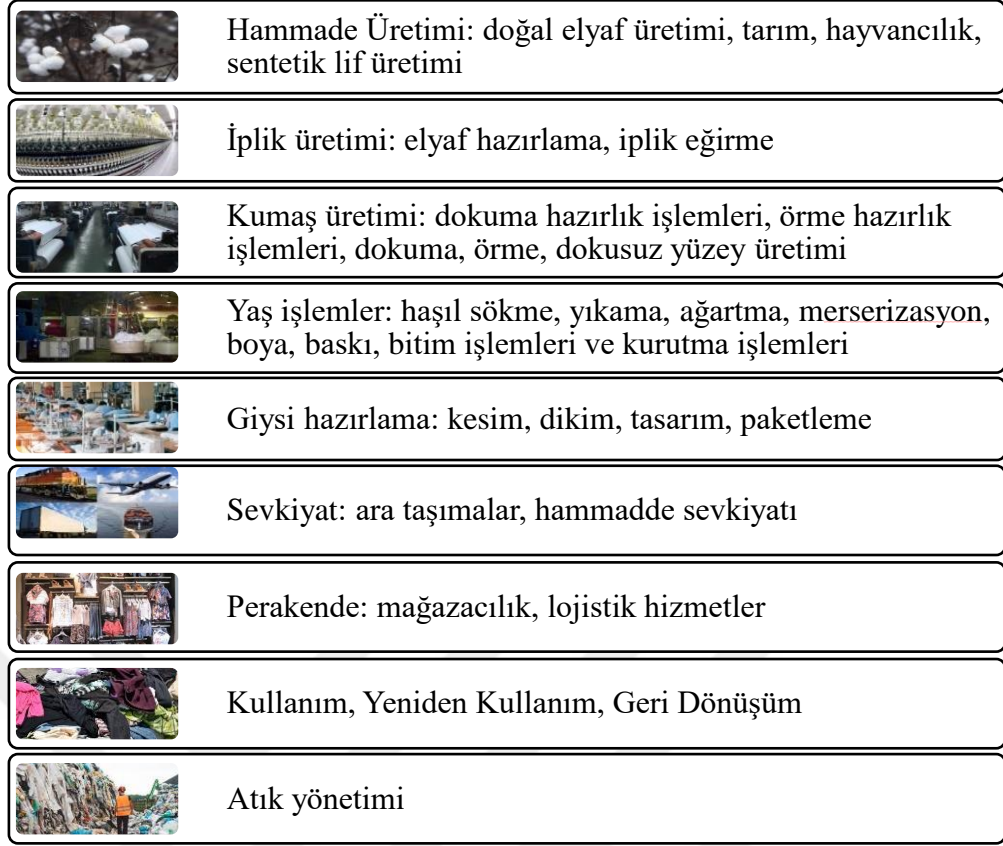
1.1 Tekstil Üretimi ve Sürdürülebilirlik

Tekstil hammaddelerinin üretimi ve işlenmesi, oldukça uzun ve karmaşık sayılabilecek dönüşüm süreçleriyle gerçekleşir. Temel hammadde olan doğal ve insan yapımı liflerin üretimi ve bunların kumaşa dönüşümü ile terbiye ve renklendirme işlemlerinde önemli miktarda kimyasal, su ve enerji tüketilmektedir. Kullanılan kimyasalların tüketimi itibariyle tekstil sektörü her bir süreçte çevresel sorunlara yol açan sektörlerin başında gelmektedir (Allwood, Laursen, Malvido de Rodríguez ve Bocken, 2006). Uzun yıllar boyunca tekstil ve giyim sektöründe ürün gelişiminin teknolojik ve kar odaklı yönlerine odaklanılmış ve sürdürülebilir üretim gerekliliği göz ardı edilmiştir. Son yıllarda markaların, resmi otoritelerin ve tüketicilerin de baskısıyla bu kar ve teknoloji odaklı gelişim anlayışı yerini daha sürdürülebilir üretim yaklaşımına bırakmaya başlamıştır.

Tekstil ve hazır giyim sektörü pandemi öncesi 2018 yılı verilerine göre toplam dünya ticaretinin %4,2'sini oluşturan önemli sektörlerden biridir. Türkiye tekstil ve hazır giyim sektörü, Dünya tekstil ticaretinin %3,8'ini oluşturmaktadır (WTO, 2019). Tekstil ve konfeksiyon sektörü, çoğu kadın olmak üzere dünya çapında 75 milyondan fazla doğrudan çalışanı olan 3 trilyon dolarlık bir hacme sahiptir. Tekstil son ürünleri, hammadde üretiminden giysi üretimine kadar birçok aşamadan geçmektedir. Bu üretim süreçleri büyük bir enerji yükü ile gerçekleştirilmekte, su, hava ve tarım arazileri kirliliği başta olmak üzere, çevreye zararlı pek çok etkiye yol açan sıvı, gaz ve katı atıkları içeren büyük bir atık yükü açığa çıkarmaktadır. Küresel atık suyun yaklaşık %20'si, sera gazı salımlarının da %8'e yakını tekstil sektörü tarafından üretilmektedir. Bu nedenlerle bu sektör, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli payı olan kilit bir sektördür (UNECE, 2017). EPA (2019) raporunda 2017 yılı verilerine göre sadece ABD'de 16,9 milyon ton tekstil atığı ortaya çıktığı gösterilmiştir. Bu, ABD'deki toplam katı atıkların %6,3'ünü oluşturmaktadır. Ortaya çıkan toplam atık, kompost, geri dönüşüm ve enerji kazanımı işlemleri için kullanıldıktan sonra dahi, toplam tekstil atığının %66,02'sine karşılık gelen, 11,15 milyon ton katı atık, depolama tesislerine bırakılmıştır. Bu miktar sadece son kullanıcıların katı atık tesislerine bıraktıkları atıklardan oluşmaktadır ve sanayi üretimini kapsamamaktadır (EPA, 2019). AB tekstil sektörünün yılda 16 milyon ton atık ürettiği tahmin edilmektedir. Bu atığın yaklaşık üçte ikisi çöp sahalarına atılmakta veya yakılmaktadır (RESYNTEX, 2017).

Dünya giyim sektöründe yaklaşık %23 oranında doğal lifler kullanılmaktadır. Doğal liflerin üretimleri sırasında dahi oldukça fazla miktarda kimyasal tüketimi gerçekleşmektedir. Kimyasal tüketiminin pamuk lifi üretimi esnasında oldukça yüksek miktarda gerçekleştiği ifade edilmektedir. Pamuk liflerinin üretimi dünya ekilebilir arazi kullanımının %3'ünü kapsamına rağmen, tüm tarımsal faaliyetler sırasında tüketilen kimyasalların %10'u ve insektisitlerin %25'ini oluşturduğu görülmektedir (Sweeny, 2015; UNECE, 2017; Fernandez, 2022). Tekstil pazarının giderek büyümesi ile 2020 yılında sentetik lif talebi 88,2 milyon ton, rejenere selüloz lif talebi 6 milyon tonun üzerinde ve doğal lif talebi 31,3 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (Fernandez, 2022; DNFI, 2022). Tekstil sektörü çevresel etkiler açısından, petrol sektörünün ardında ikinci sırada yer almakta ve küresel karbon emisyonunun %10'undan sorumlu olduğu gösterilmektedir (Conca, 2015). Tekstil ve hazır giyim sektörü kimya ve elektronik sektörleriyle birlikte çevreyi en çok kirleten sektörlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Tekstil sektörünün dünyaya bıraktığı atık miktarı 2011 yılı itibariyle 90 milyon tondur ve artan dünya nüfusu ile bu miktarın artmış olduğunu söylemek yanlış değildir. 1 kg giysi üretmek için 1,5-6,9 kg kimyasal kullanıldığı tahmin edilmektedir, yine 1 kg pamuktan 1 pantolon elde edilinceye kadar geçen süreçlerde 7000 ile 29000 litre arasında su harcadığı belirtilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde kişi başı tekstil tüketimi 1900'lü yıllarda 2 kg iken bu rakam 2010 yılında 10 kg'a kadar çıkmıştır. Dünya kişi başı ortalama tekstil tüketim miktarı 2021 yılında 14 kg olarak gerçekleşmiştir. Gelişmiş ülkelerin yer aldığı Kuzey Amerika, Avustralya ve Batı Avrupa'da kişi başı tüketimler sırasıyla 37, 27 ve 22 kg olarak gerçekleşmiştir. Tüm sektörler incelendiğinde de metal, kimya ve metal olmayan mineraller sektörleri en fazla enerji tüketen sektörlerken, tekstil sektörü, tekstil ve deri sektörünün toplamı olarak bakıldığında yedinci sırada gelmektedir (Grose, 2009; UNIDO, 2011; WTO, 2014; Adamkiewicz, Kochanska, Adamkiewicz ve Łukasik, 2022).

Tekstil sektörü hammadde üretim aşamasından giysi üretimine kadar çok karmaşık ve çoklu üretim aşamalarına sahiptir (Şekil 1.1.). Tekstil sektöründe sürdürülebilirliği sağlayabilmek için bu aşamalar sırasıyla incelenmelidir.



Şekil 1.1. Tekstil ve hazır giyim ürünlerinin yaşam döngüsündeki süreçler

Tüm bu aşamaların geçişleri esnasındaki taşıma ve tüketiciye ulaştıktan sonraki kullanım ve geri dönüşüm veya atık yönetimi de bu sürece dahil edilmelidir. Sürdürülebilir tekstil üretimi için tüm bu süreçlerin bütünsel olarak incelenmesi gerekmektedir.

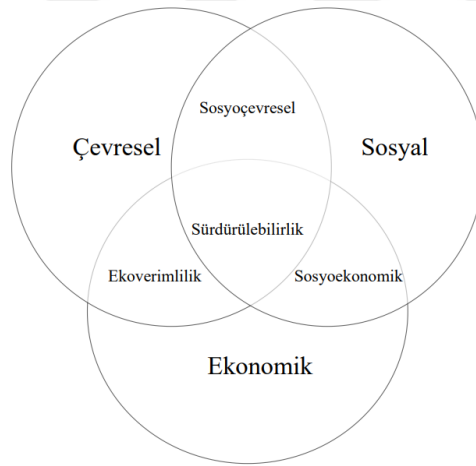
1.2 Literatür Özeti

1.2.1 Sürdürülebilirlik Kavramı

Sürdürülebilirlik kavramı günümüzde hemen hemen her alanda karşımıza çıkmaktadır. Dünya kaynaklarının hızla tükenmesi ve üretim şekillerinin çevreye verdiği zararlar göz önüne alındığında, insanlığın geleceğinin mevcut üretim ve tüketim şekilleriyle devam edebilmesi mümkün görünmemektedir ve yeni bir bakış açısı geliştirilmesi gerekmektedir. Buradan yola çıkarak ortaya atılan sürdürülebilirlik kavramının ilk kez kayda geçirilmesi Birleşmiş Milletler bünyesindeki Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 yılında yayımladığı "Ortak Geleceğimiz" Raporu ile gerçekleşmiştir (Ozek, 2017). Bu raporda sürdürülebilirlik kavramı 'Sürdürülebilir Kalkınma' olarak tanımlanmış ve 'İnsanlık, doğanın gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçları temin ederek, kalkınmayı sürdürülebilir kılmaya yeteneğine sahiptir.' şeklinde tariflenmiştir. Bu raporda insan

kaynaklı kirleticilerin artışının son 35 yıl içerisinde büyük bir hız kazandığı, iklim krizine neden olan sera gazı salımının %50'sinin endüstri gelişimi ile gerçekleştiği belirtilmektedir (World Commission on Environment and Development, 1987). 2007 yılında Birleşmiş Milletler'in Devletlerarası İklimsel Değişimler Paneli'nde (IPCC) bilim insanları, küresel ısınmaya en büyük katkının karbondioksit gaz salımlarından kaynaklandığını ortaya koymuş ve bu gaz salımındaki artışın tamamına yakınına da insanların sebep olduğunu vurgulamışlardır (IPCC, 2007).

Sürdürülebilirlik ürünlerde ya da süreçlerde entegre ve önleyici çevre stratejisinin sürekli uygulanması ile insan ve çevre üzerindeki risklerin azaltılmasını hedefler. Sürdürülebilirlik sağlamak demek çevre, insan ve ekonomi arasında denge oluşturmak demektir. Bazı kaynaklarda sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı sosyal, çevresel ve ekonomik faktörlerin yanı sıra teknoloji ve etik kavramlarını da dahil ederek 5 ana başlıkta incelenmesi gerektiğini söylese de temel olarak sosyal, çevresel ve ekonomik yaklaşımlar bu kavramın ana çerçevesini oluşturmaktadır (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Sürdürülebilirlik kavramının kapsamı (Kabir, Chakraborty, Hoque ve Mathur, 2019'dan düzenlenmiştir)

Sürdürülebilir bir gelişme doğrudan ekonomik, çevresel ve sosyal sistemlerin toplam dengesi ile alakalıdır. Ekonomik ve çevresel konuların bileşimi olan, iş sahası yaratmak gibi, sosyoekonomik yaklaşımlar, çevresel ve sosyal konuların ortak noktası olan doğal kaynakların tüketimi, günümüz ve gelecek nesillerin güvenliği ve sağlığı gibi sosyoçevresel konular ve ekonomik/sosyal alanların birleşimi olan en az çevresel etki yaratarak ve doğal kaynak tüketerek en yüksek değeri elde etme gibi konuları ele alan ekoverimlilik ile ilgili konular sürdürülebilirliğin çalışma alanlarıdır.

1.2.2 Sürdürülebilirlik Göstergeleri ve Araçları

Sürdürülebilirliğin somut olarak tanımlanabilmesi ve desteklenmesi için pek çok standart, sertifika, model, yöntem ve gösterge vardır. Temiz üretim, ekolojik üretim, ayak izi göstergeleri, iyi tarım uygulamaları, organik etiketler vb. kavramlar, sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyici girişimler olmakla birlikte, özellikle tekstil alanında benzer anlamda kullanılıyor olsa da aslında kapsamları ve nihai amaçları açısından oldukça farklı kavramlar oldukları için daha ayrıntılı ele alınmalarında yarar vardır.

Bunların başında gelen ve en çok başvurulan yöntem olan kavram, ayak izi kavramıdır. Ayak izi bir bireyin, toplumun, şehrin veya işletmenin faaliyetleri sırasında Dünya'ya verdiği zararın sayısal ifadesi olarak tanımlanabilir. Çevresel, toplumsal ve ekonomik ayak izi başlıkları altında çok çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Çeşitli ayak izi göstergeleri

Çevresel Ayak İzi	Karbon ayak izi, Su ayak izi, Enerji ayak izi, Salım ayak izi, Azot ayak izi, Arazi ayak izi, Biyoçeşitlilik ayak izi, Fosfor ayak izi, Balıkçılık ayak izi, İnsan ayak izi, Kimyasal ayak izi, Atık ayak izi
Toplumsal Ayak İzi	İnsan hakları ayak izi, Yozlaşma ayak izi, Yoksulluk ayak izi, İş ayak izi, Sağlık ayak izi
Ekonomik Ayak İzi	Finansal ayak izi, Ekonomik ayak izi
Kompozit Ayak İzi	Ekolojik ayak izi, Sürdürülebilir işlem indeksi, Sürdürülebilir çevre performans indikatörü

Literatürdeki çeşitli kaynaklardan derlenmiştir

Bunlardan en çok bilinen, kabul gören ve kullanılan gösterge aracı karbon ayak izi olmakla birlikte, bu konudaki tartışmalar ve bilimsel gelişmeler henüz sonuçlanmış değildir. Sürdürülebilirlik yaklaşımı ile bakıldığında sosyal, çevresel ve ekonomik konulardaki çalışma alanlarını kapsayan ve bu kapsamda modeller oluşturularak hesaplanan kompozit ayak izleri ve beşikten mezara bakış açısıyla yaşam döngüsü değerlendirmelerini (YDD) prensip edinen sürdürülebilirlik göstergeleri karşımıza çıkmaktadır.

Sürdürülebilirlik göstergelerinden temiz üretim kavramı, kirleticilerin oluşumunun kaynağında ve bütünsel tedbirlerle önlenmesi anlayışıdır. İlk kez 1996 yılında AB Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Direktifi (IPPC-Integrated Pollution Prevention and Control) ile 'Mevcut En İyi Teknik (MET) (BAT-Best Available Techniques) vasıtasıyla kirlilik önleme' den bahsedilerek temiz üretim kavramına vurgu yapılmıştır. Yirminci yüzyılın son

dönemlerinden bu yana tüketicilerin artan çevre bilinci ve farkındalığı ile ürünlerden ve üreticilerden beklentileri de değişmiştir. Tüketiciler, ürün kalitesi, fonksiyonellik, fiyat-performans ve tasarım beklentilerinin yanında, artık ürünlerin sağlığa zararlı olmaması, sosyal sorumluluk çerçevesinde üretilmiş olması ve çevreye zarar vermeden sürdürülebilirlik yaklaşımı ile üretilmiş olması gibi beklentilerle üreticilerin karşısına çıkmaktadırlar. Bunun karşısında üreticiler müşteri memnuniyetini sağlayabilmek için temiz üretim kavramını kabul etmek durumunda kalmışlardır. Temiz üretim kavramı ile yapılan üretim aynı zamanda üretim verimliliği, hammadde, su ve enerjinin etkin kullanımını da getirdiğinden bazı durumlarda maliyetlerdeki düşüşler sayesinde bu yaklaşıma karşı açık fikirli olmuşlardır. Yerel veya küresel atık yönetimi direktiflerine uyum açısından da hava, su, toprak kirliliğini önleme konusunda, atıklardan kaynaklanan maliyetlerin azaltılması potansiyeli de, üreticilerin bu eğilimine katkı sağlamıştır. Çevresel zararı önlemenin, çevreyi iyileştirme veya tekrar eski haline döndürme çalışmalarından çok daha ucuz ve çok daha etkili olduğu gerçeği, insan ve çevre üzerindeki riskleri en aza indirecek ürünlerin ve proseslerin kullanımı, örneğin toksik madde kullanmama, açısından yine üreticilerin eğilimlerini yönlendiren etkenlerdendir. Temiz üretimin göstergesi olan birçok teknik, yöntem ve analiz mevcuttur (Cılız, Daylan, ve Baydar, 2017) (Çizelge 1.2.).

Çizelge 1.2. Temiz üretim araçları

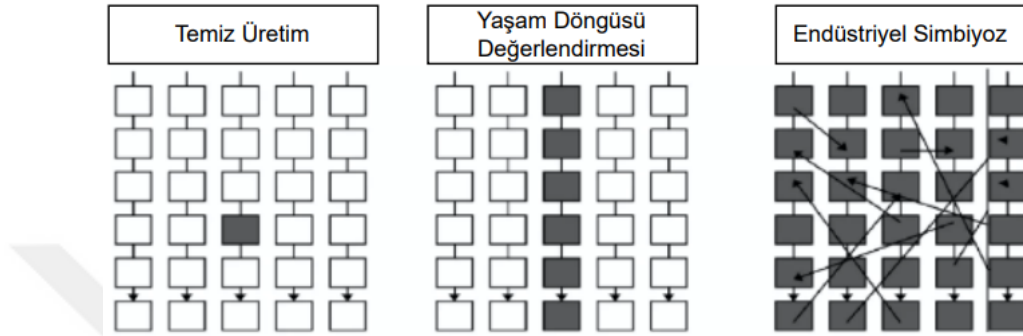
Temiz üretim araçları	Kullanım alanı
Atık denetleme (AD)	Kayıplar azaltılarak veya önlenerek proses verimliliği sağlanır.
Çevresel etki değerlendirme (ÇED)	Proje öncesi çevresel etkiler analiz edilip alternatiflerin değerlendirilmesi yapılır.
Enerji denetleme (ED)	Enerji türleri, miktarları ve kayıpları belirlenir.
Çevre yönetim sistemi (ÇYS)	Firmanın çevre yaklaşımına dair mevzuatlar doğrultusunda politikalarını belirlemesi sağlanır.
Kimyasal değerlendirme (KD)	İnsan ve çevreye en az zararlı kimyasalın kullanılmasına dair çalışmalarda kullanılır.
Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD)	Sınırlı kapsamıyla iyileştirmelerin denetiminde kullanılır

Bu yöntemlerden yaşam döngüsü değerlendirmesi sınırlı kapsamıyla temiz üretim denetleme aracı olarak sıklıkla kullanılmaktadır.

Tekstil ve hazır giyim sektörü üretim aşamalarında temiz üretim kapsamında atık azaltımı, geri dönüşüm, ürün modifikasyonu bakış açıları temelinde iyileştirilmeler yapılabilmektedir. Atık azaltımı kavramı, tekstil sektöründeki enerji kayıpları, katı ve sıvı olmak üzere çevreye zararlı atıkları ve hava emisyonları olmak üzere pek çok atığı kapsamaktadır. Temiz ve sürdürülebilir bir üretim için enerji ve malzeme kayıplarının

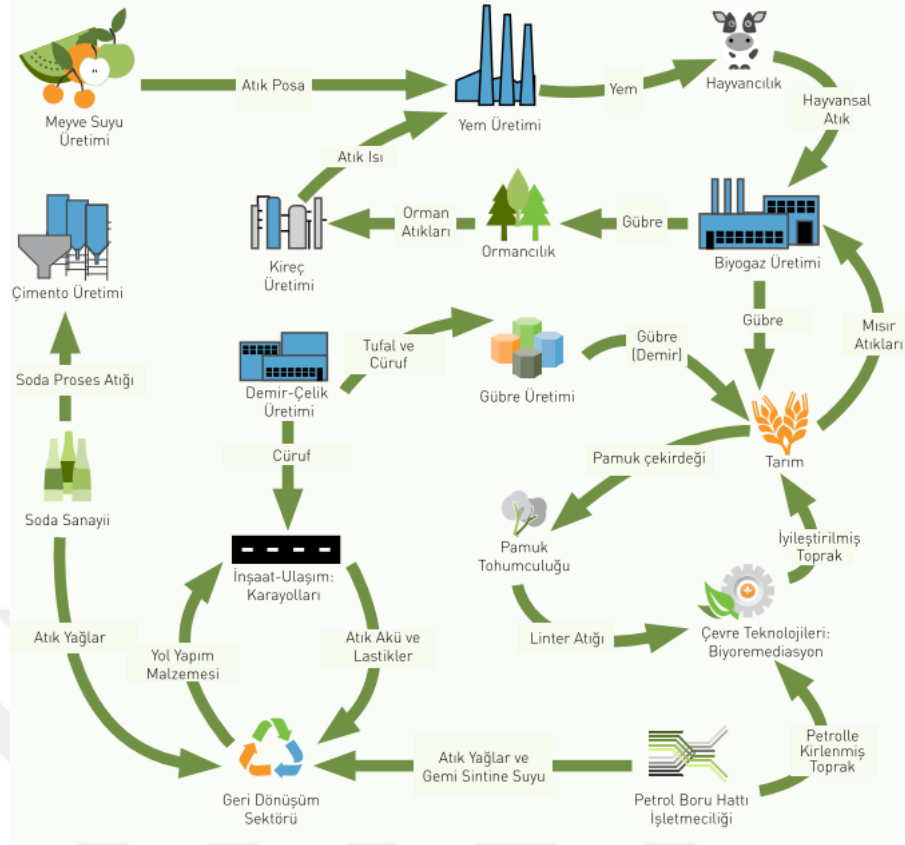
azaltılması ve/veya yok edilmesi gerekmektedir. Bunun için literatürde enerji, su, kimyasal kullanımını ve kayıplarını azaltma, organik hammadde kullanımını artırma, toksik salımlara neden olan malzemeleri azaltma, zararlı kimyasal gübre ve pestisit kullanımını kaldırma, ısı enerjisi kullanımını ve kayıplarını azaltma, ses ve toz kirliliğini azaltma, taşımaları azaltma, paketleme malzemesi kullanımını azaltma gibi başlıklar altında pek çok çalışma bulunmaktadır; (Gülümser, Akça ve Bahtiyari, 2009; Sefer, 2009; Hasanbeigi, 2010; Zhang, Shao, Yu, Yang ve Xu, 2014). Geri dönüşüm yaklaşımı azalan kaynakların varlığı ile önem kazanmaya başlamıştır. Yeniden kullanım da geri dönüşümün kapsamı içerisinde büyük önem kazanan kavramların başında gelmektedir. Enerji kaynaklarının ve hammaddelerin yeniden kullanımı veya çevreye zararlı çıktıkların geri dönüşümü için pek çok çalışma yapılmaktadır. Bunlar genel olarak su geri dönüşümü, kaynatıcılar, fırınlar ve saklama tanklarından çıkan gaz ve su buharının yeniden kullanımı, doğada bozunabilen veya geri dönüştürülmüş hammadde kullanımı, kumaş ve iplik atıklarının yeniden kullanılması, petrol kaynaklı atık sentetik liflerin kompozit takviye malzemesi olarak kullanılması, giysilerin geri dönüştürülmesi, bozunabilen veya geri dönüştürülebilen paketleme malzemeleri kullanılması başlıklarında incelenmektedir (Bartl, Hackl, Mihalyı, Wıstuba ve Marını, 2005; Elamri, Lallam, Harzallah ve Bencheikh, 2007; Altun, 2012; Sankauskaitė, Stygienė, Tumėnienė, Krauledas, Jovaišienė ve Puodžiūnienė, 2014; Sonaje ve Chougule, 2015). Shaikh ve Ahmad (2014) geri dönüşüm yaklaşımı ile açıklanabilen çalışmalarında, yıkama ve durulamada kullanılan atık suyun ozon ile işleme tabi tutulduktan sonra boyama işleminde yeniden kullanımı üzerine denemeler yapmışlardır. Atık suyun, boyama özelliklerinde herhangi bir bozulmaya neden olmadığı tespit edilmiş, 1 kg pamuklu bir kumaşın boyanması işleminde yaklaşık 100-150 kg temiz su kullanıldığı düşünüldüğünde, temiz su tüketimi oldukça azaltılarak çevreye duyarlı bir proses geliştirilmiştir. Ürün modifikasyonu yaklaşımı ile çevreye zarar veren proses ve hammaddeler yerine alternatif yöntemlerin geliştirilmesi hem ürünün değerini artırmaya hem de çevreye daha az zararlı proses geliştirilmesine olanak sağlayacak çalışmalar yapılmaktadır. Bu alanda da ürünlerin yaşam döngüsünü uzatmak, yavaş moda, koyu boyamaların azaltılması, boyarmadde fiksajının artırılması, doğal ve organik malzemelerin kullanımının artırılması, enzim kullanımının artırılması, alternatif yardımcı kimyasalların kullanımı, biyoenzimler, alternatif ön terbiye işlemlerinin yaygınlaşması, PAC, PVA, CMC gibi biyobozunur olmayan sentetik haşıl maddeleri yerine kitosan gibi alternatif haşıl maddelerinin kullanımı, alternatif boyama teknikleri, egaliz maddesi ve dispersiyon maddesi kullanımını azaltma başlıkları altında pek çok çalışma yapılmıştır (Höcker, 2002; Türkmen, 2009; Tüm Cebeci, 2013; Öner, Büyükakinci ve Sökmen, 2013).

Sürdürülebilirliğin bir alt başlığı olarak incelenebilen temiz üretim kavramı, bir ürünün üretim süreçlerinden sadece belli bir aşamasını kısıtlı anlamıyla ele alır. Buna ek olarak yaşam döngüsü değerlendirmesi ise beşikten mezara bir ürünün hammadde üretiminden atık yönetimine kadar olan aşamaları kapsayan kümülatif bir analizdir. Son yıllarda sürdürülebilirlik bakış açısıyla yaklaşıldığında ortaya çıkan bir diğer kavram da endüstriyel simbiyoz kavramıdır (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. Sürdürülebilirlik yaklaşımları ve kapsamları şematik gösterimi (Ulutaş, 2011)

Endüstriyel simbiyoz kavramı, birbirinden tamamen bağımsız da olsa, bir işletmenin atıklarının çıktısının, diğer bir işletmenin hammaddesi olması olarak tanımlanabilir. Atıkların faydalı bir biçimde yok edilmesinden yola çıkarak kendiliğinden endüstriyel simbiyoz örnekleri geliştirilebileceği gibi, bu amaç için belirli ve önceden planlanmış sektörlerin belirli bir alanda endüstriyel simbiyoz projesi kapsamında ortaklaşp aynı alanda kurulması da mümkündür. Tarihteki ilk endüstriyel simbiyoz uygulaması Danimarka'nın Kalundborg bölgesinde uygulanan Endüstriyel Simbiyoz uygulamasıdır. Bu bölgedeki uygulama planlı bir şekilde değil kendiliğinden işletmelerin ve paydaşların ortaklaşması ile ortaya çıkmıştır (Anonim, 2015; Anonim, 2015b). Programın sonucunda 2008 yılı sonunda 265.000 ton/yıl CO₂ emisyonu azaltımı, 2 milyon m³/yıl su geri kazanımı, 75.000 evin yıllık elektrik tüketimine eşdeğer olan 15 milyon GJ enerji değerinde proses buharı, 15 milyon m²/yıl alçı duvarına denk gelen alçı taşı kazanımı, 150.000 ton/yıl biyokütlenin gübreye dönüştürülerek, toplam gübre ihtiyacının %60'ınının sağlanması gibi çevresel ve ekonomik kazanımlar elde edilmiştir (TTGV, 2014). Türkiye İskenderun limanında gerçekleştirilen endüstriyel simbiyoz örneği ilk girişimdir, bu konudaki çalışmalar ve ortaklaşma olanakları araştırılmaya devam etmektedir (Şekil 1.4.).



Şekil 1.4. İskenderun endüstriyel simbiyoz örneği (TTGV, 2014)

Bu alandaki örnekteki en önemli çıktı olarak çevreye zarar veren bir taş ocağının kapanması anlamına gelecek proje çıktılarından bahsedilmektedir. Bu çalışmada demir/çelik üretimi atığı olan cürufun yol yapımında kullanılan agregaların yerine kullanılması, soda üretimi atığının çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılan kalker yerine kullanılması, meyve suyu fabrikasının posa atığının kireç fabrikasının atık gaz enerjisiyle kurutulması ve hayvan yemi bileşeni olarak elde edilmesi (1400 ton/yıl kazanımı), petrol boru hattının neden olduğu toprak kirliliğinin biyoremediasyonunda çığit ve linter atıklarının kullanılması (1000 ton/yıl ithal malzeme ikamesi), deniz ürünleri üretimi çıktıları olan istiridy ve salyangoz kabuklarının işlenerek toz yem katkı maddesi olarak kanatlı hayvan besiciliğinde değerlendirilmesi, mısır üretimi tarım atıkları ile küçük ve büyükbaş hayvancılık gübre atıklarının biyogaz üretimiyle enerji sektöründe yararlanılması veya gübre olarak değerlendirilmesi (9 milyon kWh/yıl enerji ve 5500 ton/yıl gübre kazanımı) söz konusudur (TTGV, 2014).

Çeşitli sertifikalar ve etiketler de sürdürülebilirlik göstergesi olarak kullanılmaktadır. Organik üretim, sosyal sorumluluk, adil ticaret, geri dönüşüm ve eko etiketler bu alanda yararlanılan ürün, üretim veya servis etiketleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkelerin kendi

bünyesinde oluşturduğu veya evrensel olarak kabul görmüş pek çok etiket standardı mevcuttur (Bayraktar, 2005; Kara, 2011; Balpetek ve Gülümser, 2014) (Şekil 1.5.).



Şekil 1.5. Evrensel olarak kabul görmüş bazı etiket örnekleri

Organik etiketleri, ürünün belirli oranlarda organik olarak üretildiğini, sosyal sorumluluk etiketleri, ürünün gelirlerinin bir kısmının yardımlaşma için kullanıldığını, adil ticaret etiketleri, üreticilere adil ödeme yapıldığını, geri dönüşüm etiketleri ise ürünlerin geri dönüştürülebilir olduğu ya da geri dönüşüm malzemelerinden üretildiğini gösteren etiketler olup tüketicilerin karar verme aşamalarında daha çok pazarlama stratejisi kapsamında ön plana çıkan etiketlerdir. Bu noktada eko etiket kavramı sürdürülebilirliğin göstergesi olmaya aday olarak bütünsel yaklaşımı ile diğer etiketlerden ayrılmaktadır. ‘AB Eko-Etiket’ sürdürülebilir tüketim ve üretim politikasının temel bir parçasıdır. Eko etiket kavramı 1992 yılında Avrupa Birliği Bakanlar Konseyi tarafından kabul edilen Eco-label yaklaşımını, 2009 yılından itibaren sürdürülebilir kalkınma stratejileri ile uyumlu hale getirmesiyle etiket kavramına yeni bir boyut kazandırılmıştır. Eko etiketleri diğer etiketlerden ayıran temel nokta ürünün tüm yaşam döngüsünü denetlemesidir. AB eko etiketinin temel farkı ise ürünün en iyi uygulama ve performans koşullarına da uyması gerekliliğidir. Bunun yanında Almanya’nın ‘mavi melek’ etiketi, Kuzey Avrupa’da yaygın olan ‘İskandinav Kuğu’ etiketi de Avrupa Birliği ülkelerinde kabul gören etiketlerdendir. Bunun yanı sıra Oeko-Tex, değişen tüketici taleplerinin karşılanması amacıyla, sürdürülebilirlik yaklaşımını temel alarak ürünlerin yaşam döngüsünü denetleyen ‘STeP’ etiketini çıkartmıştır (Bayraktar, 2005; Kara, 2011; Balpetek ve Gülümser 2014) (Şekil 1.6.).



Şekil 1.6. Örnek eko-etiketler

Günümüzde tüm bu sürdürülebilirlik göstergesi ve araçlarının içerisinde YDD, yaşam döngüsü aşamalarının genel çevresel yüke katkısını araştırmaya, ürünler ve süreçlerdeki iyileştirmelere olanak sağlamaya, karar vericilerin farklı ürünlerin tasarımı veya tüketimi aşamalarında karşılaştırma yapabilmelerine izin vermektedir. Bunun dışında tedarik zincirinin denetlenmesi, uluslararası ticarete artık gereklilik haline gelmesi ve diğer sürdürülebilirlik göstergelerinin oluşturulmasında da kullanılması açısından öne çıkmaktadır. Bu nedenlerle özellikle üretimin çevre ile ilişkisini incelemek için en çok tercih edilen sürdürülebilirlik araçlarının başında gelmektedir.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bir ürünün çevreye verdiği zararı açığa çıkarmak için, tasarım ve elyaf üretiminden atık bertarafına kadar olan tüm aşamalarının bütünsel olarak çevresel etkiler açısından incelenmesi gerekmektedir. Çoklu ve karmaşık tekstil üretim süreçleri içerisinde elyaf üretimiyle beraber çevreye olan etkileri açısından öne çıkan yaş işlem basamaklarının ayrıntılı biçimde incelenmesi gerekmektedir. Literatürde yaş işlem basamaklarını da kapsayan beşikten mezara çeşitli çalışmalar olmakla birlikte, özellikle baskı işlem basamağı için yeterli, şeffaf ve ayrıntılı araştırma tespit edilememiştir. Bu çalışma, baskı işlemlerinin çevresel etkilerinin açığa çıkarılması için önemli bir katkı sağlayacaktır. Bunun yanı sıra viskon lifinin üretimi ile ilgili yaşam döngüsü değerlendirmelerine ulaşmak mümkünse de, viskon kumaşların boyama ve diğer yaş işlem aşamaları için yeterli araştırma bulunmamaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında yaşam döngüsü envanterinin toplanması oldukça karmaşık bir süreçtir. Envanterin oluşturulması aşamasında girdi ve çıktıların şeffaf bir biçimde sunulmaması ve envanterin gerçek üretim verileriyle oluşturulmaması önemli problemlerin başında gelmektedir. Aynı zamanda yerel ya da ulusal verilerin ve çalışmaların yetersizliği, literatürün birbirinden beslenerek büyüdüğü bu alanda, çalışmaların artırılmasını gerekli kılmaktadır. Bu açılarıdan bakıldığında viskon kumaşın yaş işlemleri ve dokuma kumaşların baskı işlemlerinde yapılan bu araştırma özgün değer taşımaktadır. Bunun dışında kumaş parametrelerinin yaşam döngüsü etki değerlendirmesi sonuçlarına etkisinin, literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Trakya Bölgesi'nde gerçek işletme verileriyle gerçekleştirilen bir çalışma olması açısından Türkiye'deki tekstil üretimi ve ürünlerinin çevresel etkilerinin daha objektif analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın ana hedefi yerel değerlendirmelerin oluşturulması için bir çerçeve oluşturmak ve yapılacak olan gelecek çalışmalara katkı sağlamaktır.

Bu amaçla tez kapsamında, Trakya Bölgesinde faaliyet gösteren iki farklı firmaya ait boyahane ve baskı işletmelerinde sürdürülebilirlik odaklı bir üretim anlayışını tanımlayabilmek için, mevcut süreçlerin çevresel etkilerinin açığa çıkarılması ve iyileştirilmesine yönelik hassas noktaların tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda dokuma kumaşların baskı işletmesinde ve örme kumaşların boyahane işletmesinde geçtiği her bir adımın çevresel etkisinin ortaya konması, çevresel etki açısından işlemler arasındaki farkların açığa çıkarılması, ürünlerin çevresel etkilerinin çeşitli kumaş parametreleri ile ilişkisini incelemek amacıyla boyahane ve baskı işletmelerinde ürün bazlı kapıdan kapıya yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) yapılmıştır. Ürün odaklı yapılan bu çalışmanın çıktılarının, veri toplanan firmalara özgü çalışma koşullarından ve değişkenlerden kaynaklandığı ve yapılan yorumların genellenemeyeceği göz ardı edilmemelidir.

Tezin ikinci bölümünde yaşam döngüsü değerlendirmesinin tanımı, tarihçesi, ISO 14040 serisi standartlarına göre takip edilmesi gereken sistematığı ve yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED) metodolojileri açıklanmıştır. Bu bölümde ayrıca, tekstil ve hazır giyim sektöründe gerçekleştirilen YDD çalışmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümü olan malzeme ve yöntem bölümünde, ürün bazlı kapıdan kapıya YDD'lerin numune seçim prensipleri ve özellikleri açıklanmış, tezde kullanılan GaBi yazılımı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca çalışmanın yöntemi, kapsamı, fonksiyonel birimler, sistem sınırları, kapsam dışı bırakmalar bu bölümde açıklanmıştır. Dördüncü bölüm olan araştırma bulguları ve tartışma bölümünde, tez kapsamında oluşturulan yaşam döngüsü envanterlerinin (YDE) toplanma biçimleri, verilerin paylaşırma prensipleri, tez kapsamında kullanılan yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED) metodolojisi ve çevresel etki kategorilerine değinilmiş olup, YDED sonuçları ve bunların literatürle karşılaştırması verilmiştir. Bu bölümde aynı zamanda çevresel etki kategorilerinin işlem basamaklarına göre hassas nokta incelemesi yapılmış ve kirletici kaynakları açığa çıkarılmıştır. Beşinci ve son bölüm olan sonuç ve öneriler bölümünde çalışmanın genel değerlendirmesi yapılmış ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

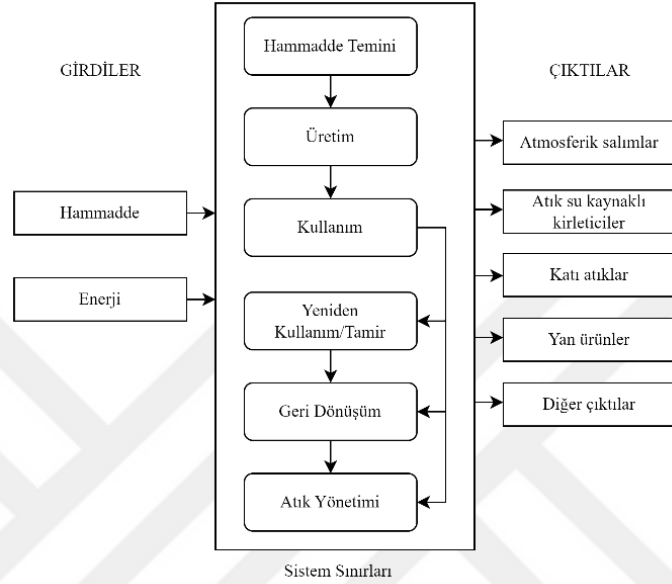
2. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

2.1 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Kapsamı

Yaşam döngüsü yaklaşımı hammaddelerin ve enerji kaynaklarının sınırlı olmasına dair endişeler nedeniyle gelecekteki kaynak ihtiyacını tahmin etmenin yollarını bulma konusunda, enerji kullanımını kümülatif olarak hesaba katmanın gerekliliğinin anlaşıldığı 1960'lı yıllarda başlamıştır. Harold Smith'in 1963'teki Dünya Enerji Konferansı'nda, kimyasal ara ürünlerin ve ürünlerin üretimi için kümülatif enerji gereksinimlerinin hesaplanması gerekliliğini bildirmesi sonrasında takip eden yıllarda fosil yakıtların hızla tükenmesi ve insan kaynaklı atmosfer ısınmasının yol açtığı iklimsel değişikliklere ilişkin tahminler, üretim süreçlerindeki enerji tüketimi ve çıktılarının daha ayrıntılı hesaplanmasına yönelik çok sayıda çalışma yürütülmüştür. 1970'li yıllarda ürünlerin kaynak ve enerji kullanımı ve sonucunda çevreye verdiği zararın etkilerinin araştırılmalarına yönelik çalışmalar ABD'de 'kaynak ve çevre profili analizi (REPA)', Avrupa'da 'eko denge' adları altında gerçekleştirilmiştir. (Vigon, Tolle, Cornaby, Latham, Harrison, Boguski, Hunt ve Sellers, 1993) Yaşam döngüsü yaklaşımının daha sistematik ve belirli standartlar çerçevesinde ele alınması 1980'li yıllarda gerçekleşmiştir.

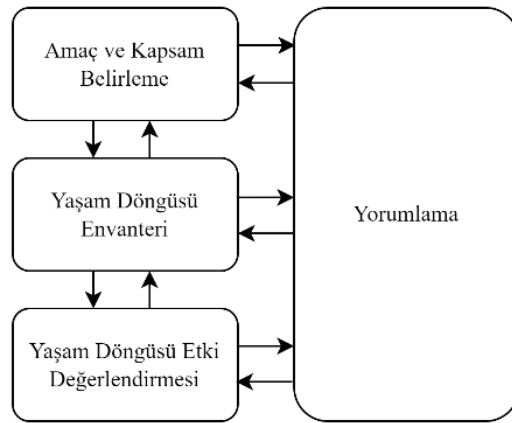
Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, kendi adı ve kapsamıyla 1980'li yıllarda geliştirilen ve günümüzde halen gelişme aşamasında olan, bir ürünün, hizmetin ya da üretimin, hammaddelerin elde edilmesi ve tasarım sürecinden başlayarak, ilgili tüm üretim, sevkiyat, kullanım ve kullanım sonrası atık bertarafını da kapsayan "beşikten mezara" tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel performansını tahmin etmek, raporlamak ve yönetmek için yaygın olarak kullanılan sürdürülebilirlik araçlarından biridir (IWTO, 2016; Demirer, 2017). Çevresel etkiler: iklim değişikliği, ozon tabakasındaki incelme, ötrofikasyon, asidifikasyon, toksik emisyonlar, doğal kaynak tüketimi vb. bakış açılarıyla değerlendirilir. YDD geleneksel çevresel etki değerlendirme araçlarından farklı olarak tasarım, hammadde eldesi, sevkiyat ve nihai bertaraf aşamalarını da ele alarak tüm sürecin çevresel etkisini ortaya çıkarmaya olanak sağlar. Bu bütüncül yaklaşım ve değerlendirme ürün veya sürece yapılacak modifikasyonların da çevresel etkilerini farklı senaryolar için karşılaştırma olanağı sunar. YDD bir ürün ya da hizmetin tüm yaşam döngüsünü ve bunların birbiriyle bağlantılarını bütüncül olarak değerlendirir. Bunun sonucunda değerlendirilmekte olan ürün ya da hizmetin "beşikten mezara" tüm süreçlerinde ortaya çıkabilecek her tür çevresel etki kümülatif olarak ortaya konmuş olur (Nieminen, Linke, Tobler ve Beke, 2007; Masanet vd., 2015).

Bir ürünün genel olarak yaşam döngüsü metodolojisi Şekil 2.1.'deki gibidir. Tipik bir YDD'de izlenecek metodoloji, YD'si oluşturulan ürün için kullanılan doğal kaynaklar, enerji, hammadde girdileri ve zararlı/zararsız emisyonlar, atıklar, ürün çıktılarının envanterinin çıkarılması ve bu envantere göre belirli etki metodolojileri kullanılarak çevresel etkilerin değerlendirilip sistematik olarak karşılaştırılıp sunulması şeklindedir.



Şekil 2.1. Tipik bir YDD metodolojisi (Vigon, vd., 1993'ten düzenlenmiştir)

YDD, amaç ve kapsam belirleme, yaşam döngüsü envanteri (YDE), yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED) ve yorumlama basamaklarından oluşacak şekilde 4 aşamada gerçekleştirilir (Şekil 2.2.)

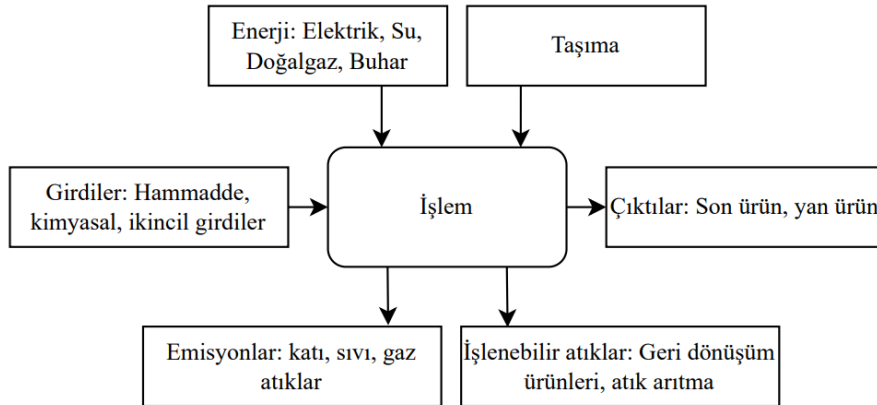


Şekil 2.2. Yaşam döngüsü değerlendirilmesi aşamaları (Masanet vd., 2015)

Amaç ve kapsam belirleme aşaması, YDD çalışmasının hedeflerinin, sınırlarının ve fonksiyonel birimlerinin belirlendiği aşamadır. YDD'nin son aşaması olan karar verme

sürecinde yararlı olacağı düşünülen bilgilerin türlerinin, sonuçların ne kadar kesin olması gerektiğinin, sonuçların anlamlı ve kullanılabilir olması için nasıl yorumlanması ve oluşturulması gerektiğinin belirlendiği aşamadır. Amacın belirlenmesi, çalışmanın kapsamını ve sınırlarını, kısıtlarını ve çalışmanın nihai sonucunu da belirleyeceğinden doğru bir şekilde ifade edilmelidir. YDD çalışmalarında temel amaç insan ve çevreye en az etkisi olacak ürün ve süreçleri belirlemektir. Ancak bunun yanı sıra; aynı kullanıma hizmet eden alternatif ürünlerin seçimi, mevcut süreçlerin çevresel etkilerinin açığa çıkarılması, mevcut süreçlerin çevresel etkilerinin iyileştirilmesi, bir sistemdeki ayrı ayrı proseslerin hangisinin daha çok enerji ve kaynak tükettiğinin belirlenmesi amaçlarıyla da yapılabilir. Çalışmanın amacı belirlendikten sonra YDD çalışması sonuçlarının ölçülebilir, kullanılabilir, karşılaştırılabilir ve yorumlanabilir olması için bir ürün ya da prosesi tanımlamaya yarayacak fonksiyonel birim dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. YDD'nin amacı aynı amaca hizmet eden 2 farklı ürünün karşılaştırılması olarak belirlendiyse, bu karşılaştırmanın yapılabilmesi için 2 farklı ürün için de seçilecek fonksiyonel birimlerin, tüketicinin ihtiyacını karşılayacak miktarlarda ve eş değer olması gerekmektedir. YDD ürünün veya sürecin genelde 4 aşamasını kapsar. Bunlar hammadde temini, üretim, kullanım/yeniden kullanım/bakım geri dönüşüm/atık yönetimi aşamalarıdır. Bu bağlamda YDD 'beşikten mezara' bir analiz yöntemidir. Ancak yaşam döngüsünün kapsamı, sınırları veya kısıtları nedeniyle ürün, hizmet veya sürecin belirli bir alanında kısmen de uygulanabilir. Karmaşık ve veri eldesi mümkün olmayan süreçler, iki farklı ürün veya süreci karşılaştırırken ikisi için de aynı olan adımlar, veri toplama sırasındaki zaman ve kaynak kısıtları nedenleriyle YDD kapsamı dışında bırakılabilir. Bu durumda hammadde elde edilmesi sürecinden fabrika kapısına sevkine kadar yani beşikten-kapıya, yaşam döngüsünün son aşaması olan geri dönüşüm aşamasında, atıklardan hammadde sağlanması söz konusu olduğunda beşikten-beşiğe, bir ürün veya sürecin tek bir aşamasının ele alındığı durumlarda kapıdan-kapıya da uygulanabilir. Kapsam belirleme, üretim basamaklarından hangilerinin YDD çalışmasına dahil edileceğine karar verildiği adımdır. Kapsam belirlenirken YDD'ye dahil edilmeyen süreçler çalışmanın bilimsel yapısını sarsmamalıdır. Örneğin aynı şekilde paketlenen viskon t-shirt ve pamuk t-shirt karşılaştırılmasında paketleme adımı dahil edilmeyebilir. Ancak paketleme malzemesinin tedarik edildiği firma dahi değişse yaşam döngülerinin farklı olduğu düşünülüp YDD'ye dahil edecek kadar da hassas yaklaşılmalıdır. Son ürünleri aynı olan 2 farklı süreç karşılaştırılıyorsa bu süreçlerden çıkan ürünlerin kullanım/atık yönetimi aşamaları analiz dışı bırakılabilir. Amaç, fonksiyonel birim, YDD sınırları, kısıtları ve kapsamı belirlendikten sonra ayrıntılı bir sistem akış şeması oluşturulmalıdır (Nieminen vd., 2007; Masanet vd., 2015; Demirer, 2017).

Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE) aşaması bir ürünün, sürecin veya hizmetin tüm yaşam döngüsü için ham madde ve enerji ihtiyaçlarını, atmosferik ve su emisyonlarını, katı atıklarını ve diğer çıktıları belirleyen bir süreçtir. Yaşam döngüsü akış diyagramını detaylandırma ve geliştirme, veri toplama planı oluşturma, veri toplama ve değerlendirme/raporlama süreçlerinden oluşur. Bu aşamada tüm yaşam döngüsü boyunca harcanan malzeme, enerji ve çevreye bırakılan kirleticilerin ayrıntılı listesi oluşturularak bunlar proses veya kategori bazında organize edilir. Genel yaşam döngüsünün her bir basamağı için ve her basamağın alt prosesleri için ayrı ayrı, detaylandırılarak toplanacak verilerin listesi oluşturulur. Örneğin bir t-shirt YDD'sinde yardımcı malzemelerin de (boncuk, çitçit, dikiş ipliği vb.) ayrı ayrı yaşam döngülerinin girdi ve çıktıları değerlendirilmelidir. Karşılaştırma amacıyla yapılan YDD'lerde bu detaylandırma farklı süreç ve ürünler için aynı hassasiyette yapılmazsa sonuçlar karşılaştırılmaz (Nieminen vd., 2007; Masanet vd., 2015; Demirer, 2017) (Şekil 2.3.). Yaşam döngüsü envanteri, veri toplama planı oluşturma basamağı, verilerin kaynak ve türlerinin belirlendiği aşamadır. Veri kaynakları, ölçüm ekipmanları, sektör veri raporları, veritabanları ve danışmanlar, laboratuvar test sonuçları, kamu kurumları ve ticaret ve sanayi odaları vb. sektör kurumları ve kuruluşlarının raporları, belge ve veritabanları, web siteleri, dergi, kitap, makale ve patentler, daha önce yapılmış yaşam döngüsü envanteri çalışmaları ve ticari yazılımlar gibi çok çeşitli kaynaklar olabilir.



Şekil 2.3. Birim işlem detaylandırma (ISO 14040/44'ten düzenlenmiştir)

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED), ürün/proses çıktıları ve tüketimleri ile bunun çevresel etkileri arasında bağlantı kurulduğu aşamadır. Farklı emisyon, girdi ve çıktıları sahip dolayısıyla farklı çevresel sorunlara neden olacak faaliyetleri karşılaştırma olanağı sağlanır. Örneğin sera gazı salımı yapan bir proses, küresel ısınmaya yol açabilir, ya da yüksek miktarda organik bileşik çıktısı olan bir proses sucul ortamda besiyeri artışına neden

olduğundan ötrofikasyonu artırır. Farklı envanter çıktılarının hangisinin hangi çevre zararına ve hangi düzeyde zarar vereceğini karşılaştırabilmek için YDED yapılması gerekir. Ürün/proses çıktıları ve tüketimlerinin sayısal verileri YDE’de toplanmıştır ancak bunların yorumlanabilir olması için karakterizasyon faktörlerinden yararlanmak gerekir. YDED, etki kategorilerinin seçilmesi, sınıflandırma, karakterizasyon, normalizasyon, gruplandırma, ağırlıklandırma, sonuçların değerlendirilmesi aşamalarından oluşur.

Çevresel etki kategorilerinin seçilmesi aşaması envanter çıktılarından hangi çevresel zararlara yol açtığı belirlendiği aşamadır. Çevresel etki kategorilerinin seçimi, çalışmanın amacına, yerel, ulusal ve küresel düzeyde yapılacak karşılaştırma ve değerlendirmelere göre oluşturulur (Nieminen vd., 2007; Masanet vd., 2015; Demirer, 2017) (Şekil 2.1.).

Çizelge 2.1. Bazı çevresel etki kategorileri örnekleri

Çevresel etki	Yol açtığı çevre sorunları
Küresel Isınma	Kutuplarda erime, toprakta nem kaybı, uzun mevsimler, orman kaybı/değişimleri, rüzgar ve okyanus hareketlerinde değişimler
Ozon tüketimi	Ultraviyole radyasyonda artış
Doğal kaynakların tüketimi	Gelecek nesiller için doğal kaynaklarda azalma
Fotokimyasal dumanlı sis	Görüş azalması, göz tahrişi, solunum sistemi ve akciğer tahrişi ve bitki örtüsü zararları
Asidifikasyon	Korozyon oluşumu, sucul ortamda asidifikasyon, bitki örtüsü azalması, toprak kirliliği
İnsan sağlığı	Hastalık ve ölüm oranında artış
Karasal Zehirlilik	Biyçeşitlilik ve doğal yaşamda azalma
Sucul Zehirlilik	Su bitkilerinde, diğer canlı türlerde, biyçeşitlilikte, balıkçılıkta azalma
Ötrofikasyon	Besiyer maddelerin (özellikle azot ve fosfor) göller, haliçler ve yavaş-hareket eden nehirler gibi sucul ortamlara ulaşarak, aşırı bitki büyümesine ve oksijen tüketimine yol açması.
Arazi kullanımı	Doğal yaşam için gerekli olan karasal yaşam alanı kaybı ve düzenli depolama alanında azalma
Su kullanımı	Mevcut yüzey ve yer altı su kaynaklarında azalma

Sınıflandırma aşamasında envanter verileri yol açtıkları çevresel etki kategorileri ile ilintilendirilir. Birden fazla çevresel etkiye yol açan veriler ilintili olduğu çevresel etki kategorilerinin her ikisi ile de ilişkilendirilir. Ancak bu çevresel etkiler birbiriyle ilişkiliyse veriler dağıtılır. Envanter verileri karakterizasyon (eş değerlik) faktörleri kullanılarak çevresel etkilerin birbirleriyle karşılaştırılabilmesini sağlayan etki göstergelerine dönüştürülür (2.1.).

$$\text{Etki Göstergesi} = \text{Envanter Verisi} \times \text{Karakterizasyon Faktörü} \quad (2.1.)$$

Küresel ısınma veya ozon tüketimi gibi bazı etki kategorilerinin sınıflandırılması için fikir birliği varsa da çevresel etkilerin karakterize edilmesi, normalizasyonu ve ağırlıklandırılması hakkında tartışmalar hala devam etmektedir ve farklı etki metodolojileri için araştırmalar devam etmektedir (Çizelge 2.2.). Normalizasyon etki kategorilerinin birbirleriyle karşılaştırılması için, etki göstergelerinin belirli referans değerlere bölünmesi, gruplandırma etki kategorilerini etki ettiği ölçüğe göre (küresel, bölgesel veya yerel) tanımlama, ağırlıklandırma ise ön plana çıkan etki kategorilerini belirleme aşamalarıdır.

Çizelge 2.2. Çeşitli YDED metodolojileri

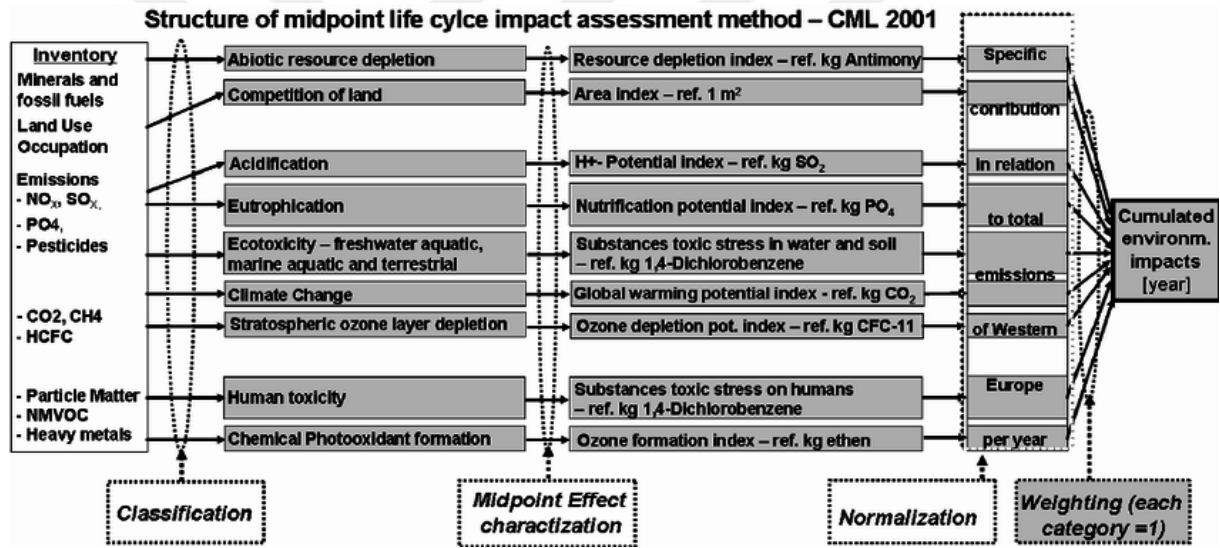
	YDED Metodolojisi	Kaynak Ülke	Geliştirici
Orta Nokta Yaklaşımı (Problem odaklı)	CML 2002	Hollanda	Leiden Üniversitesi
	EDIP2003	Danimarka	Danimarka Teknik Üniversitesi
	EDIP97	Danimarka	Danimarka Teknik Üniversitesi
	TRACI	ABD	Çevre Koruma Ajansı
	EF	AB	Joint Research Center
Son Nokta Yaklaşımı (Hasar odaklı)	Eco-indicator 99	Hollanda	NOH
	EPS 2000	İsveç	İşbirliği
	Ecopoints 2006	İsviçre	İşbirliği
	JEPIX	Japonya	İşbirliği
Kombine Yaklaşım	ReCiPe	Avrupa	İşbirliği
	LIME	Japonya	İşbirliği
	IMPACT 2002+	Avrupa	Fransa-İsviçre işbirliği
	LUCAS	Kanada	CIRAIG
Diğer Yöntemler	MEEuP	Hollanda	VHK danışmanlık
	EF (Ekolojik ayakizi)	İngiltere	Mathis Wackernagel (Doktora tezi)
	BEES	ABD	Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü
	USEtox	Küresel	SETAC/UNEP İşbirliği
	EDP (Ekosistem Zarar Potansiyeli)	İsviçre	İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü
	ILCD	Küresel	Joint Research Center
	CED/ CExD (Kümülatif enerji ihtiyacı)	İsviçre	Ecoinvent
IPCC AR5/AR6	Küresel	IPCC	

Yaşam döngü etki değerlendirmesi aşamasında kullanılan metodolojilerden CML metodu, sınıflandırma, karakterizasyon, normalizasyon ve değerlendirme adımlarını kullanan ilk metottur. 2001 yılında Hollanda'daki Leiden Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. CML metodu, ürünün neden olduğu çevresel etkinin ölçüsünü tahminlemek amacıyla kullanılan bir prosedürdür. Bu metodolojiye göre orta nokta göstergeleri ile problem odaklı yaklaşım benimsenmektedir (Hischier, Weidema, Althaus, Bauer, Doka, Dones, Frischknecht, Hellweg,

Humbert, Jungbluth, Köllner, Loerincik, Margni ve Nemecek 2010). CML2001-Aug. 2016'ya göre çevresel etki kategorileri; küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO₂ eşdeğeri), asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂ eşdeğeri), ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³ eşdeğeri), ozon tabakası tüketimi potansiyeli (ODP-R11 eşdeğeri), abiyotik elementlerin tüketimi (ADP_{elements}-kg Sb eşdeğeri), abiyotik fosil tüketimi (ADP_{fossil}-MJ), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCB eşdeğeri), insan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCB eşdeğeri), deniz akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (MAETP-kg DCB eşdeğeri), fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C₂H₄ eşdeğeri) ve karasal ekotoksosite potansiyeli (TETP-kg DCB eşdeğeri)'nden oluşmaktadır.

Çevresel etki kategorilerinin farklı yaklaşımlara sahip metodolojiler için ifadeleri ve yol açtıkları etkilerin karmaşaya yol açmaması için açıklanması gerekmektedir. Şekil 2.4'te metodolojinin temel prensibi verilmiş ve CML metodolojisi kapsamındaki çevresel etki kategorilerinin anlamları kısaca açıklanmıştır. Abiyotik elementlerin tüketimi potansiyeli (ADP_{elements}-kg Sb eşdeğeri) canlıları büyüme, bakım ve üreme açısından etkileyen fiziksel koşulları ve cansız kaynakların azalmasını ifade eder. Abiyotik elementler canlıların bulunduğu çevrede bulunan ışık, su, nem, toprak vb. mineral kaynaklardır. Bu kaynakların tüketimi canlılığın bitmesine yol açar. Abiyotik fosil tüketimi potansiyeli (ADP_{fossil}-MJ) ise fosil kaynakların tüketimini ifade eder. Küresel, bölgesel ve yerel olmak üzere çok yönlü etkileri vardır. Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂ eşdeğeri) asit gazlarının toprak, sucul ortam ve havada artışını ifade eder. Havadaki artış asit yağmurlarına, sucul ve karasal ortamdaki artış ise canlılar üzerinde toksik etkilere yol açar. Son aşamada biyoçeşitliliğin azalmasına yol açar. Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³ eşdeğeri), azot, fosfor içerikli bazı organik besiyeri işlevi gören maddelerin sucul ortamlarda aşırı artışını ifade eder. Bunun sonucunda özellikle sucul ortamlarda mikroorganizma patlamaları, aşırı bitki büyümesi gibi ortam oksijenini azaltan etkilere yol açar ve ekosistemin bozulmasına neden olur. Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCB eşdeğeri), tatlı su ekolojisinin bozulmasını ve toksik etki yaratacak şekilde kirleticilerin artışını ifade eder. Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO₂ eşdeğeri), insan kaynaklı doğalgaz, kömür vb. fosil kaynakların tüketilmesi nedeniyle atmosferin ısınmasını ifade eder. Kutuplarda erime, rüzgar ve okyanus hareketlerinde değişimler ve nihayetinde iklim krizine neden olur. Küresel ısınma potansiyeli-biyojenik karbon hariç (GWP100-kg CO₂ eşdeğeri), küresel ısınma potansiyeline biyojenik kaynaklı emisyonların dahil edilmediğini ifade eder. Biyojenik karbon emisyonları, biyolojik kaynakların yanması ve bozunması sonucunda ortaya çıkan emisyonlardır. İnsan toksisite

potansiyeli (HTP-kg DCB eşdeğeri), toksik maddelerin insan sağlığı üzerine etkilerini ifade eder. Hastalık ve ölüm oranında artışa neden olur. Deniz akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (MAETP-kg DCB eşdeğeri), deniz ekolojisinin bozulmasını ve toksik etki yaratacak şekilde kirleticilerin artışını ifade eder. Ozon tabakası tüketimi potansiyeli (ODP-R11 eşdeğeri), insan kaynaklı CFCs, HCFCs, klorin, bromin vb. emisyonların artışı ile ozon tabakasının incelmelerini ifade eder. Son aşamada ultraviyole radyasyonda artışa neden olur. Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C₂H₄ eşdeğeri), tarım ürünleri, insan ve ekosistem üzerinde olumsuz etkilere neden olan uçucu organik bileşikler gibi oksitleyici reaktif maddelerin artışını ifade eder. Karasal ekotoksosite potansiyeli (TETP-kg DCB eşdeğeri), toprak ekolojisinin bozulmasını ve toksik etki yaratacak şekilde kirleticilerin artışını ifade eder (Guinée, Gorrée, Heijungs, Huppes, Kleijn, Koning; Oers, Wegener Sleswijk, Suh, Udo de Haes, Bruijn, Duin, Huijbregts, 2001)



Şekil 2.4. CML metodolojisinin kapsadığı etki kategorileri ve izlediği yollar (European Commission, 2010a)

YDD yorumlama aşamasında tüm araştırmanın doğrulanması ve sonuçların değerlendirilmesi yapılır. Her ne kadar belirli standartlar ile düzenlenmiş olsa da çalışmanın sınırları, envanter oluşturma hassasiyeti, etki metodolojisi vb. seçimler araştırmacıya bırakılmış olması çeşitli belirsizlik ve kısıtları yanında getirmektedir. Bu nedenle YDE ve YDED sonuçları ile ilgili kesin ve ayrıntılı değerlendirmeler yapılmalıdır. YDED sonuçları, gerçek çevresel etkilerin tahminlerinden ziyade, çevreyle ilgili potansiyel etki göstergeleri olarak görülmelidir. Verilerin toplanma yöntemleri ve güvenilirliği ile ilgili takip edilebilir ve şeffaf açıklamalar yapılır. Çalışmanın amacına ve nihai sonucuna yönelik, envanter ve etki değerlendirmesi aşamalarının tutarlılığı ile ilgili ek çalışmalar yapılabilir. Çalışmanın kısıtları,

kapsam dışı bırakmalar ve veri toplama aşamasındaki belirsizlikler açık bir şekilde belirtilmelidir. Bazı durumlarda karar verme aşamasından önce iyileştirme yapıp yapılamayacağını kararı verilir (Nieminen vd., 2007; Masanet vd., 2015; Demirer, 2017).

2.2 Tekstil ve Hazır Giyim Sektöründe Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Literatürde, organik pamuk, konvansiyonel pamuk, yün, sentetik lifler, geri dönüştürülmüş lifler, biyobozunur lifler ve rejenere liflerin üretiminde beşikten kapağa veya belirli bitmiş ürünlerin beşikten mezara yaşam döngüsü değerlendirilmesi yapılan bir çok çalışma bulunmaktadır (Smith ve Barker, 1995; Kalliala ve Nousiainen, 1999; Cherrett, Barrett, Clemett, Chadwick ve Chadwick, 2005; Woolridge, Ward, Phillips, Collins ve Gandy, 2006; Shen, Worrell ve Patel, 2012; De Saxce, Pesnel ve Perwuelz, 2012; Van der Velden, Patel ve Vogtländer, 2014; Thylmann, Deimling, ve D'Souza, 2014; Alkaya ve Demirer, 2014)

Smith ve Barker (1995), %100 poliester örme kadın bluzu için beşikten-mezara yaşam döngüsü değerlendirilmesi yapmışlardır. Toplam enerji tüketiminin %82'sinin tüketiciye ulaştıktan sonra yıkama, kurutma ve ütü aşamalarında gerçekleştiği belirtilmiştir. Çalışmada geriye kalan enerjiden üretim aşamasında kullanılan toplam enerjinin %42,3'ünü hammadde üretimi kullanırken, ikinci sırayı %38,6 ile kumaş üretim aşamasının tükettiği belirtilmiştir. Açığa çıkan katı atıkların büyük bir çoğunluğunun konfeksiyon aşamasında açığa çıktığı ancak bu atıkların geri dönüşümünün mümkün olduğu belirtilmiştir. Son kullanıcıların katı atıklarının geri dönüşümünün gerçekleştirilmesinin daha büyük güçlükler çıkardığı ve bu konuda ek çalışmalar yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Toplam katı atık yükünün %38'inin tüketici sonrası olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra tüketicilerin değişen alışkanlıklarının sonuçları oldukça farklı etkileyebileceğine değinilmiş ve bu konuda ek çalışmalar yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Shen, Worrell ve Patel (2010), Viskoz, Modal ve Tencel liflerinin çevresel etkilerini incelemek, bunları poliester, polipropilen ve pamuk ile karşılaştırmak ve rejenere lif üretiminde hangi üretim sürecinin çevreye en çok zarar verdiğini belirlemek amacıyla 1 ton kesik elyaf fonksiyonel birim cinsinden beşikten kapağa bir YDD çalışması yapmışlardır. Çevresel etki kategorileri ve normalizasyon faktörleri CML metodu dikkate alınarak incelenmiştir. Sonuç olarak çalışmada kullanılan rejenere liflerin, çevresel etki kategorileri açısından PET, PP ve pamuktan daha iyi durumda olduğu gösterilmiştir. Asya viskoz lifinin diğer rejenere lifler içerisinde en kötü değerlere sahip olduğu ancak poliester ile karşılaştırılabilir olduğu

belirtilmiş. Pamuk liflerinin üretim aşamasında arazi ve su kullanımlarının çok yüksek olması ekotoksik etkisinin yüksek olması, ötrofikasyona yol açması nedeniyle kullanımı en az tercih edilmesi gereken lif olduğu vurgulanmıştır.

Shen vd. (2012) çalışmalarında yenilenemeyen enerji kaynakları kullanıldığında en fazla tüketimi poliester liflerinin yaptığını belirtmişlerdir. Bunu biyobozunur polietilen tereftalat (PET), polilaktik asit (PLA), geri dönüştürülmüş PET ve geri dönüştürülmüş biyobozunur PET izlemektedir. Sera gazı emisyonları incelendiğinde en yüksek değer poliester lifinde oluşmuştur. Biyobozunur PET'in sera gazı emisyon değerleri, PLA, geri dönüştürülmüş PET ve geri dönüştürülmüş biyobozunur PET'den daha yüksek tespit edilmiştir. Entegre tesiste üretilen rejenere selüloz liflerinin en düşük sera gazı emisyon değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Thylmann vd. (2014), organik pamuk ile konvansiyonel pamuk üretimlerini karşılaştırmış, 1000 kg lif başına organik pamuk üretiminin, küresel ısınma potansiyelini %46, asidifikasyon potansiyelini %70, ötrofikasyon potansiyelini %26, mavi su tüketimini %91, birincil enerji ihtiyacını %62 azalttığını belirtmişlerdir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen YDD çalışmalarında karşılaştırma olanağı açısından dokuma ve örme kumaşların boyama ve baskı işlemleri üzerine literatür incelemesi yapılmıştır. Bu konuda literatürde ürün ve üretim değişkenlerini baz alan ayrıntılı çalışmaların yeterli olmadığı görülmüştür. Genel olarak araştırmalar lif üretimi, yaş işlemler, tasarım ve kullanım aşaması üzerine yoğunlaşmakta, yaşam döngüsü beşikten mezara olarak raporlandırılmakta ise de özellikle dokuma kumaş ürünler ve baskı işlemleri üzerine spesifik ayrıntılandırılmış, açık ve tüm yaşam döngüsü aşamalarını kapsayacak çalışmalar sayıca azdır. Genel olarak, YDD'nin doğası gereği, veri güvenilirliği, yetersizliği, erişim güçlükleri, paylaşım aşamasındaki karmaşa gibi sebeplerle, kapsam dışı bırakma zorunluluğu neticede tüm yaşam döngüsü aşamalarını analize dahil etme imkanını kısıtlamaktadır. Bu da bir kez daha, literatüre ürün ve üretim değişkenlerini baz alan ayrıntılı çalışmaların eklenmesi gerekliliğini göstermektedir. Tezin bu bölümünde değişkenlerin daha net tanımlandığı ilgili çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Finlandiya'da otel tekstilleri üzerine bir yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada %100 pamuk, %50/50 CO/PES karışımı çarşaflık kumaşlar çevresel etkileri açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma hem üretim hem de kullanım aşamasındaki çevresel

etkileri incelemek için 3 büyük İskandinav yıkama firması ile birlikte yürütülmüştür. Yapılan analizler neticesinde pamuk iplik üretimi sırasında harcanan enerjinin, poliester üretiminden %40 daha düşük olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Ancak bunun yanında, dayanıklılık özelliği daha fazla olan CO/PES karışımı çarşafların, yaşam sürelerinin uzunluğu nedeniyle, %100 pamuk kumaşlardan daha düşük çevresel etkilere sahip olduğu belirtilmiştir (Kalliala ve Nousiainen, 1999)

Benzer sonuçlar elde edilen bir diğer çalışmada da, 8 farklı çarşafın yaşam döngüsü ve yaşam süresinin çevreye olan etkileri incelenmiştir. Farklı üretim ve kullanım koşulları ile birlikte 2 farklı elden çıkarma yönteminin de çevresel etkileri de analiz edilmiştir. Çalışmada, ‘bir yatağı kaplayan ve 1 sene boyunca bozulmayan çarşaf’ fonksiyonel birim olarak ele alınmıştır. Analiz edilen ürünün yaşam süresinin, kumaş kalitesini ve üretim biçimini etkilediğine vurgu yapılmıştır. YDD çalışmaları GaBi 4 yazılımı ve veritabanı kullanılarak yürütülmüştür. Çalışmanın dikkat çektiği iki nokta vardır. Bunlardan ilki; hızlı moda akımını takip eden tüketicilerin daha ucuz ürün alma eğilimidir. Bu durumun, üreticilerin daha düşük kalite ürün üretmesine, üretilen düşük kalite ürünlerin yaşam sürelerinin daha hızlı sonlanmasına, bunun sonucunda da ürünlerin çevresel etkilerinin artmasına neden olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada vurgulanan ikinci durum; daha uzun yaşam süresine sahip yüksek kalite ürün üretmek için daha fazla işlem, kimyasal ve dolayısıyla daha fazla enerji kullanıldığıdır. Bu da üretim biçiminden kaynaklı yüksek kaliteli ürünlerin çevresel etkileri arttırması sonucunu doğurduğu belirtilmiştir. Bu bakış açısıyla çalışmada, kolay bakım özelliği, dayanıklılık, üretim biçimi, hammadde gibi çevresel etkileri belirleyen kriterleri analiz ederek ve ürünlerin yaşam sürelerini bunların oransal olarak bir faktörü olarak açıklayarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Seçilen çarşaf örneklerinin yaşam süreleri kopma mukavemeti, aşınma dirençleri ve renk değişimleri karşılaştırılarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan 8 çarşafın her biri bezayağı dokuma olup, 115 g/m² ağırlığındadır. %100 pamuk ve %50-50 pamuk poliester karışımı, koyu veya açık renk, kolay bakım özelliği apresi uygulanan ve uygulanmayan, karde veya penye eğirme özelliklerine sahip ipliklerden üretilen kumaşlar kullanılmıştır. Çalışma beşikten mezara olarak tasarlanmış, makine bakımları, klima sistemleri, yaş işlemlerde makine yıkamaları, iplik bölümündeki lif geri dönüşümleri kapsam dışı bırakılmıştır. Çalışmada hava asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, abiyotik tüketim potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli çevresel etki kategorisi olarak seçilmiş ve karşılaştırılmıştır. Genel olarak en iyi sonuçlar en yüksek yaşam süresine sahip olan %100 pamuk, koyu renk, kolay bakım özelliğine sahip, taranmış iplikle üretilen örnekte tespit

edilmiştir. En kötü sonuçlar ise en kısa yaşam süresine sahip %100 pamuk, koyu renk, karde iplikle üretilmiş örnekte tespit edilmiştir. Sonuç itibariyle yaşam süresinin uzaması ile birlikte çevresel etkilerde azalma gözlenmiştir. Ayrıca çalışmanın sonuçlarında belirtilen bazı önemli noktalar sıralanmıştır. Poliester karışımı örneklerde kullanım sırasında ütüleme işleminden kaynaklı enerji tüketimi azaldığından çevresel etkilerde de düşüş gözlenmiştir. Ayrıca pamuk üretiminden kaynaklı su tüketimi, kimyasal tüketimi de PES üretiminde olmadığından ötrofikasyon potansiyelinde düşüş gösterilmiştir. Ancak PES üretimi sırasında yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı abiyotik tüketim potansiyelini artırmıştır. İplik üretiminde dikkat çeken nokta ise penye hattında üretilen ipliklerde kısa liflerin ayrılması sırasında aynı numara iplik üretmek için daha fazla lif tüketimi gerçekleşmekte, her ne kadar yaşam süresini uzatan mukavemette bir çıktı elde edilse de, kısa liflerin yeniden üretime katılması sağlanmadığı sürece bu, son aşamada çevresel etkilerin azaltılmasını sağlamamaktadır. Kolay bakım özelliği, ütüleme adımını ortadan kaldırdığı için, çevresel etkilerde ortalama %13 düşüşe neden olmuştur ancak asıl dikkat çekilen nokta kolay bakım özelliği için kullanılan çapraz bağlayıcıların belli sayıdaki bir yıkamadan sonra liflerin elastikliğinde azalmaya neden olacağından mukavemetlerde ve dolayısıyla yaşam sürelerinde düşüşe neden olacaktır. Bu nedenle kullanılan formülasyon yaşam süresine ve doğal olarak çevresel etkilere negatif yönde etki etmeye başlayacaktır. Tüketicilerin çarşafın yaşam süresinin bittiği ve artık atılması gerektiği kararı 3 farklı davranışla açıklanmış. Bunlar; çarşafın renginin solması, aşınması veya yırtılması ya da bunların her birinin birleşimi olarak gösterilmiştir. Kullanım sonu kriterinin ‘aşınma özelliği’ olduğu durumlarda en önemli üretim adımlarının kolay bakım özelliği, lif özelliği ve iplik üretim biçimi olmaktadır. Renk solması bir kriter olduğunda ise renk koyuluğu öne çıkmaktadır. Bu durumda açık renk kumaşlar çevresel etkiler açısından pozitif yönde öne çıkmaktadır. Bu çalışmada çarşafın fonksiyonu ön planda tutulduğundan aşınma özelliği yaşam sonu olarak belirlenmiştir (De Saxce vd., 2012).

Zhang, Liu, Xiao ve Yuan (2015), gramajı 200 g/m² olan %100 pamuk kısa kollu t-shirt için beşikten mezara YDD yapmışlardır. Çalışmalar, ISO 14040 standardı takip edilerek GaBi 6.0 yazılımında yürütülmüştür. Veri kaynakları birincil ve ikincil olmak üzere planlanmış, ulaşılamayan birincil veriler yerine, literatür verileri, otoritelerin istatistikleri ve çeşitli veritabanları ikincil veriler olarak belirlenmiştir. Birincil veriler saha araştırması yöntemiyle çeşitli fabrikalardan toplanmıştır. Çalışmada üretim yapılan fabrikalarla ilgili veya veri toplama ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmemektedir. Ayrıca kullanım aşaması için 924 Çinli tüketiciye yaptırılan anket birincil veri olarak kullanılmıştır. Çevresel etki metodolojisi için CML 2001

ve USEtox kullanılmıştır. Çevresel etki kategorileri, abiyotik tüketim, asidifikasyon potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli, fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, su kullanımı ve toksisite olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda pamuk üretimi, boyama, konfeksiyon ve kullanım aşaması çevresel etkilere neden olan başlıca faktörler olduğu ifade edilmiştir. Özellikle, pamuk yetiştiriciliğinde gübre, pestisit ve su kullanımı, kömür, boya ve yardımcı maddelerin boyamada kullanımı, üretimde elektrik kullanımı, yıkamada deterjan ve su kullanımı ve iplik üretiminde elektrik kullanımı etki analizinin dikkat edilmesi gereken kritik noktaları olduğu belirtilmiştir. Kullanım aşaması senaryo analizi aşamasında ise, makine ile yıkama, elektrikli kurutma ve ütüleme, elektrik tüketiminin en önemli bölümünü paylaşmakta olduğu açığa çıkarılmıştır. Bu konuda Amerikalı ve Çinli tüketicilerin kullanım ve bakım alışkanlıkları karşılaştırıldığında Çinli tüketicilerin daha az çevresel etkiye neden olduğu vurgulanmıştır. Tüketici davranışlarının farklı çevresel etkilere neden olduğu açığa çıkarılmıştır. Çalışma sonucunda kimyasal, su ve elektrik kullanımının en öncemli çevresel etki faktörü olduğu ve literatürle uyumlu olarak bu faktörlere dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmada örmenin dokumadan daha az çevresel etkisi olması dolayısıyla ve Çin üretimini temsil etmesi açısından örme t-shirt incelemesi yapılmış, genel olarak reaktif boya kullanımının yüksek olması nedeniyle bu boyarmadde cinsi incelenmiştir. Mevcut çalışmaların genelde ikincil YDE veritabanlarını ve literatür verilerini kullanmakta olduğu, bunun da Çinin üretimini yansıtmadığından yola çıkılarak Çin üretimini temsil etmesi açısından veri kalitesi iyileştirilmesi amaçlı yapılmıştır. Pamuk yetiştirmedeki ekim, toplama, çırçır aşamaları, kömür ve elektrik üretimi verileri Ecoinvent veritabanından alınmış olup Çin ortalama verileri kullanılmıştır. Boyarmadde ve yardımcı kimyasal verileri ise Avrupa ortalama verilerine dayandırılmıştır. Yine taşıma, dağıtım ve sevkiyat işlemleri verileri Google Maps ve Ecoinvent veritabanı kullanılarak oluşturulmuştur. Üretim aşamalarındaki veriler birincil veriler olup birebir görüşmelerle elde edilmiş, ulaşılamayan emisyon verileri literatürden tamamlanmıştır. Kullanım verilerinde, yıkama, ütüleme, kullanma sıklıkları ile deterjan kullanma alışkanlıkları gibi tüketici davranışlarını incelemek için anketlerden yararlanılmış, yıkama suyu kirleticileri konsantrasyonları, enerji ve su tüketimi gibi ortalama teknik verileri Çin Ulusal İstatistik Bürosu'ndan temin edilmiştir. Bunun dışındaki atık yönetimi, kullanılan kimyasalların üretim verileri gibi veriler tamamen Ecoinvent veritabanından elde edilmiştir. Çalışmada birincil veriler küresel değer kullanılarak paylaşılırken, veritabanlarından alınan pamuk üretimi ile ilgili veriler ekonomik değer üzerinden paylaştırılmıştır.

Sağlıklı veri toplama güçlüğü, ürünü veya üretimi temsil edebilecek veri kaynaklarına erişim, veri paylaşırma güçlükleri ve kapsam dışı bırakılan yaşam döngüsü aşamalarının sonucu kritik bir biçimde etkilemesi YDD çalışmalarının önündeki engellerden bir kısmıdır. Bu engeller herhangi 2 araştırmayı ya da belirli bir araştırma içerisinde herhangi 2 ürünü/süreci ideal olarak karşılaştırılabilir olmaktan uzaklaştırmaktadır. Literatürde YDD çalışmaları genel olarak ISO 14040 serisi standartların çizdiği çerçeve yapılmaktadır. Ancak YDD aşamaları ve dikkat edilmesi gereken noktalar kesin olarak belirtilmişse de bunların çalışmaya dahil edilip edilmeyeceği bu standardın kullanıcılarına bırakılmıştır. Bu standart sadece bir çerçeve çizmektedir. Veri toplama biçimleri, verilerin ikincil olarak kullanılıp kullanılmayacağı, hangi veritabanlarının kullanılacağı, hangi verilerin kapsam dışı bırakılacağı veya çalışmanın başında belirlenen ve tüm çalışmanın sonucunu belirleyen fonksiyonel birimlerin oluşturulması tamamen belirsiz bırakılmıştır. Bu da, literatürde farklı yorumlanmış araştırmaların karşımaza çıkmasına neden olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen çalışmalarda olduğu gibi Fransa'da yapılan bir çalışmada fonksiyonel birim, belirli bir denklem temeline oturtulan 'yaşam süresi' değer olurken, Çin'de yapılan bir araştırmada 'gramaj' olarak belirlenebilmektedir. De Saxce vd. (2012)'nin çalışmasında GaBi 4.0 yazılımını kullanılırken, devam eden senelerde güncellemesi yapılan yazılım, Zhang vd. (2015)'nin çalışmasında GaBi 6.0 sürümü olarak karşımaza çıkmaktadır. Her iki sürümde de bulunan Ecoinvent veritabanı güncellenmiş olup aynı çalışmanın yapılması durumunda dahi farklı sonuçların elde edilmesine neden olacağı bilinmeli ve yapılan çalışmaların veritabanlarının güncel versiyonları ile çalışılması gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır. Zhang vd. (2022), üretim verilerini birincil veri olarak kullansa da çalışmada bu konudaki veri toplama biçimleri ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmemiş, toplanan verilerin süresi, tarihi ve sayısı gibi envanter belirtilmemiştir. YDD çalışmalarının temelini oluşturan verilerin açık biçimde tanımlanması, ISO 14040 serisi standartlarında raporlama gerekliliğidir. Literatürde bu konuda ayrıntılı açıklama getirme bazı durumlarda eksik bırakılabilmekte bu da araştırmaların anlaşılması konusunda güçlük çıkarmaktadır. Yine de literatür araştırması yapılırken yayınların, YDD raporu olarak değerlendirilemeyebileceği düşünülebilir. De Saxce vd. (2012) ise üretim verilerinin yanısıra reçetelerin oluşturulması için MET dökümanlarını ve veritabanlarını ikincil veri olarak kullanmıştır. Burada çalışmalardan tam olarak sonuç çıkarmak yanıltıcı olabilse de, üretim girdileri için su, enerji ve kimyasal tüketimlerinin kullanıldığı düşünülebilir. Her iki çalışmada da etki kategorisi metodolojisi olarak CML2001 seçilmiştir. Bunun nedeni bu metodolojinin Avrupa Birliği ülkeleri içinde ve

Birlik ile ticaret yapan ülkelerin ürün ve süreçlerinin tanımlanmasına olanak sağlamasıdır. Kimyasal, enerji vb. girdi üretimleri ikincil veri olarak kullanılmış bunun için de yine yazılım verileri, literatür, istatistikler, raporlar vb. yararlanılmıştır. Her iki çalışmada da makine bakımları, satın almaları, yedek parça, üretim esnasında yapılabilecek potansiyel geri dönüşümler, havalandırma sistemleri, sistem sınırları dışında bırakılmıştır. Kapsam dışı bırakma ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmemiş yalnızca etki etmediği belirtilmiştir. Bahsedilen çalışmalarda taşımalar yine veritabanlarından ikincil veri olarak kullanılmıştır. Her iki çalışma her yönden birbirinden farklı çalışmalar olup, etki analizi sonuçlarının karşılaştırılması mümkün olmasa da, burada çıkan sonuçlardan küresel ısınma potansiyelleri karşılaştırıldığında, 115 g/m²'lik koyu renk, kolay bakım işlemi yapılmış %100 pamuk çarşaflık bir kumaşın çevresel etkisi, 1 adet 200g/m²'lik t-shirt'ün yaklaşık yarısı kadardır. T-shirt üretimi için bahsedilen küresel ısınma potansiyelinin büyük bir çoğunluğunun boyama işlemi sırasındaki kömür tüketimi (%34,79) ve konfeksiyon adımındaki elektrik tüketiminden (%31,96) kaynaklandığı belirtilmiştir. Çalışmaların birbirinden oldukça farklı kapsamlarda oluşturulabileceğinin ve sonuçlar çıkarabileceğinin gösterilmesi için Çizelge 2.3.'te bazı YDD çalışmalarının prensiplerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 2.3. Çeşitli YDD çalışmalarının karşılaştırılması

Çeşitli YDD çalışmaları	De Saxce vd., 2012	Zhang vd., 2015	Yacout, Abd El-Kawi ve Hassouna, 2016	Murugeshe ve Selvadass, 2013	Şener Fidan, Kızılkaya Aydoğan ve Uzal, 2022
Fonksiyonel birim	1 yatağı kaplayan ve 1 sene boyunca bozulmayan dokuma çarşaflık kumaş	%100 pamuk kısa kollu örme t-shirt	1 kg akrilik lifi	1 ton 2/40's %100 organik pamuk süprem örme kumaş	Ortalama ağırlığı 0,67 kg olan, Türkiye'de üretilen ortalama beden denim pantolon
Yaşam döngüsü kapsamı	beşikten mezara	beşikten mezara	beşikten kapıya	kapıdan kapıya	beşikten mezara
Hammadde üretimi	+	+	+	-	+
İplik üretimi	+	+	-	-	+
Kumaş üretimi	Dokuma	+	-	-	+
	Örme	-	+	-	-
Yaş işlemler	Haşıl sökme	+	-	-	-
	Ön işlem	+	-	-	-
	Ağartma	+	-	-	+
	Boyama	+	+	-	+
	Bitim işlemleri	+	-	-	+
	Kurutma	-	-	-	+
Konfeksiyon	+	+	-	-	+
Paketleme	-	-	-	+	+
Dağıtım	-	+	-	+	+
Kullanım	+	+	-	-	+
Atık yönetimi	Geri dönüşüm	-	-	+	-
	İmha	+	+	-	+
	Yeniden kullanım	-	-	-	-
Veri kaynakları	Birincil veriler*, Ecoinvent veritabanı, MET dökümanları, literatür ve raporlar	Birincil veriler, anketler, Ecoinvent veritabanı, PE International veritabanı, literatür, Çin Ulusal İstatistik Bürosu	Birincil veriler, Industry data 2.0 veritabanı, IDEMAT 2001 veritabanı, Ecoinvent veritabanı, literatür	Birincil veriler, SimaPro veritabanları, literatür verileri	Birincil veriler*, Ecoinvent V.3.7.1.veritabanı, literatür, birebir görüşmeler
YDED metodolojisi	CML2001 ve USEtox	CML2001	Eco-indicator 99	Impact 2000+	CML-IA
Kullanılan yazılım	GaBi 4.0	GaBi 6.0	SimaPro 7.1	SimaPro 7.3.2-developer version	Simapro 9.2.02 software-PhD version

*Birincil veriler üretimden toplanmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Malzeme Özellikleri

Tez kapsamında örme kumaş boyahane işletmesinde 5 adet, dokuma kumaş baskı işletmesinde 6 adet olmak üzere toplam 11 farklı numunenin kapıdan kapıya yaşam döngüsü değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.1’de örme kumaş boyahane işletmesinden, Çizelge 3.2’de dokuma kumaş baskı işletmesinden elde edilen verilerle oluşturulan yaşam döngüsü değerlendirmelerinde kullanılan numunelerin özellikleri ve kısaltmaları birlikte verilmiştir. Boyahane işletmesinde yapılan çalışmalar için Model-1, baskı işletmesinde yapılan çalışmalar için Model-2 tanımı kullanılmıştır. Tezin bundan sonraki bölümlerinde boyahane işletmesinde yapılan YDD, YDE ve YDED’ler ilgili kısaltmalarla anılmaktadır. Her iki model kapsamında numuneler belirlenirken kumaş örgü yapısı, elyaf cinsi, gramaj ve renk kumaş parametresi olarak seçilmiştir. Bu parametrelerin çevresel etkilere olan katkısını incelemeye olanak sağlayacak şekilde farklı özellikte numuneler belirlenmiştir. Numunelere ait envanter kapsamı ve oluşturma aşamaları her bir numuneye özgü olacak şekilde oluşturulmuş ve ayrıntıları envanterde belirtilmiştir. Model-1 kapsamında incelenen numunelerin tümü trikromi boyamalarla elde edilmiş renkli kumaşlardır. Model-2 kapsamında incelenen numunelerin baskı renk sayıları Çizelge 3.2.’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Model-1’de yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılan numuneler ve özellikleri

Örme Kumaş Boyahane İşletmesi (Firma-1/Model-1)					
Numune İsimleri	Numune 1.1	Numune 1.2	Numune 1.3	Numune 1.4	Numune 1.5
Kumaş Yapısı	Örme	Örme	Örme	Örme	Örme
Örgü Yapısı	Süprem	Süprem	Süprem	Süprem	İnterlok
Elyaf Cinsi	%100 CO	%100 CO	%100 CO	%100 CV	%100 CO
İplik Numarası (Ne)	20/1	30/1	30/1	30/1	30/1
Kumaş Gramajı (g/m²)	190	150	150	200	250
Kumaş Eni	180	185	185	185	165
Renk	Açık mavi	Açık mavi	Koyu haki	Açık mavi	Açık mavi
Renk Sayısı	3	3	3	3	3
Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi	YDD 1.1	YDD 1.2	YDD 1.3	YDD 1.4	YDD 1.5
Yaşam Döngüsü Envanteri	YDE 1.1	YDE 1.2	YDE 1.3	YDE 1.4	YDE 1.5
Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi	YDED 1.1	YDED 1.2	YDED 1.3	YDED 1.4	YDED 1.5

Tüm numuneler belirlenirken aynı yıl içerisinde üretilmiş ve aynı üretim hattını takip eden partiler dikkate alınmıştır. Kumaş parametreleri ve işlem basamaklarının birbirine göre karşılaştırmalarının anlamlı olabilmesi için aynı makinelerde işlem gören numunelerin seçilmesine dikkat edilmişse de üretim dinamikleri nedeniyle gerçekleşen bazı değişiklikler envantere belirtilmiştir. Boyahane numunelerinin envanteri, makine kapasitelerine göre oluşturulan, birden fazla partiye ait üretim verilerinden oluşturulmuştur. Deney planı, açık ve koyu olarak tanımlanan farklı iki renk boyamalar/baskılar, pamuk ve viskoz lifinin etkisi, gramaj farklılıkları, interlok ve süprem örme kumaşlar ile saten ve bezayağı kumaşların birbirine göre oluşabilecek çevresel etki farklılıklarını ve işlem basamaklarının birbirlerine göre farklılıklarını incelemeye olanak sağlayacak şekilde oluşturulmuştur. Renk parametresinin karşılaştırılmasında anlatım kolaylığı olması açısından ilgili numuneler, açık ve koyu renk olarak isimlendirilmiş ve numuneler farklı iki renk olarak belirlenmiştir. Renk parametresi belirlenirken işletme koşullarında mevcut üretimi yapılan numuneler üzerinden bir seçim yapılmıştır. Bu kapsamda farklı renklerdeki numunelerin açık ve koyu örnekleri belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. Yaşam döngüsü değerlendirmesi modelleri, numuneler ve özellikleri

Dokuma Kumaş Baskı İşletmesi Firma-2/Model-2						
Numune İsimleri	Numune 2.1	Numune 2.2	Numune 2.3	Numune 2.4	Numune 2.5	Numune 2.6
Kumaş Yapısı	Dokuma	Dokuma	Dokuma	Dokuma	Dokuma	Dokuma
Örgü Yapısı	Bezayağı	Bezayağı	Bezayağı	Bezayağı	Bezayağı	5'li saten
Elyaf Cinsi	% 100 CO	% 100 CO	% 100 CO	% 100 CO	% 100 CV	% 100 CO
İplik Numarası (Ne)	20/1	30/1	40/1	40/1	28/1	40/1
Kumaş Gramajı (g/m²)	141	111	123	123	193	126
Kumaş Eni	141	141	150	150	150	150
Renk	Lacivert	Lacivert	Lacivert	Sarı	Lacivert	Lacivert
Renk Sayısı	11	5	6	9	3	1
Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi	YDD 2.1	YDD 2.2	YDD 2.3	YDD 2.4	YDD 2.5	YDD 2.6
Yaşam Döngüsü Envanteri	YDE 2.1	YDE 2.2	YDE 2.3	YDE 2.4	YDE 2.5	YDE 2.6
Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi	YDED 2.1	YDED 2.2	YDED 2.3	YDED 2.4	YDED 2.5	YDED 2.6

Çizelge 3.3'te her iki modelde kumaş parametrelerine göre incelenip karşılaştırılacak YDD'ler verilmiştir. Parantez içerisinde numune özellikleri kodlarıyla belirtilmiştir. Model-1 ve Model-2 YDD'leri kumaş ve işlem parametreleri açısından kendi içlerinde değerlendirilmektedir. Her iki modelin farklı işletmelerde oluşturulması, envanter ve süreç farklılıkları, kapıdan kapıya YDD'ler olması gibi nedenlerden dolayı karşılaştırma olanağı bulunmamaktadır. Kumaş parametreleri oluşturulurken literatürde bulunan çalışmalar ışığında incelemeye değer bulunan parametreler seçilmiş ve numune seçimleri de bu parametrelere göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.3. Karşılaştırması yapılacak numuneler

Parametre	Model-1		Model-2	
Gramaj	YDD 1.1 (Ne 20/1 100% CO Süprem 190 g/m ²)	YDD 1.2 (Ne 30/1 100% CO Süprem 150 g/m ²)	YDD 2.1 (Ne 20/1 %100 CO Bezayağı 141 g/m ²)	YDD 2.2 (Ne 30/1 %100 CO Bezayağı 111 g/m ²)
Renk	YDD 1.2 (Ne 30/1 100% CO Süprem 150 g/m ² açık mavi renk)	YDD 1.3 (Ne 30/1 100% CO Süprem 150 g/m ² koyu haki renk)	YDD 2.3 (Ne 40/1 %100 CO Bezayağı 123 g/m ² koyu lacivert renk)	YDD 2.4 (Ne 40/1 %100 CO Bezayağı 123 g/m ² açık sarı renk)
Elyaf Cinsi	YDD 1.2 (Ne 30/1 100% CO Süprem 150 g/m ²)	YDD 1.4 (Ne 30/1 100% CV Süprem 200 g/m ²)	YDD 2.2 (Ne 30/1 %100 CO Bezayağı 111 g/m ²)	YDD 2.5 (Ne 28/1 %100 CV Bezayağı 193 g/m ²)
Örgü Yapısı	YDD 1.2 (Ne 30/1 100% CO Süprem 150 g/m ²)	YDD 1.5 (Ne 30/1 100% CO İnterlok 250 g/m ²)	YDD 2.3 (40/1 Ne %100 CO Bezayağı 123 g/m ²)	YDD 2.6 (Ne 40/1 %100 CO 5'li saten 126 g/m ²)

Bu kapsamda, örme kumaşların boyama işlemleri sırasında gramaj değişiminin çevresel etkilerini incelemek için YDD 1.1 ve YDD 1.2, renk değişiminin çevresel etkilerini incelemek için YDD 1.2 ve YDD 1.3, elyaf cinsinin çevresel etki değişimini incelemek için YDD 1.2 ve YDD 1.4, kumaş örgü yapısı değişiminin çevresel etkilerini incelemek için YDD 1.2 ve YDD 1.5 karşılaştırılacaktır. Baskı işletmesinde kapıdan kapıya değerlendirmesi yapılan 6 adet dokuma kumaşın baskı işlemleri sırasında gramaj değişiminin çevresel etkilerini incelemek için YDD 2.1 ve YDD 2.2, farklı renklerdeki baskıların çevresel etkilerini incelemek için YDD 2.3 ve YDD 2.4, elyaf cinsinin çevresel etkilerini incelemek için YDD 2.2 ve YDD 2.5, kumaş örgü yapısı değişiminin çevresel etkilerini incelemek için YDD 2.3 ve YDD 2.5 karşılaştırılacaktır.

3.2 GaBi Yazılımı

Çalışmada, Almanya merkezli Thinkstep firması tarafından geliştirilen GaBi yazılımı ve yazılımla sağlanan standart veritabanı olan profesyonel veritabanı kullanılmıştır. GaBi veri setlerine, kaynaklarına, veri belgelerine açık ve şeffaf bir şekilde Sphera internet sitesinden

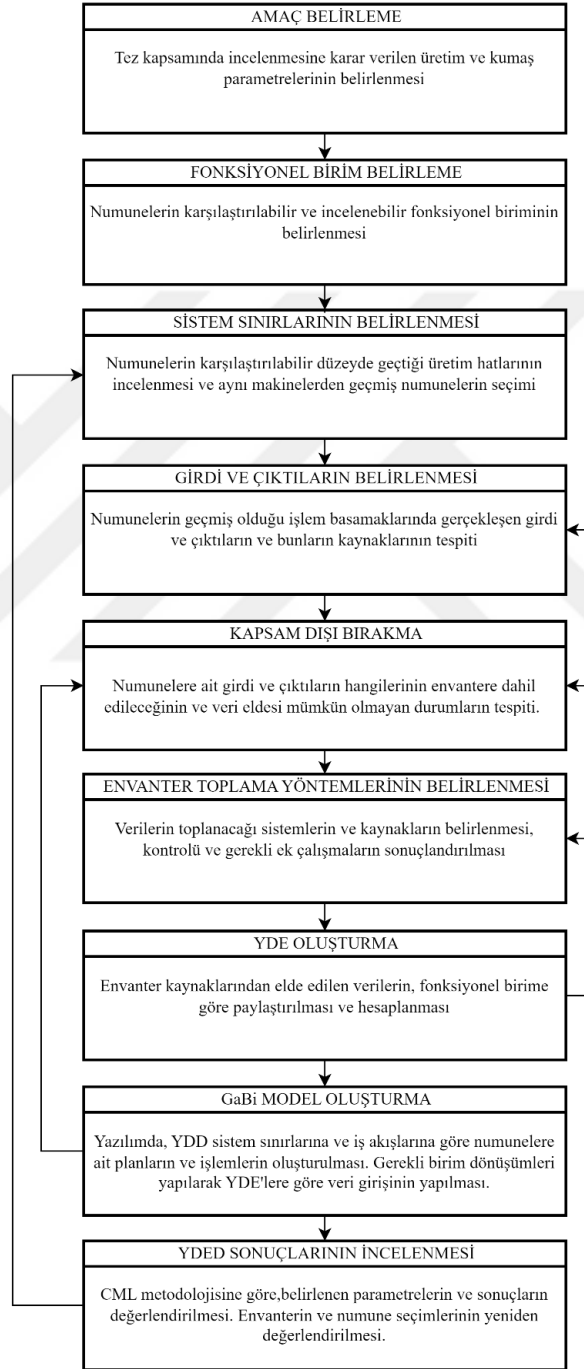
ulaşılabilir (Sphera, 2022). GaBi profesyonel veritabanı düzenli olarak gerçek sektör verilerinden, bilimsel çalışmalardan, teknik literatürden ve patent bilgilerinden yararlanılarak türetilmekte ve güncellenmektedir. Profesyonel veritabanı, Ecoinvent veritabanı ve NREL U.S. LCI veritabanı ile entegre olacak biçimde genişletilmiştir. Veritabanında bölgeselleştirilmiş su, arazi ve enerji tüketim veri setlerine ulaşmak mümkündür. Çoğunlukla beşikten kapıya tasarlanmış bu veri setleri YDD çalışmalarında kişiselleştirilmiş modellerin tasarımında kullanılmaya uygundur. Veri setleri, ISO 14044, ISO 14064 ve ISO 14025 standartlarına uygun olarak oluşturulmaktadır. Yazılım, standart etki kategorileri yanısıra CML, ReCipe, EDIP, TRACI, IO2+, UBP, EF 2.0 ve 3.0, EN15804, Usetox, IPCC AR6, AADP gibi çeşitli etki metodolojileri aracılığıyla değerlendirmeye imkan sağlamaktadır. Yazılım hazır işlem ve modeller üzerinde değişikliğe izin verdiği gibi çalışmanın amacına uygun, envanter dahilinde, model, işlem ve malzeme oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

Karmaşık yaşam döngüsü değerlendirmesi problemlerinin çözümü için uygulama kolaylığı sağlamak için ticari ve akademik birçok yazılım geliştirilmiştir. GaBi yazılımının geniş, şeffaf ve güncel veri setleri sağlayabilmesi, veri setlerinin dokümantasyonunun ayrıntılı ve açık yapılması, işlem basamaklarını detaylı incelemeye olanak sağlaması, bu alanda çalışacak araştırmacılar için yazılımın akademik versiyonunu ücretsiz sunması, dolayısıyla yapılacak çalışmaların birbiriyle karşılaştırılmasına veya doğrulanmasına olanak sağlaması gibi nedenlerle, bu tez kapsamında GaBi yazılımı profesyonel versiyonu (GaBi ts 9.5) tercih edilmiştir. Bu kapsamda, yazılımda planlar ve işlemler oluşturularak Model-1 ve Model-2 deney planında bulunan numunelerin çevresel etkileri hesaplanmıştır.

3.3 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemi

Bu çalışmada gerçekleştirilen YDD'ler, ISO 14044:2006 Çevre Yönetimi-Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi-Gereksinimler ve Kılavuzlar Standardına bağlı kalınarak tezin 2. Bölümünde de açıklandığı şekliyle sistematik olarak incelenmiştir. YDD'lerin amacı, seçili ürünlerin çevresel etkilerinin açığa çıkarılması, kumaş parametrelerine ve işlem basamaklarına göre çevresel etkilerdeki değişimlerin ve hassas noktaların belirlenmesi olarak belirlenmiştir. YDD'lerin fonksiyonel birimi 1 kg ağırlığındaki kumaş olarak belirlenmiştir. Tüm YDD'ler kapıdan kapıya ve ürün odaklı yapılmıştır. İşletme ve numune koşullarındaki değişkenlikler düşünüldüğünde, bahsedilenin dışında karşılaştırma yapmanın mümkün olmadığı ve genellemelerden kaçınılması gerektiği bilinmelidir. YDD'lerin sistem sınırları ve envanter aşaması, parametre karşılaştırılması yapılan numuneler özelinde, tezin sonraki başlıklarında

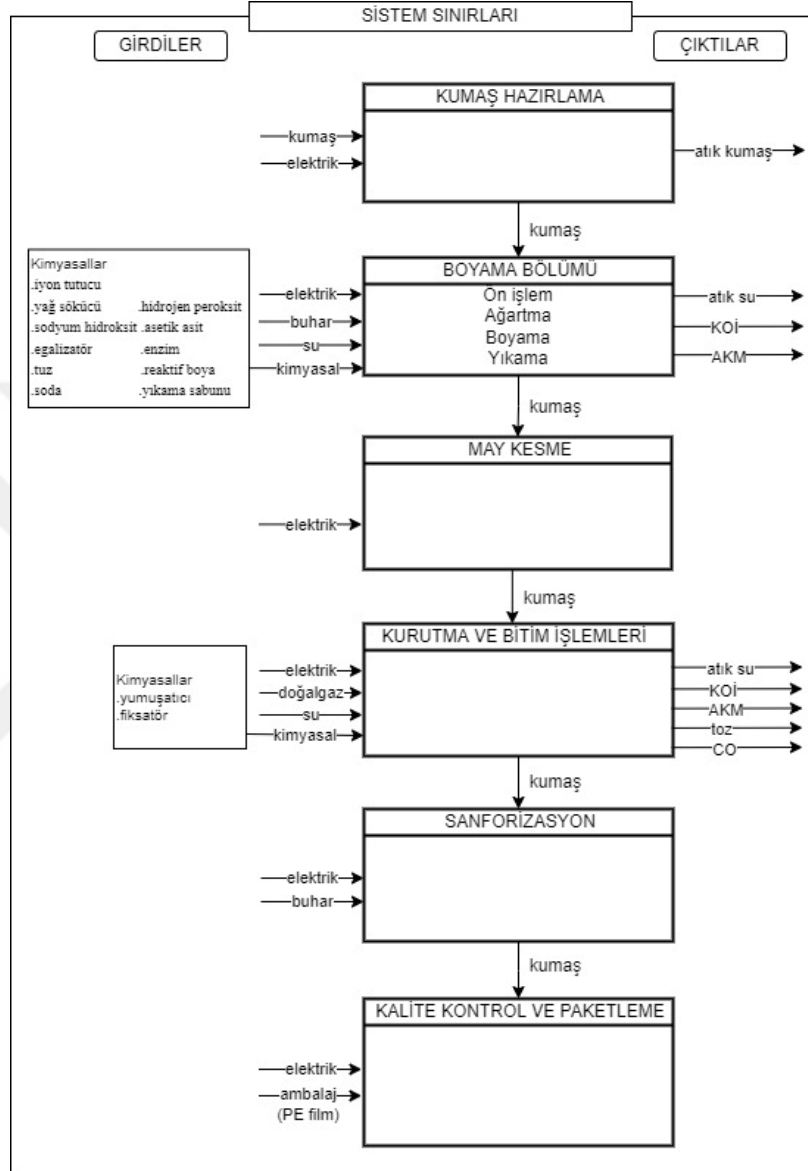
sistematiik olarak açıklanmıştır. Tez kapsamında GaBi' de oluşturulan yaşam döngüsü etki değerlendirmeleri CML2001-Aug.2016 evresel etki metodolojisine göre yapılmıştır. Tezde kapsamında yapılan YDD'lerin sistematiik yöntemi Şekil 3.1'de verilmiştir. YDD yöntemi lineer bir yöntem değildir. Bu nedenle çalışmanın her aşamasında yapılan kontrollerle döngüsel olarak YDD sistematiği tekrarlanarak, sonuçların son hali verilmiştir.



Şekil 3.1. ISO 14044 bazında tezde uygulanan YDD yönteminin sistematiik gösterimi

3.4 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Sistem Sınırlarının Belirlenmesi

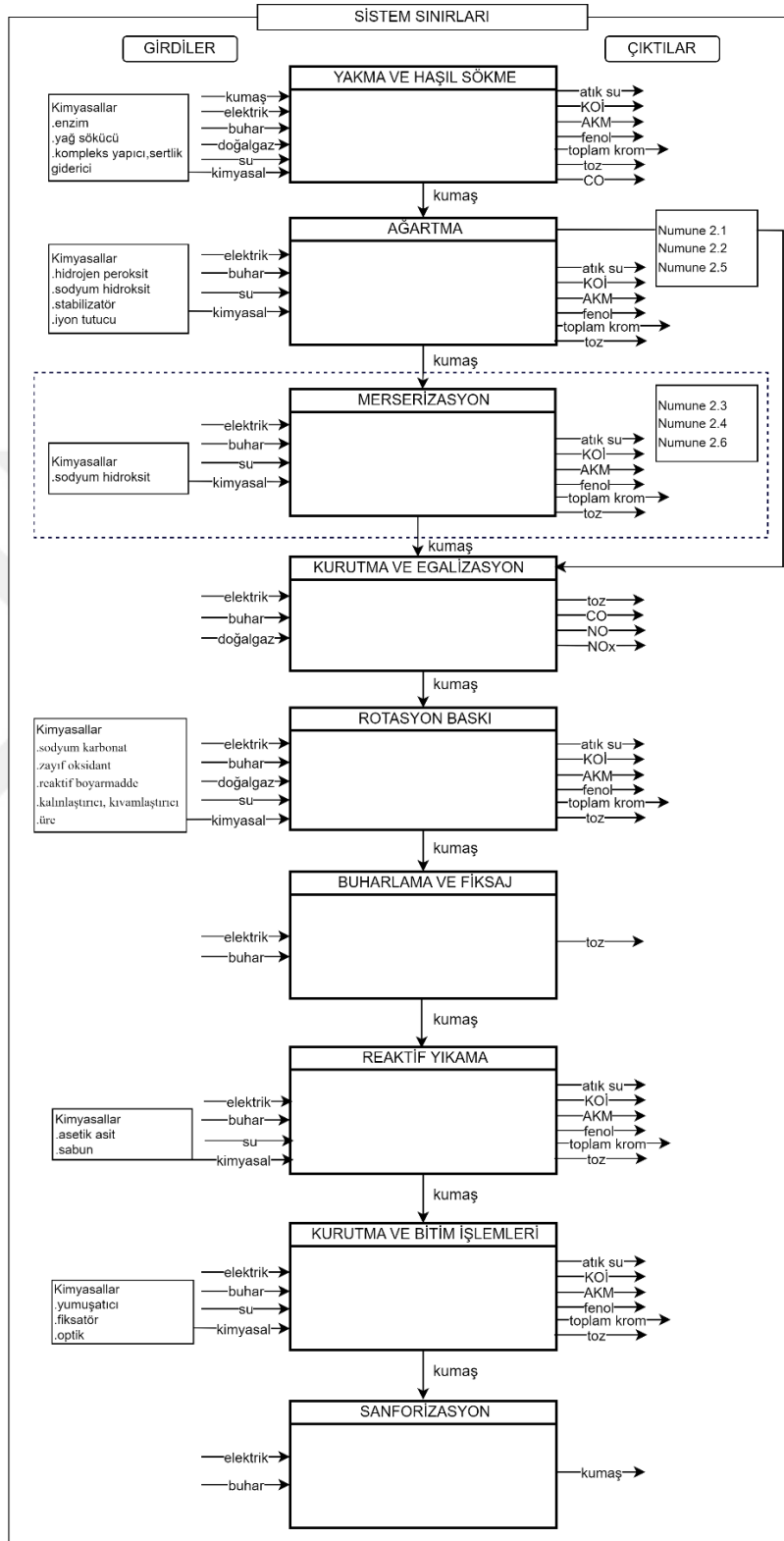
Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te sırasıyla Model-1 ve Model-2 kapsamında oluşturulan tüm numunelerin yaşam döngüsü değerlendirilmesi için sistem sınırları verilmiştir.



Şekil 3.2. Model-1 YDD sistem sınırları

Model-1 kapsamında gerçekleştirilen tüm YDD'ler karşılaştırmaya olanak sağlayacak şekilde sistem sınırları, boyahane işletmesinde kapıdan kapıya olacak şekilde, kumaş hazırlama, boyama, may kesme, kurutma ve bitim işlemleri, sanforizasyon, kalite kontrol ve paketleme bölümlerini kapsamaktadır. Boyama bölümü olarak tanımlanan işlem basamağı, jet boyama makinesinde gerçekleştirilen; ön işlem, ağartma, boyama ve yıkama adımlarından oluşmakta ve enerji tüketimleri tek bir sayaç ile kontrol edilmektedir. Bu nedenle boyama bölümü bu 4 işlemin toplamı olarak düşünülmelidir. İşletme içerisinde gerçekleştirilen asansör, forklift,

insan gücü vb. ara taşımalar, kalite kontrol ve paketleme bölümünde çeşitli temizlik işlerinde kullanılan hava tabancası verileri gibi ek yatırım gerektiren alanlar kapsam dışı bırakılmıştır.



Şekil 3.3. Model-2 YDD sistem sınırları

Tüm YDD'lerde sistem sınırları, kumaş parametrelerine göre karşılaştırması yapılacak numunelerde, kapıdan kapıya aynı olacak şekilde oluşturulmuştur. Model-2 kapsamında numune 2.1, numune 2.2, numune 2.5 için sistem sınırları yakma ve haşıl sökme, ağartma, kurutma ve egalizasyon, rotasyon baskı, buharlama ve fiksaj, reaktif yıkama, kurutma ve bitim işlemleri ve sanforizasyon adımlarından oluşmaktadır. Diğer numuneler için bunların dışında merserizasyon adımı da dahil edilmiştir Bu ek işlem, karşılaştırmaları etkilemeyecek şekilde dahil edilmiştir. Yakma ve haşıl sökme işlemleri ile kurutma ve bitim işlemleri bölümleri entegre olarak çalıştığı ve bu bölümlerdeki sayaçlar ortak olduğu için tek başına ele alınmıştır. Baskı şablonu hazırlama bölümü, elde edilemeyen verilerin toplanması için gereken ek yatırım maliyetleri, elde edilen bazı verilerin, profesyonel GaBi yazılımı veritabanlarında bulunmaması gibi sebeplerden, kapsam dışı bırakılmıştır. Envanter oluşturulurken işlem sonu ve sırasında açığa çıkan her türlü atık, geri dönüşüm sistemleri ve üretimin devamlılığını sağlayan taşıma sistemleri ile ürün odaklı çalışma yürütülmesi nedeniyle işletme içinde gerçekleşen evsel su tüketimleri, tasarım ofisi gibi üretimin devamlılığını etkileyen, üretim dışı işlerde gerçekleştirilen dolaylı tüketimler kapsam dışı bırakılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Yaşam Döngüsü Envanterinin Oluşturulması

Boyahane işletmesinde Model-1 kapsamında oluşturulan yaşam döngüsü envanterlerinde girdiler ve çıktılar, otomasyon sistemine bağlı, kontrol ve veri toplama sisteminden elde edilen birincil veriler, işletme yetkili personeli ile gerçekleştirilen yüz yüze görüşmeler, üretim raporları, reçeteler, işletmede gerçekleştirilen ek çalışmalardan elde edilen ortalama değerler, MSDS belgeleri, emisyon raporları ve atık su analiz sonuçlarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Ek-1’de Model-1 kapsamında incelenen numunelerin yaşam döngüsü envanteri, GaBi yazılımında bulunan akış seçimleri, veri birimi, envanter kaynağı ve envanterin, yaşam döngüsü değerlendirmesi fonksiyonel birimi olan 1 kg kumaş için hesaplanma yöntemleri verilmiştir. Akış güncelleme tarihi, GaBi yazılımında bulunan akış ve işlem seçimlerinde kullanılan veritabanının güncelleme tarihidir. Yapılan çalışmalarda GaBi 9.5 profesyonel versiyonu kullanılmakta olup akış ve işlemler belirli aralıklarla güncellenmektedir. Bu nedenle benzer modeller oluşturulurken yazılım envanter sürümüne dikkat etmek gerekmektedir.

Boyama bölümünde ön işlem, ağartma, boyama ve yıkama işlemleri jet boyama makinesinde gerçekleştirilmektedir. Bu bölümden elde edilen elektrik, su ve buhar verileri tüm işlemler gerçekleştirilirken tüketilen toplam miktar olarak kaydedilmektedir. Bu nedenle GaBi’de planlar oluşturulurken boyama bölümü enerji tüketimleri bütün olarak ele alınmıştır. Ancak her bir işlem için diğer verilerin hesaplamaları işlem bazında ayrı ayrı yapılmıştır. Enerji verileri, envantere işletmeden elde edilen birincil veriler olarak dahil edilmiştir. Veriler 1 kg kumaş için işlem başlangıcındaki kumaş ağırlıkları üzerinden hesaplanmıştır. Elektrik verileri oluşturulurken doğrudan üretim verileri ve işlemlerin gerçekleştirilmesi için gerekli olan aydınlatmada kullanılan diğer elektrik tüketimleri de dikkate alınmıştır. Ambalaj ve atık kumaş verileri işletmenin ortalama tüketim verilerinden yararlanılarak oluşturulmuştur.

Emisyon verileri işlem sürelerine göre, atık su verileri atık su miktarına göre ilgili işlemlere paylaştırılmıştır. Kimyasalların GaBi’de oluşturulan planlara girişi sırasında kimyasal yapıları ve yoğunlukları gibi YDED’sini etkileyebilecek faktörler dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Envanter oluşturulurken çoğunlukla işletmeden elde edilen birincil veriler kullanılmışsa da veri eldesinin mümkün olmadığı bazı durumlarda ortalama verilerden ve katalog verilerinden yararlanılmış, bunlar envantere belirtilmiştir.

Baskı işletmesinde Model-2 kapsamında oluşturulan yaşam döngüsü envanterlerinde girdiler ve çıktılar, online olarak takip edilebilen ve arşivlenebilen, otomasyon sistemine bağlı, kontrol ve veri toplama sisteminden elde edilen birincil veriler, işletme yetkili personeli ile gerçekleştirilen yüz yüze görüşmeler, üretim raporları, reçeteler, MSDS belgeleri, emisyon raporları ve atık su analiz sonuçlarından yararlanılarak oluşturulmuştur.

Enerji verileri oluşturulmadan önce işletmede kurulu sayaç sistemlerinin ve otomasyon sisteminin kontrolleri ve doğrulanması yapılmış olup gerekli değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Her bir numunenin geçtiği her bir proses için elektrik, doğalgaz, buhar ve su tüketimleri ayrı ayrı gerçek tüketimler dikkate alınarak envantere eklenmiştir. Veriler 1 kg kumaş için işlem başlangıcındaki kumaş ağırlıkları üzerinden hesaplanmıştır. Elektrik verileri hesaplanırken doğrudan üretim verileri ve işlemlerin gerçekleştirilmesi için gerekli olan aydınlatma vb. diğer elektrik tüketimleri de dikkate alınmıştır. Üretim dışı diğer elektrik tüketimleri hesaplanırken her bir işlem basamağının işletmede kapladığı alan üzerinden paylaştırılmıştır.

Baca gazı ölçüm sonuçları her bir numunenin geçtiği tüm işlem basamakları için bacaların takibi gerçekleştirilerek paylaştırılmıştır. Birden fazla bacası bulunan makineler için toplam emisyonlar kullanılmıştır. Hava emisyonları takip sistemi üzerinden işlem başlangıç ve bitiş saatleri dikkate alınarak hesaplanan zamana göre paylaştırılmıştır. Emisyon ölçümlerinin paylaşırma işlemleri seçili numunelerin işlem gördüğü zaman diliminde oluşturulan emisyon ölçüm raporları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Emisyon ölçüm raporları, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ndeki esaslar çerçevesinde Ek-2.'de verilen veri toplama yöntemlerine göre oluşturulmuştur.

Envanter, Model-2'de yer alan numunelerin üretildiği döneme karşı gelen su ölçüm raporlarını kullanarak hazırlanmıştır. Numuneler yalnızca üretim süreçlerini kapsayacak biçimde işletmenin standart kapasite çalışma şartlarında toplanmıştır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği'ne göre 24 saatlik kompozit numuneler 5 tekrar olarak analiz edilmiştir. Atık su ölçüm sonuçları verilerinin paylaşırma işlemleri atık miktarına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Envanterde yer alan KOİ, toplam krom, AKM ve fenol analiz metotları envanterde verilmiştir. Tüm envanter verileri paylaşırma işlemlerinden sonra fonksiyonel birime göre düzenlenmiştir.

Envanterde verilen kimyasal girdiler reçetelerden ve doğrudan tüketimlerden oluşturulmuştur. Kimyasalların GaBi akış seçimleri YDED sonuçlarını doğrudan önemli

derecede etkilediği için uygun ve doğru şekilde yapılmalıdır. Bu sebeple tüm kimyasalların MSDS belgeleri ve kimyasal yapıları incelenerek uygun seçimler gerçekleştirilmiştir. Numunelerin üretimleri esnasında reçetelerde bulunan ıslatıcı madde tüketimleri GaBi profesyonel yazılımında veriye ait akış bulunmadığından envanterden çıkarılmıştır. GaBi yazılımında yoğunluk vb. farklılıklarının yanlış sonuçlara yol açmaması için kimyasalların yoğunlukları dikkate alınıp hesaplanarak fonksiyonel birime göre veriler oluşturulmuştur.

Ek-2’de Model-2 kapsamında incelenen numunelerin yaşam döngüsü envanteri, çalışmanın takip edilebilirliğini kolaylaştırması için GaBi yazılımında bulunan akış seçimleri, veri birimi, envanter kaynağı ve envanterin yaşam döngüsü değerlendirmesi fonksiyonel birimi olan 1 kg kumaş için hesaplanma yöntemleri verilmiştir. Çizelge 4.1’de Model-1 ve Model-2 kapsamında oluşturulan planlarda kullanılan işlem detayları verilmiştir. İşlem detayları GaBi yazılımında Model-1 oluşturulurken girdiler yönünde envantere eklenen verilerin geriye doğru akışını temsil etmektedir. Hesaplamaların doğruluğunu sağlamak üzere tüketimlerin üretim verileri de modele eklenmiştir.

Çizelge 4.1. Model-1 ve Model-2 işlem girdilerinin kaynakları ve detayları

Veri cinsi	Ülke	Kaynak	GaBi işlem seçimi	İşlem güncelleme tarihi
Model-1 ve Model-2’de kullanılan işlem detayları				
Elektrik	PL	Sphera	Electricity grid mix: AC, technology mix consumption mix, to consumer 1kV-60kV	1/3/2022
Buhar	PL	Sphera	Process steam from natural gas 90%: technology mix regarding firing and flue gas cleaning production mix, at heat plant MJ, 90% efficiency	1/3/2022
Su	EU-28	Sphera	Water (deionised): reverse osmosis, from groundwater single route, at plant 1000 kg/m ³ , 18 g/mol	1/3/2022
Soda (Sodyum Karbonat)	EU-28	Sphera	Soda (Na₂CO₃): Solvay process, from carbon dioxide and ammonia production mix, at plant 2.53 g/cm ³ , 105 g/mol	1/3/2022
Hidrojen Peroksit	DE	Sphera	Hydrogen peroxide (50%; H₂O₂): anthraquinone process production mix, at plant 50%; H ₂ O ₂	1/3/2022
Sodyum Hidroksit	DE	Sphera	Sodium hydroxide mix (50%): technology mix production mix, at plant 50% concentrated	1/3/2022
İyon tutucu	GLO	Sphera	Sequestering agent: technology mix production mix, at plant on basis of disperse polymer or polycarboxylic polymer and mixtures	1/3/2022
Reaktif boya	GLO	Sphera	Reactive dyes: technology mix production mix, at plant on basis of cyanuric chloride	1/3/2022
Asetik Asit	DE	Sphera	Acetic acid from methanol (low pressure carbonylation) (Monsanto process): catalytic reaction of methanol and carbon monoxide single route, at plant 1.05 g/cm ³ , 605 g/mol	1/3/2022
Yıkama Sabunu	GLO	Sphera	Soaping agent (sodium polycarboxylate): technology mix production mix, at plant sodium polycarboxylate	1/3/2022
Egalizatör	GLO	Sphera	Equalizing agent (on basis alcohol ethoxylate): technology mix production mix, at plant on basis alcohol ethoxylate	1/3/2022
Tuz	EU-28	Sphera	Sodium chloride (rock salt): salt mining and leaching production mix, at plant 2.17 g/cm ³ , 58.44 g/mol	1/3/2022
Yumuşatıcı	GLO	Sphera	Softener (fatty acids amino compounds): technology mix production mix, at plant fatty acids amino compounds	1/3/2022
Polietilen Film	RER	Sphera	Polyethylene film (PE-LD): technology mix production mix, at producer	1/3/2022
Sadece Model-2’de kullanılan işlem detayları				
Üre	DE	Sphera	Urea (stamicarbon process): stami carbon process, from ammonia and carbon dioxide production mix, at plant 1.32 g/cm ³ , 60 g/mol	1/3/2022
Zayıf Oksidant	GLO	Sphera	Antireducing agent (acrylic polymer sodic salt): technology mix production mix, at plant acrylic polymer sodic salt	1/3/2022
Kıvamlaştırıcı	GLO	Sphera	Thickening agent (polysaccharides derivate): technology mix production mix, at plant polysaccharides derivate	1/3/2022

Genelde literatür çalışmalarında, detaylandırma işlemlerinde enerji verileri oluşturulurken, çalışmaların karşılaştırmalarını anlamlı hale getirmek için Avrupa Birliği ortalama değerleri kullanılmıştır. Ancak bu veriler nükleer enerji kaynakları gibi ülkemizde mevcut olmayan kaynakları kapsadığından, Türkiye elektrik üretim dağılımını tam olarak temsil etmemektedir. Bu nedenle literatürde sıklıkla gözlemlenenin aksine Türkiye üretim verilerini daha iyi karşılaması nedeniyle Avrupa Birliği ortalama verileri yerine elektrik verileri, özellikle kömür gibi fosil yakıt tüketimi yüksek, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı düşük olan Polonya elektrik ve buhar üretimi verileri kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Bu karar alınırken yazılımın içerisinde bulunan elektrik üretimi kaynak dağılımı göz önüne alınmıştır. Kullanılan kimyasalların üretim verileri de yine literatürle uyumlu olacak şekilde GaBi yazılımında bulunan global ve AB ortalama verileri olarak seçilmiştir. Geriye doğru veri setleri tamamlanmamış kimyasallar için yazılımda bulunmayan veriler dahil edilememiştir. Kimyasal seçimleri MSDS belgeleriyle uyumlu olarak oluşturulmuştur. Doğalgaz tüketimleri Türkiye verileri kullanılarak modele eklenmiştir.

4.2 YDED Çevresel Etki Kategorilerinin Belirlenmesi

Tez kapsamında GaBi' de oluşturulan yaşam döngüsü etki değerlendirmeleri CML2001-Aug.2016 çevresel etki metodolojisine göre incelenmektedir. Trakya Bölgesi'ndeki hızlı sanayileşme ve beraberindeki sanayi faaliyetleri, çeşitli çevresel sorunlara yol açmaktadır. Tarım arazilerinde yapılaşmadan kaynaklı arazi kullanımı, yer altı ve yer üstü sularındaki kirlilik, yer altı sularının tüketilmesi sonucunda kuraklık ve kaynak tüketimi, hava ve toprak kirliliği kaynaklı insan ve canlı toksikolojisi gibi çevresel etkileri göz önüne alındığında CML metoduna göre hesaplanan çevresel etki kategorilerinden asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂ eşdeğeri), ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³ eşdeğeri), tatlı su akuatikleri ekotoksikite potansiyeli (FAETP-kg DCB eşdeğeri) ve insan toksisite potansiyelinin (HTP-kg DCB eşdeğeri) ayrıntılı olarak incelenmesi gerektiği öngörülmüştür (Citak, Silici, Tuzen ve Soylak, 2012; Tokatli ve Ustaoglu, 2020). Bunun yanında üretim aşamalarının küresel ölçekte etkisini inceleyebilmek ve literatür ile karşılaştırma olanağı yaratması açısından küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO₂ eşdeğeri) de incelenmiştir. Ayrıca YDED sonucu baskı işletmesinde bazı işlem basamaklarında negatif sonuç veren fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C₂H₄ eşdeğeri) kategorisinin incelenmesi gerekli görülmüştür.

Bir işletmede her süreç ve işlem, dikkate alınması gereken ve çevresel etkilerin potansiyel olarak iyileştirilebileceği, çevresel bir performansla sahiptir. Örneğin, bazik işlem, ağartma,

boyama, bitim işlemleri ve baskı işlemlerinde çevresel sorunların temel nedeni su tüketimi, su kirliliği, enerji tüketimi ve kimyasal kullanımıdır. Bu nedenle her bir süreç ve süreçler içerisinde gerçekleştirilen işlemler ayrı ayrı incelenmelidir (Muruges ve Selvadass, 2013). GaBi yazılımı, toplam çevresel etki değerine bağlı katkısı %10'undan daha fazla olan işlem basamaklarını, öncelikli olarak incelenmesi gerekli, hassas noktalar (hotspots) olarak belirler. Diğer taraftan, Avrupa Komisyonu, Ortak Araştırma Merkezi (European Commission, Joint Research Centre), AB-JRC kılavuzunda bağlı katkıları toplamı %80 ve üzeri olan işlem basamaklarını hassas nokta olarak belirlenmesi yönünde tavsiyede bulunmuştur (Zampori, Saouter, Schau, Cristobal, Castellani ve Sala, 2016). Tezin sonraki bölümlerinde bu kapsamda öne çıkarılan çevresel etki kategorileri sonuçları, boyahane ve baskı işletmeleri için işlem basamaklarına göre ayrı ayrı incelenmiştir. Tespit edilen hassas noktalarda ana kirleticiler ve bunların kaynakları belirtilmiştir. Her ne kadar literatürde rastlanan benzer YDD çalışmaları ile objektif karşılaştırma olanağı kısıtlı olsa da tez kapsamında gerçekleştirilen YDED sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenecektir.

4.3 Model-1 Boyahane İşletmesinde Gerçekleştirilen YDED Çalışması

4.3.1 Model-1 YDED Sonuçları

GWP100 değerleri numunelerin parametre değişimlerine göre incelendiğinde; gramajı yüksek kumaşın (Numune 1.1) gramajı düşük kumaşa göre (Numune 1.2); açık mavi renk boyalı kumaşın (Numune 1.2), koyu haki renk boyalı kumaşa göre (Numune 1.3); viskon kumaşın (Numune 1.4) pamuk kumaşa göre (Numune 1.2); interlok kumaşın (Numune 1.5) süprem kumaşa göre (Numune 1.2) küresel ısınma potansiyeli değerleri daha yüksek çıkmıştır. Çizelge 4.2'de Model-1 numunelerinin küresel ısınma potansiyeli sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tüm numunelerin iş akış şemalarında işlem basamaklarına göre karşılaştırmada, boyama bölümünün en yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip üretim aşaması olduğu görülmektedir. Boyama bölümünün her bir numune için GWP100 değerlerine bağlı katkıları numune 1.1-numune 1.5 için sırasıyla %85,03; %80,1; %72,79; %88,55; %83,01 olarak gerçekleşmiştir. Küresel ısınma potansiyelinin bağlı katkısı %10'un üzerinde olan bölümler iyileştirme için öncelikli olarak müdahale edilmesi gerekli noktalar olarak algılanmalıdır. Kumaş hazırlama bölümü, kumaş toplarının overlok makinesi ile dikiş işleminin gerçekleştirildiği ve nispeten daha düşük elektrik tüketimine sahip bölüm olduğu için tüm

numunelerin yaşam döngüsünde GWP100 değerleri bağıl katkısı %1'in altında kalmıştır. Boyama bölümünden sonra en çok enerji tüketiminin gerçekleştiği sanforizasyon ile kurutma ve bitim işlemleri bölümleri, bağıl katkıları %5 civarında gerçekleşmiş ve GWP100 değerleri tüm işlemler incelendiğinde ikinci ve üçüncü sırada yer almıştır. Bunun dışında kumaş gramajı arttıkça may kesme ile kalite kontrol ve paketlenme adımlarının bağıl katkısının arttığı gözlenmiştir. GWP 1.3'ün diğer numunelerden farklı olarak kurutma ve bitim işlemleri adımlarında %12'lik bir bağıl değere ulaşması dikkate değer bulunmuştur. Koyu renk numunenin kurutma ve bitim işlemleri adımının, GWP100 değerine, diğer numunelere göre bağıl olarak daha yüksek katkı sunmasının nedeni, koyu renk için boyama bölümünde gerçekleşen görece düşük enerji tüketimleri ile açıklanabilmektedir.

Çizelge 4.2. Model-1 numunelerinin küresel ısınma potansiyeli karşılaştırması

Küresel Isınma Potansiyeli (kg CO ₂ eş.) [CML2001-Aug. 2016, Global Warming Potential (GWP 100 years)]					
İşlem Basamakları	GWP100 1.1 (Ne 20/1 %100 CO Süprem 190 g/m ²)	GWP100 1.2 (Ne 30/1 %100 CO Süprem150 g/m ² açık mavi renk)	GWP100 1.3 (Ne 30/1 %100 CO Süprem 150 g/m ² koyu haki renk)	GWP100 1.4 (Ne 30/1 %100 CV Süprem 200 g/m ²)	GWP100 1.5 (Ne 30/1 100% CO İnterlok 250 g/m ²)
Toplam	2,074450185	1,957791105	1,84860191	5,142929024	2,158917823
Kumaş Hazırlama	0,008803785	0,005943558	0,008313041	0,008485481	0,008717089
Boyama Bölümü	1,764006229	1,56833659	1,345614773	4,554239186	1,792319006
May Kesme	0,025453646	0,026306317	0,02960985	0,042955715	0,116887466
Kurutma ve Bitim İşlemleri	0,064016017	0,112835072	0,229589101	0,233508161	0,044241851
Sanforizasyon	0,130195666	0,175294403	0,159930117	0,123501327	0,125527846
Kalite Kontrol ve Paketleme	0,081974841	0,069075165	0,075545028	0,180239155	0,071224565

*Tabloda koyu renk ile verilen değerler, ilgili işlemin toplam CO₂ eş. 'in %10'undan daha fazla miktarda yük taşıdığını ifade eder. Küresel ısınma potansiyelinin bağıl katkısı %10'un üzerinde olan işlem basamakları iyileştirme yapılması durumunda öncelikli müdahale edilmesi gerekli noktalar olarak algılanmalıdır.

Kumaş parametrelerinden kaynaklı GWP100 değişimlerinin incelenmesinde, numune 1.1 ve numune 1.2'nin GWP100 değerleri itibariyle GWP 1.1, GWP 1.2'den %5,96 kadar yüksek çıkmıştır. Bunun nedenleri boyama bölümü ve sanforizasyon işlemlerindeki yüksek buhar tüketimleri, kurutma bölümündeki yüksek doğalgaz tüketimi ve kurutma bölümündeki yüksek emisyon değerleri olmuştur. Bunun dışında aynı renk iki numuneden gramajı yüksek

olan numune 1.1'in boyarmadde tüketimi %25 daha fazladır. Bu durum aynı zamanda girdi olan kimyasalların üretiminden kaynaklı enerji tüketimleri yanısıra emisyonlardaki artışla birlikte toplam GWP100 değerlerini arttırması sonucunu doğurmaktadır. Bu iki numunenin YDD incelemeleri sonucunda, kumaş gramajının boyama bölümü işlemlerinde çevresel etkilerden küresel ısınma potansiyeline oldukça önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

GWP 1.2'nin GWP 1.3'ten yüksek çıkma nedenleri incelendiğinde boyama bölümünde tüketilen buhar (yaklaşık %9) ile kurutma ve bitim işlemleri bölümünde tüketilen doğalgaz miktarının açık renk numunede daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. İki numunenin GWP100 değerleri arasındaki fark yaklaşık %5,91 kadardır. Farklı renk boyamalar arasında GWP100 değerleri karşılaştırıldığında; tercih sırasında öne çıkarılmaya değer bir farklılık oluşmamıştır. GWP100 değerleri üzerinde enerji girdilerinin önemi daha anlamlıyken, ADP_{elements} değerleri açısından kimyasal tüketimleri daha önemlidir. Renk farkının kimyasal tüketimini etkilediği ölçüde GWP100 değerinde de değişime yol açtığı gözlenmiştir, ADP_{elements} değerleri incelendiğinde; örneğin numune 1.2'nin ağartma işlemlerinde görece fazla miktarda kostik kullanımı ile trikromi boyamalarda renk tutturulabilme için koyu renk boyamalara göre kütlece %10'a yakın daha fazla boyarmadde kullanılması gibi nedenlerden ötürü kaynak tüketimi açısından ADP değerlerini olumsuz etkilediği görülmüştür. Pamuk kumaşların reaktif boyarmaddeler ile boyanmasında ise koyu renk boyamalarda malzeme ve makine yıkama adımlarının daha uzun ve su tüketimi açısından da dezavantajlı olduğu bilinmektedir. Ancak açık renk boyamalarda renk hassasiyeti açısından ağartma ve boyama işlemlerinde kullanılan tuz, kostik gibi kimyasalların, hammadde üretimi adımları nedeniyle, dolaylı yollardan kaynak tüketimini arttırabileceği söylenebilir. Literatürde sıklıkla koyu renk boyamalardan kaynaklı yüksek su tüketimlerine vurgu yapıldığı üzere; bu çalışmada da koyu renk boyamalarda, açık renklere göre su tüketimleri daha yüksek olmuştur. Bununla birlikte tüketilen kimyasal ve enerji miktarlarındaki kısmi artış GWP100 değerlerinin açık renk kumaşta daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Yapılan farklı çalışmalarda koyu renk boyamaların karbon ayak izi değerlerinin daha yüksek olacağına dair genel bir kanı oluşmuşsa da; işletmelerin alışkanlıkları, üretimde kullanılan renk skalası, boyanacak hammaddenin boyama öncesi gördüğü işlemler gibi değişkenlerin de beklentilerin üstünde bir çevresel zarara yol açabileceği öngörülmelidir. Yapılan etki değerlendirmelerinde kullanılan boyarmadde üretim verilerinin söz konusu boyarmaddenin verimi, molekül büyüklüğü, rengi, tonu, vb. değişkenlerini göz önüne alınmadan oluşturulduğu da göz önüne alınmalıdır. Gelecekte veritabanlarının bu yönde

güncellenmesi sonrasında, boyarmadde karakterizasyon işlemlerinin daha sağlıklı yürütüleceği öngörülmektedir.

GWP 1.4, GWP 1.2'den yaklaşık 3 kat yüksek çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni viskon numunenin boyama bölümü işlemlerindeki yüksek elektrik tüketimleridir. İşlem süresinin uzun olması nedeniyle viskon numunenin toplam elektrik tüketimi pamuk numuneye göre yaklaşık %40 daha fazla gerçekleşmiştir. YDD'si yapılan numunelerde, pamuk boyamada soda kostik kombinasyonu kullanılırken, viskon boyamada tek başına soda tüketimi söz konusudur. Bu nedenle viskon numunede soda tüketimi pamuğa göre daha yüksek gerçekleşmiştir. GWP100 değerlerindeki artışta soda girdisinin etkisi, kostiğe göre daha fazla olmaktadır. Numune 1.4'ün reaktif boyama işlemlerinde yüksek miktarda soda kullanımı ile bunun üretim verileri de yine arada oluşan farkı açıklayan bir diğer etmendir. Viskoz lifinin üretimi ile ilgili GWP100 değerlerinin daha düşük olduğuna dair çeşitli araştırmalar mevcuttur ancak tüm yaşam döngüsü değerlendirildiğinde boyama işlemlerinde pamuğa nazaran oldukça yüksek GWP100 değerlerinin üretileceği görülmüştür. Model-1'de kumaş parametreleri açısından en önemli fark YDED 1.2 ve YDED 1.4 arasında elyaf cinsinin değişimi olduğu görülebilir. Viskon lifleri reaktif boyalarla boyanırken tuz ve alkali kullanımı pamuğa kıyasla daha düşük olmaktadır. Ancak kullanılan alkali cinsi açısından pamukta alkali olarak tek başına soda kullanılabileceği gibi soda/kostik karışımı da kullanılabilirken viskon liflerinde kostik kullanılmaz. Boyahane işletmesinde pamuk boyanırken soda/kostik kombinasyonu, viskonda ise tek başına soda kullanıldığı için toplam soda kullanımı viskonda pamuğa göre daha fazla görünmektedir. Aslında kullanılan alkali açısından bakıldığında; viskonda pamuktan daha az alkali kullanılmaktadır. Viskon liflerinin yapılarındaki amorf bölge miktarının yüksek olması nedeniyle selüloz liflerini boyayan boyarmaddelere karşı afiniteleri pamuktan daha yüksektir. Bu yüksek afinite nedeniyle düzgünlük boyama meydana gelme riski vardır. Bu nedenle, direkt boyarmaddelerle boyamada sodasız ve daha az tuz kullanılarak, reaktif boyarmaddelerde daha az ve daha zayıf baz kullanılarak ve ayrıca tuz ilavesi de azaltılarak çalışılır (Yurdakul ve Atav, 2006).

GWP 1.5'in GWP 1.2'ye göre %10 yüksek çıkma nedeni interlok numunenin aynı renk süprem numuneye göre elektrik tüketiminin %15, buhar tüketiminin %10 ve doğalgaz tüketiminin %4 kadar daha yüksek gerçekleşmesidir. Çift plaka ile örülen interlok numunenin, aynı iplik numarasına sahip süprem kumaşa göre örgü yapısından dolayı gramajının yüksek olması nedeniyle, tüm işlemlerde sıcaklık ve işlem süreleri gibi doğrudan enerji tüketimlerini

etkileyecek parametrelerin, GWP100 değerlerini etkilemesi kaçınılmaz olmuştur. Aynı iplik numarasına sahip iki farklı numunede süprem kumaşın GWP100 değerinin daha düşük olacağı söylenebilir.

Çizelge 4.3'te tüm etki kategorilerine göre yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED) sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. CML metodu kapsamında kumaş parametrelerine göre karşılaştırmada hemen hemen tüm çevresel etki kategorilerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Boyama bölümü ile kurutma ve bitim işlemleri bölümlerinin çevresel etki kategorileri değerini dikkat çekecek ölçüde artırdığı söylenebilir.

Çizelge 4.3. Model-1 numunelerini CML2001-Aug. 2016 çevresel etki metodolojisi kapsamında tüm etki kategorilerine göre karşılaştırma

Çevresel Etki Kategorileri	Birim	YDED 1.1 (Ne 20/1 %100 CO Süprem 190 g/m ²)	YDED 1.2 (Ne 30/1 %100 CO Süprem150 g/m ² açık mavi renk)	YDED 1.3 (Ne 30/1 %100 CO Süprem 150 g/m ² koyu haki renk)	YDED 1.4 (Ne 30/1 %100 CV Süprem 200 g/m ²)	YDED 1.5 (Ne 30/1 100% CO İnterlok 250 g/m ²)
Abiyotik elementlerin tüketimi (ADP _{elements})	kg Sbeş.	1,3222E-05	1,3148E-05	0,9713E-05	6,4096E-05	1,1068E-05
Abiyotik fosil tüketimi (ADP _{fossil})	MJ	33,2488612	30,7980068	28,7034958	64,5589365	33,1409344
Asidifikasyon potansiyeli (AP)	kg SO ₂ eş.	0,00482013	0,00486378	0,00477516	0,01986724	0,00515337
Ötrofikasyon potansiyeli (EP)	kg PO ₄ ³⁻ eş.	0,00275777	0,00280588	0,00284808	0,00576472	0,00319265
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP)	kg DCBeş.	0,02209385	0,02208263	0,02193868	0,02458502	0,02225502
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100)	kg CO ₂ eş.	2,07445018	1,9577911	1,84860191	5,14292902	2,15891782
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100 yıl), excl biogenic carbon	kg CO ₂ eş.	2,34569033	2,22901163	2,11972192	5,41530401	2,4295808
İnsan toksisite potansiyeli (HTP)	kg DCBeş.	0,16243633	0,16203912	0,16024425	0,19813953	0,16757246
Deniz akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (MAETP)	kg DCBeş.	114,436912	119,538319	119,21267	179,413269	133,223605
Ozon tabakası tüketimi potansiyeli (ODP)	R11eş.	4,7173E-12	4,5197E-12	4,0038E-12	7,4486E-12	4,6693E-12
Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP)	kg C ₂ H ₄ eş.	0,00033765	0,00031535	0,00029892	0,00129253	0,00035148
Karasal ekotoksosite potansiyeli (TETP)	kg DCBeş.	0,06341833	0,06324087	0,06305502	0,06489902	0,06348223

4.3.2 Model-1 YDED Sonuçlarının Literatür ile Karşılaştırması

Literatürde yer alan çalışmalarda iş akış şeması, yaşam döngüsü envanteri, farklı özelliklerdeki numuneler, veritabanlarının farklı versiyonları, kullanılan yazılım ya da versiyon farkı ve etki metodolojisinde farklılıklar olmakla beraber, benzer ve yakın çalışmalardan elde edilen sonuçlardan örnekler verilmiştir (Çizelge 4.4.).

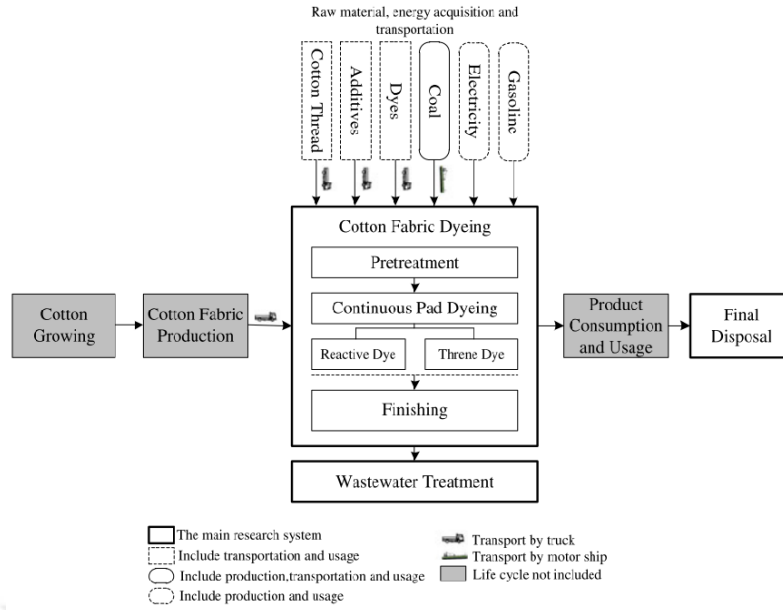
Çizelge 4.4. Model-1 YDD sonuçlarının önceki çalışmalarla karşılaştırılması (Murugesh ve Selvadass, 2013; Yuan, Zhu, Shi, Liu ve Huang, 2013; Zhang vd., 2015; Baydar vd., 2015)

YDD çalışmaları	Zhang	Murugesh	Yuan	Baydar	YDD 1.1	YDD 1.2	YDD 1.3	YDD 1.4	YDD 1.5
Fonksiyonel birim	Pamuklu kısa kollu örme t-shirt	1 ton 40/2 %100 organik pamuk süprem kumaş	10 bin metre, 2000 kg pamuk kumaş	1000 adet, 200 kg boyalı t-shirt	1 kg boyalı %100 pamuk örme kumaş	1 kg boyalı %100 pamuk örme kumaş	1 kg boyalı %100 pamuk örme kumaş	1 kg boyalı %100 viskon örme kumaş	1 kg boyalı %100 pamuk örme kumaş
YDD kapsamı	beşikten mezara	kapıdan kapıya	kapıdan kapıya	beşikten mezara	kapıdan kapıya	kapıdan kapıya	kapıdan kapıya	kapıdan kapıya	kapıdan kapıya
Veri kaynakları	Birincil veriler, anketler, GaBi veri tabanı, literatür verileri, Çin Ulusal İstatistik Bürosu	Birincil veriler, SimaPro veri tabanı, literatür verileri	Birincil veriler, GaBi veri tabanı, literatür verileri	Birincil veriler, GaBi veri tabanı, literatür verileri	Birincil veriler, GaBi veri tabanı, teknik raporlar	Birincil veriler, GaBi veri tabanı, teknik raporlar	Birincil veriler, GaBi veri tabanı, teknik raporlar	Birincil veriler, GaBi veri tabanı, teknik raporlar	Birincil veriler, GaBi veri tabanı, teknik raporlar
YDED metodolojisi	CML 2001	Impact 2000+	CML 2001	EDIP 2003	CML 2001-Aug. 2016	CML 2001-Aug. 2016	CML 2001-Aug. 2016	CML 2001-Aug. 2016	CML 2001-Aug. 2016
Kullanılan yazılım	GaBi 6.0	SimaPro 7.3.2 (developer)	GaBi 4.3	GaBi 5	GaBi 9.5 profesyonel	GaBi 9.5 profesyonel	GaBi 9.5 profesyonel	GaBi 9.5 profesyonel	GaBi 9.5 profesyonel
1 kg kumaşın kgCO ₂ eş.	30,25	12,67	14,63	12,1	2,075	1,96	1,85	5,14	2,16

Ancak verilen örneklerin sonuçları incelenirken önceki çalışmaların kapsam ve yöntem açısından farklılıkları dikkate alınmalıdır. Çizelge 4.4'te Model-1 kapsamında tüm numunelerin küresel ısınma potansiyeli değerleri, numune 1.4 (viskon) dışında birbirine yakın olmakla birlikte, yukarıda açıklanan nedenlerden ötürü, örneklenen literatür ile oldukça farklı çıkmıştır. Karşılaştırma olanağı için bir çalışmada yer alan 1 adet t-shirt 200 g olarak kabul edilmiş ve tüm çalışmalardaki GWP100 değerleri 1 kg kumaş için hesaplanarak verilmiştir.

SimaPro 7.3.2 yazılımı kullanılarak yapılan bir çalışmada, IMPACT2002+ metodolojisine göre değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışmada fonksiyonel birimi 1 ton olan Ne 40/2 iplik ile örülmüş %100 organik pamuk süprem kumaşın, reaktif boyarmadde ile üç farklı renkte trikromi boyama ve bitim işlemlerinin dahil edildiği yaşam döngüsü değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çektirme ve emdirme yöntemleri ile yapılan boyamaların incelenmesi sonucunda, çektirme işlemleri ile yapılan boyamaların çevresel etkilerinin, yüksek flote oranlarından kaynaklanan yüksek su, enerji ve kimyasal tüketimi nedeniyle, emdirme işlemine göre daha yüksek çıktığı, ayrıca açık renk boyamaların sonucunun daha düşük çıktığı belirtilmiştir. Bu durum, koyu renk boyamalarda kullanılan boyarmadde miktarının daha fazla olması ve ardından gerçekleşen yıkamalarda koyu renk ve nüanslaması zor kumaşların işlenmesinde daha fazla su ve yıkama maddesi kullanılması ile açıklanmıştır (Murugesh ve Selvadass, 2013).

Başka bir çalışmada fonksiyonel birimi 10 bin metre olan 2000 kg ağırlığındaki pamuk kumaşlar, GaBi 4.3 yazılımı kullanılarak, çevresel etkiler açısından öne çıkan işlem basamaklarını ortaya çıkarmak ve çeşitli taşıma senaryolarını incelemek amacıyla yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmış ve CML2001 metodolojisine göre incelenmiştir. Çalışmada sistem sınırları boyama, imha ve taşıma adımları olarak belirlenmiş olup YDE, taşıma ile ilgili veriler yazılımın veritabanından, enerji hammadde ve bazı kirleticiler birincil verilerden ve hava emisyonları ise literatürden elde edilerek oluşturulmuştur. Yaş işlem basamağı, ön terbiye, boyama ve bitim işlemleri aşamalarından oluşturulmuştur. Sistem sınırları Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Sistem sınırları (Yuan vd.,2013)

GaBi 4.3 yazılımında CML2001 metodolojisine göre normalize edilmiş GWP değeri 7×10^{-10} olarak verilmiştir. Bu değer kg CO₂eş.'e çevrildiğinde yaklaşık 14,63 kg CO₂eş. olmaktadır. GWP, AP, POCP ve EP, dört ana çevresel etki kategorisi olarak belirlenmiş olup, bazik işlem ve ağartma, boyama, ramöz ile kurutma ve fiksaj, atık su arıtma ve yakarak imha aşamaları, daha temiz üretim elde etmek için dikkat edilmesi gereken hassas noktalar olarak öne çıkartılmıştır (Yuan vd., 2013).

Baydar, Ciliza ve Mammadov (2015), GaBi 5 yazılımı ile organik pamuktan üretilen ve 'yeşil boyama reçetesi' ile boyanan Eco t-shirt ile konvansiyonel yöntemlerle üretilen t-shirtler karşılaştırılmıştır. Beşikten mezara yaşam döngüsü değerlendirmesi, EDIP2003 metodolojisine göre, küresel ısınma potansiyeli, sucul ve karasal ötrofikasyon, asidifikasyon potansiyeli ve fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli çevresel etki kategorilerine göre incelenmiştir. YDD çalışmasında fonksiyonel birim 1000 adet boyanmış t-shirt olarak belirlenmiştir. Beşikten mezara yaşam döngüsü değerlendirme yapılırken hammadde ekim ve hasadı, çırçırılama, iplik eğirme, örme, kumaş yaş işlemleri, kullanım ve bertaraf aşamaları dikkate alınmıştır. Çalışmada genel olarak pamuk üretim aşaması ile ağartma, boyama, yıkama, bitim işlemleri ve kurutma adımlarından oluşan yaş işlemler üzerinde durulmuştur. Daha az su, kimyasal ve enerji kullanan 'yeşil boyama reçetesi' geliştirildiği belirtilmiştir. Eko t-shirt YDED sonuçlarına göre; organik pamuk yetiştirme aşamasında azot ve fosfor içeren kimyasal gübre kullanımının kısıtlanması nedeniyle konvansiyonel t-shirt üretimine göre ötrofikasyon potansiyeli dramatik biçimde düşük sonuç vermiştir. Konvansiyonel pamuk ile üretilen bin adet t-shirt için GWP değeri

2420,7 kg CO₂eş. olarak verilmiştir. Her iki YDD çalışmasında da GWP değerlerinin en önemli katkıyı yapan üretim aşamalarının pamuk ekim ve hasadı ile kumaş üretimi aşamasının yaptığı vurgulanmıştır. GWP değerini anlamlı biçimde yükselten yaş işlem basamağı olarak ağartma işlemi gösterilmiş ve Eco t-shirt senaryosunda ağartma adımıdaki kimyasal kullanımı ile boyama sonrası yıkama adımları azaltılarak çevreye daha az zarar veren bir proses geliştirilmiştir. Eco t-shirt senaryolarında yaş işlem basamaklarında su, elektrik, doğalgaz ve kimyasal kullanımı ile pamuk ekimi sırasındaki kimyasal gübre kullanımı azaltılmıştır.

Fonksiyonel birimi %100 pamuk bir t-shirt olan GaBi 6.0 yazılımıyla oluşturulan, CML2001 ve USEtox metodolojilerine göre çevresel etki sonuçlarını değerlendiren başka bir çalışmada, yaşam döngüsü envanteri üretim verileri, kullanım alışkanlıklarını içeren anketlerden elde edilen birincil veriler, literatür, yetkili istatistik kurumları ve veritabanlarından yararlanarak oluşturulmuştur. Baydar vd. (2015) yaptığı çalışmaya paralel olarak bu çalışmada da yaş işlemlerde su, enerji, kimyasal kullanımı ile iplik elde etme aşamasında elektrik tüketiminin çevresel etkileri artırmada kritik önem arz ettiği vurgulanmıştır. Her ne kadar pamuk üretimi aşamasında ikincil verilerin kullanılmasından kaynaklı ana nedene ulaşamadığı belirtilmişse de hem pamuk üretimi hem de boyama aşamasında buhar ve elektrik üretiminde enerji kaynağı olarak kömürün kullanılmasının abiyotik elementlerin tüketimi (ADP) ve asidifikasyon potansiyeli (AP) değerlerinin artışına katkı sağladığı vurgulanmıştır. Kullanım aşamasındaki yıkama suyu ve yaş işlemlerdeki atık sudan kaynaklanan KOİ değerlerinin ötrofikasyon potansiyelini artırdığı ve bu işlemlerin hassas nokta olarak belirlendiği bildirilmiştir. GWP değerleri açısından dikim aşamasındaki elektrik tüketimi ve boyama bölümü yine hassas nokta olarak öne çıkarılmıştır (Zhang vd., 2015).

Yaş işlemlerin yarattığı yüksek su tüketimi ve su kirliliği sorunlarını ortadan kaldırmak için kullanılan alternatif boyama yöntemleriyle, konvansiyonel yöntemleri karşılaştırmak amacıyla, pamuk lifinin geleneksel ve susuz boyama yöntemlerinden yararlanarak siyah reaktif boya ile boyanması üzerine çeşitli YDD'ler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada fonksiyonel birim boyanmış 1 ton pamuk lifi olarak belirlenmiş olup, konvansiyonel boyama için sistem sınırları ağartma, boyama, yıkama, kurutma, atık su arıtma, çamur taşıma ve çamur bertarafı işlemlerinden oluşmaktadır. Çalışmada 2020 yılına ait birincil üretim verileri kullanılmış, ikincil veriler GaBi 10 ve Ecoinvent 3.7.1 veritabanlarından kullanılmıştır. Çalışmada YDE oluşturulurken su ve enerji tüketimleri birincil veri olarak kullanılmış, kimyasal tüketimleri, atık su verileri ve arıtma verileri literatürden alınmıştır. Susuz boyama yöntemi ile yapılan

boyamalarda sera gazı emisyonları %40, su tüketimi %60-80 azalmıştır. Çalışmada çevresel etki kategorilerinin direkt sonuçları verilmediği için karşılaştırma yapma olanağı bulunamamıştır (Zhang, Guo, Gong ve Wang, 2022).

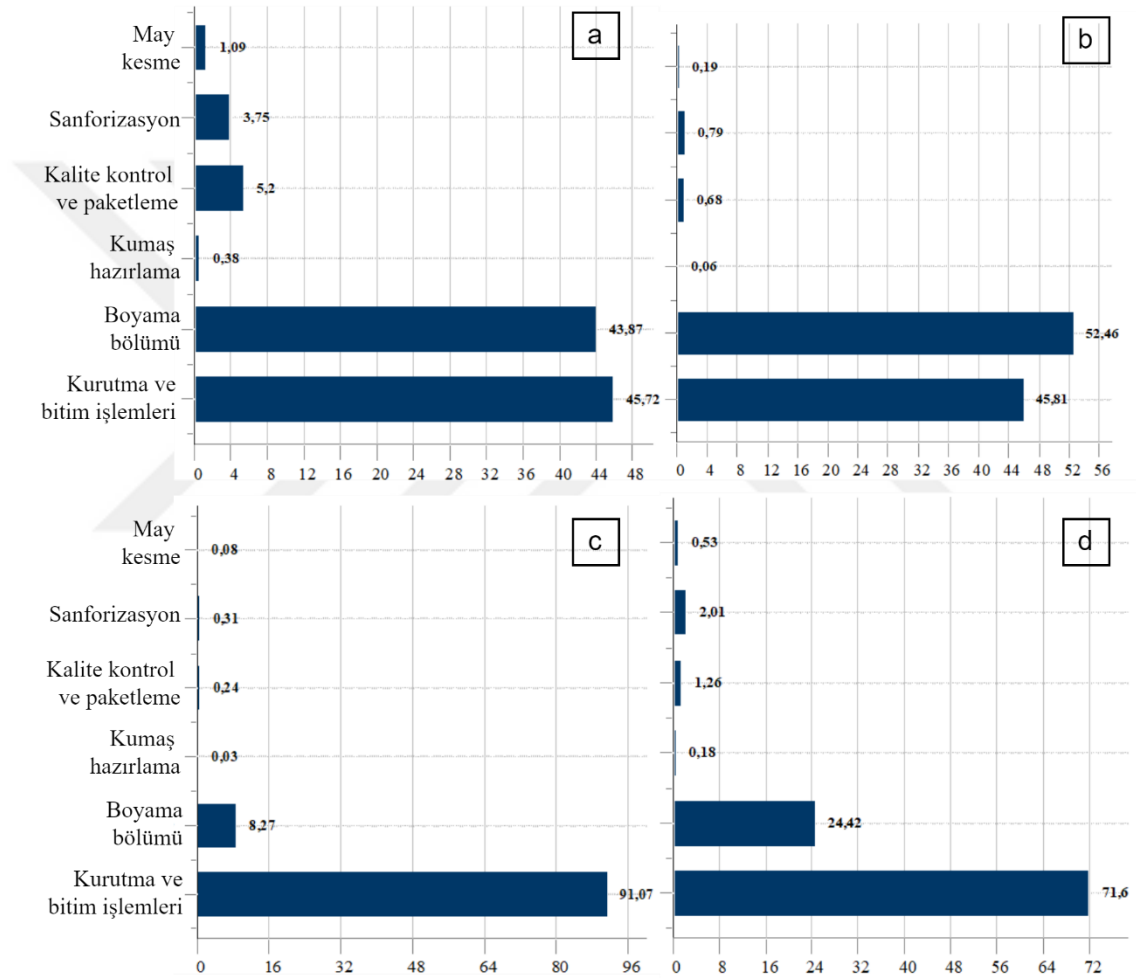
Literatürde viskoz lifinin elyaf üretim aşamasını kapsayan çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır ancak bu liflerin yaş işlemleri ile ilgili çalışmalar daha sınırlıdır. Su ayak izi teorisine göre viskoz liflerinin elyaf üretim aşamasından boyalı kumaş üretimine kadar tüm süreçlerde açığa çıkarmış olduğu su tüketimi ve kirliliği nedeniyle oluşan çevresel yükü ayrıntılı olarak değerlendirmek amacıyla da bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda YDD yöntemine de başvurulmuş fonksiyonel birimi 1 ton kumaş olan viskon için su tüketimi ve kirliliği ile ilişkilendirilmek üzere ötrofikasyon potansiyeli değerleri de elde edilmiştir. Çalışmada sistem sınırları viskoz lifi üretimi, dokuma, boyama ve terbiye işlemlerinden oluşturulmuştur. Elyaf üretim, boyama ve terbiye işlemlerinin yüksek miktarda su tüketimi ve atık su deşarjı aşamalarının su ayak izini artırıcı etmenler olduğu vurgulanarak birden fazla çevresel etkiye neden olduğu belirtilmiştir. YDE oluşturulurken su tüketimi, atık su, KOİ, BOİ₅, NaOH, Na₂CO₃, NH₃ gibi çeşitli kirleticiler dikkate alınmıştır. YDED çalışması bu veriler ile belirlenen karakterizasyon faktörleri ile yapılmış olup ötrofikasyon değeri 1 kg viskon kumaş için 12,439 kg PO₄⁻³eş. olarak bulunmuştur ve ana kirletici kaynakları KOİ ve BOİ₅ olarak gösterilmiştir. Bu değer 1 kg kumaş için hesaplandığında 0,012439 kg PO₄⁻³eş. olarak bulunmaktadır. Uygulanan yöntem ve envanterin farklı olmaları nedeniyle ötrofikasyon değeri 0,004391853 kg PO₄⁻³eş. olarak belirlenen YDD-4 ile karşılaştırabilmek olanaklı olmamıştır (Zhu, Yang, Li, Xu ve Wang, 2020).

İplik eldesi, örme, boyama ve dağıtım adımlarının dahil edildiği bir başka çalışmada, bir sweatshirtün boyama adımı için karbon ayak izi kullanılan enerji kaynağına göre 1,43-2,21 kg CO₂eş. aralığında bulunmuştur. Bu çalışmada fosil yakıt tüketimi görece düşük olan Türkiye üretiminin, Bangladeş'e göre GWP değerleri düşük çıkmıştır. Sonuçlar fonksiyonel birime göre oranlığında, GWP100 değeri 3,2 kg CO₂eş. olmaktadır (Jungmichel, 2010). Bu da YDE ve oluşturulan YDD'ler arasındaki farklılıklar dikkate alındığında, Model-1 çıktılarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir.

4.3.3 Model-1 Hassas Noktaların Belirlenmesi

4.3.3.1 Numune 1.1'in Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi

Şekil 4.2'de numune 1.1'in sırasıyla asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP) ve insan toksisite potansiyeli (HTP) değerlerinin yapılan işleme göre, toplam çevresel etki değerine bağlı katkıları verilmiştir.



Şekil 4.2. Numune 1.1'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)

YDED sonucunda numune 1.1'in toplam asidifikasyon potansiyeli 0,00482 kg SO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur İşlem adımlarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,0022 kg SO₂eş.) ve boyama bölümü (0,00211 kg SO₂eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir.

Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.2. (a)'da sırasıyla %45,72 ve %43,87 olarak verilmiştir. Kurutma ve bitim işlemleri adımı açığa çıkan ana kirletici kaynağı olan yumuşatıcı girdisi %32,1 oranında amonyum açığa çıkmasına neden olarak AP değerini 0,00179 kg SO₂eş. kadar artırmıştır. Boyama bölümünde elektrik tüketimi %17,1 buhar üretimi ise %10,5 oranında AP'yi arttırmaktadır. AP'si 0,000202 kg SO₂eş. olan soda girdisi ve 0,000119 kg SO₂eş. tuz kullanımının tek başına kurutma ve bitim işlemlerinin elektrik girdisinin SO₂ kirleticisi değerinden düşük olduğu görülmüştür. Buradan yola çıkarak AP değerleri düşünülerek elektrik tüketiminde yapılacak iyileştirmelerin bazı durumlarda soda ve tuz tüketimlerinin iyileştirmelerinin bütününden daha anlamlı olabileceğini göstermektedir. Ayrıca gramaj artışının enerji ve boyarmadde tüketimlerini artırması nedeniyle AP değerlerini negatif etkilediği de tespit edilmiştir.

YDED sonucunda numune 1.1'in toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,00276 kg PO₄⁻³ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre sırasıyla boyama bölümü (0,00145 kg PO₄⁻³eş.) ve kurutma ve bitim işlemleri (0,00126 kg PO₄⁻³eş.) işlemleri hassas nokta olarak tespit edilmiştir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.2. (b)'de sırasıyla %52,46 ve %45,81 olarak verilmiştir. Toplam EP değerinin 0,00195 kg PO₄⁻³eş. kadarı tatlı su emisyonlarından, 0,000801 kg PO₄⁻³eş. kadarı da inorganik hava emisyonlarından kaynaklanmaktadır. EP'nin yaklaşık üçte biri boyama bölümünde açığa çıkan, ağartma ve boyama işlemlerinde kullanılan kimyasallardan nedeniyle oluşan KOİ ölçüm sonuçlarından kaynaklanmaktadır. Bunun dışında yine yumuşatıcı kullanımından kaynaklı inorganik nitrat, fosfat ve organik azot bağı oluşturabilen emisyonlarının artışı tatlı su emisyonlarını önemli derecede negatif olarak etkilemektedir.

YDED sonucunda numune 1.1'in toplam tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli 0,0221 kg DCB eşdeğeri olarak bulunmuştur. Şekil 4.2 (c)'de görüldüğü gibi işlem basamaklarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,0201 kg DCBeş.) %91,07'lik bağıl değerle en yüksek hassas nokta olarak görülmektedir. Bunun en önemli nedeni diğer boya numuneleriyle de benzer şekilde yumuşatıcı girdisidir. Yumuşatıcı üretiminden kaynaklı tarım arazilerine gerçekleştirilen ağır metallerin salımı FAETP değerini arttırıcı önde gelen sebeplerdendir. Kurutma ve bitim işlemleri bölümündeki yumuşatıcı kullanımı sonucu tarım arazilerine gerçekleşen nikel salımından kaynaklı FAETP değeri, tek başına boyama bölümünde gerçekleşen değer neredeyse 4 katı kadardır.

YDED sonucunda numune 1.1'in toplam insan toksisite potansiyeli 0,162 kg DCB eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,116 kg DCBeş.) ve boyama bölümü (0,0397 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.2 (d)'de sırasıyla %71,6 ve %24,42 olarak verilmiştir. Toplam HTP değerinin %31,5'i hava emisyonları, %66,3'ü tarım arazisi emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Yumuşatıcı üretiminden kaynaklı Pb ve Cr⁺³ başta olmak üzere ağır metal iyonlarının tarım topraklarını kirletmesi HTP değerini yarıdan fazla etkileyen etmenlerdir. Yine başka bir açıdan bakacak olursak boyama bölümünde kullanılan reaktif boyarmadde girdisi, kurutma ve bitim işlemlerinde gerçekleşen elektrik tüketimi kadar HTP değerini etkilemektedir. Buradan yola çıkarak girdilerin hangi çevresel etkiye göre değerlendirileceğini seçmek kadar, girdilerin seçilen çevresel etki kategorisine olan doğrudan katkıları da iyileştirme aşamasında karar vericilerin dikkate alması gereken ana etmen olduğu söylenebilir.

YDED sonucunda numune 1.1'in toplam küresel ısınma potansiyeli 2,07 kg CO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarından bağıl katkısı %85 olan boyama bölümü işlemlerinin GWP100 değeri 1,76 kg CO₂eş. olarak gerçekleşmiş ve hassas nokta olarak görülmektedir. Boyama bölümünde ana kirletici kaynakları büyük oranda buhar ve elektrik tüketimleridir. Reaktif boyarmadde kullanımının GWP100 değeri 0,209 kg CO₂eş olarak, %10,1 bağıl katkıyla kurutma ve bitim işlemlerinin elektrik tüketimlerinden daha yüksek oranda GWP100 değerini arttırdığı görülmüştür.

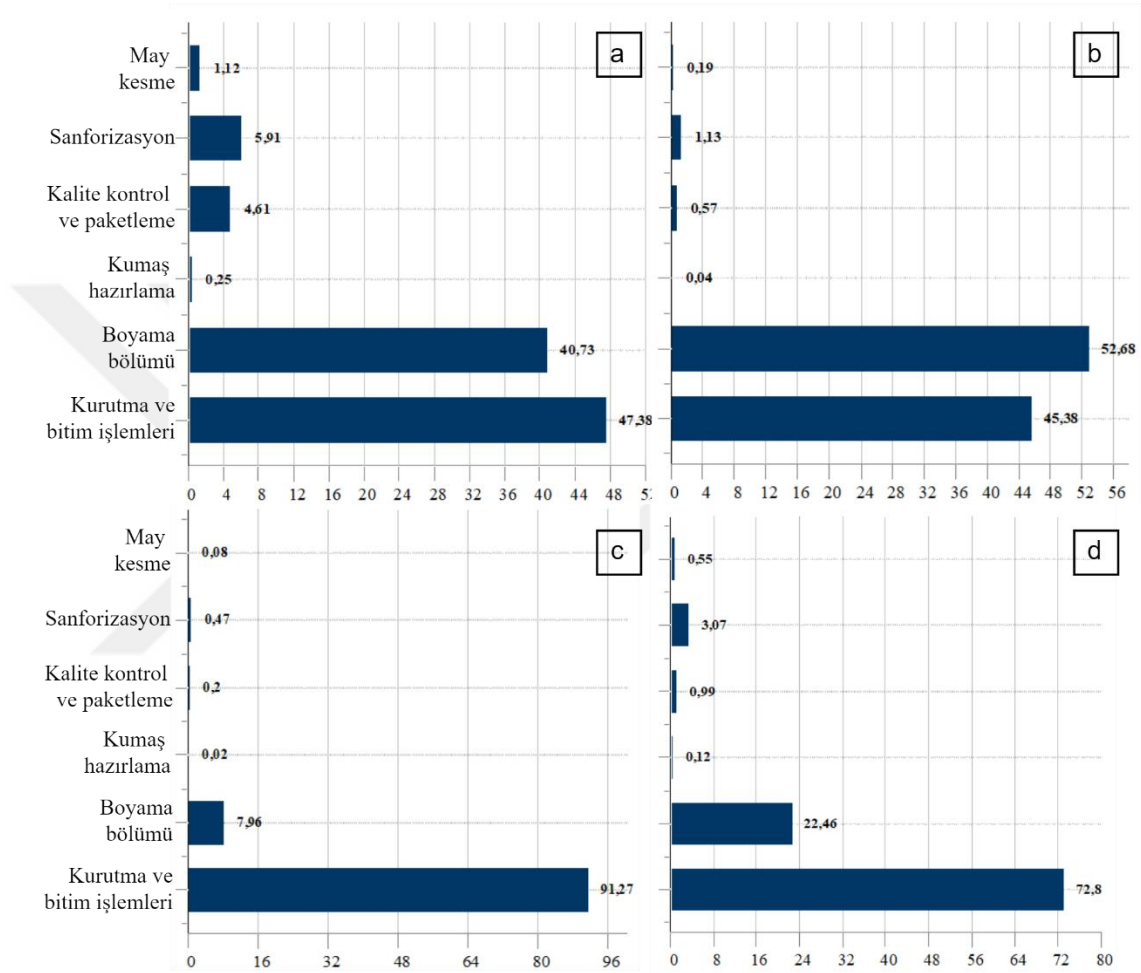
Çizelge 4.5'te numune 1.1'in işlem basamaklarına göre hassas nokta olarak tespit edilen işlemler verilmiştir.

Çizelge 4.5. Numune 1.1'in işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini

YDED 1.1 (Ne 20/1 %100 CO Süprem 190 g/m ²)		
Çevresel Etki Kategorisi	GaBi Yazılımı	AB-JRC Kılavuzu
Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Boyama bölümü	2-Boyama bölümü
Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Boyama bölümü	2-Boyama bölümü
Tatlı su akuatikleri ekotoksisite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim İşlemleri	1-Kurutma ve bitim İşlemleri
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.)	1-Boyama bölümü	1-Boyama bölümü
İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Boyama bölümü	2-Boyama bölümü

4.3.3.2 Numune 1.2'nin Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi

Şekil 4.3'te numune 1.2'nin sırasıyla asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP) ve insan toksisite potansiyeli (HTP) değerlerinin, yapılan işleme göre, toplam çevresel etki değerine bağlı katkıları verilmiştir.



Şekil 4.3. Numune 1.2'nin çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)

YDED sonucunda numune 1.2'nin toplam asidifikasyon potansiyeli 0,00486 kg SO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,0023 kg SO₂eş.) ve boyama bölümü (0,00198 kg SO₂eş.) hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.3. (a)'da sırasıyla %47,38 ve %40,73 olarak verilmiştir. Gramaj düşüşünden kaynaklı boyama bölümündeki kimyasal tüketimini azaltmakta ve bu da nispeten gramajı düşük numunede AP değerlerini de düşürmektedir. Boyama bölümündeki

soda ve tuz girdilerinin açığa çıkardıkları AP değerleri kalite kontrol işleminin toplamı kadar gerçekleşmiştir. Buradan yola çıkarak kalite kontrol ve paketleme işleminde kullanılan polietilen filmin AP değeri sanforizasyon işlemi buhar tüketiminin neredeyse 5,5 katıdır. Polietilen film kullanımını ortadan kaldırmanın en az enerji kullanımı ile ilgili çalışmalar kadar değerli olabileceği söylenebilir. Diğer numunelerde olduğu gibi burada da kurutma ve bitim işlemlerindeki yumuşatıcı kullanımı 0,00179 kg SO₂eş. kadar AP değerini arttıran en önemli faktördür.

YDED sonucunda numune 1.2'nin toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,00281 kg PO₄⁻³ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre sırasıyla boyama bölümü (0,00148 kg PO₄⁻³eş.) ve kurutma ve bitim işlemleri (0,00127 kg PO₄⁻³eş.) hassas nokta olarak tespit edilmiştir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.3. (b)'de sırasıyla %52,68 ve %45,38 olarak verilmiştir. Kullanılan reaktif boyarmaddenin EP'ye bağıl katkısı kumaş hazırlama, kalite kontrol ve paketleme, sanforizasyon ve may kesme işlemlerinin bütününden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Boyama bölümündeki girdi ve çıktılar incelendiğinde EP değerinin önemli oranda KOİ çıktıları ve inorganik hava emisyonlarından kaynaklı artmış olduğu söylenebilir.

YDED sonucunda numune 1.2'nin toplam tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli 0,0221 kg DCB eşdeğeri olarak bulunmuştur. Şekil 4.3 (c)'de görüldüğü gibi işlem basamaklarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,0221 kg DCBeş.) %91,27'lik bağıl değerle en yüksek hassas nokta olarak görülmektedir. Boyama bölümündeki su ve tuz girdilerinin en az elektrik ve buhar tüketimi kadar önemli olduğu görülmektedir. Ancak burada da yumuşatıcı kullanımından kaynaklı tarım arazilerine gerçekleşen ağır metal salımları %64,6 oranında FAETP değerini etkilemektedir.

YDED sonucunda numune 1.2'nin toplam insan toksosite potansiyeli 0,162 kg DCB eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,118 kg DCBeş.) ve boyama bölümü (0,0364 kg DCBeş.) hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.3 (d)'de sırasıyla %72,8 ve %22,46 olarak verilmiştir. Boyama bölümünden kaynaklanan uçucu organik bileşiklerin hava emisyonları 0,0165 kg DCBeş. kadar HTP değerini dikkate değer bir oranda artırmıştır. Bunun yarısından fazlası buhar tüketimleri, geri kalanı ise kullanılan kimyasalların bütününden kaynaklanmaktadır. Ayrıca elektrik tüketimleri de %8,11 oranında bir artışa neden olmuştur.

YDED sonucunda numune 1.2'nin toplam küresel ısınma potansiyeli 1,96 kg CO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarından bağıl katkısı %80,1 olan boyama bölümü işlemlerinin GWP100 değeri 1,57 kg CO₂eş. olarak gerçekleşmiş ve hassas nokta olarak görülmektedir. Boyama bölümünde başta buhar tüketimi ve daha sonra elektrik tüketimi GWP100 değerini arttıran ana etmenlerdir. GWP100 değeri 0,178 kg CO₂eş. olan reaktif boyarmadde tüketimi de öne çıkan kirletici kaynaklarından.

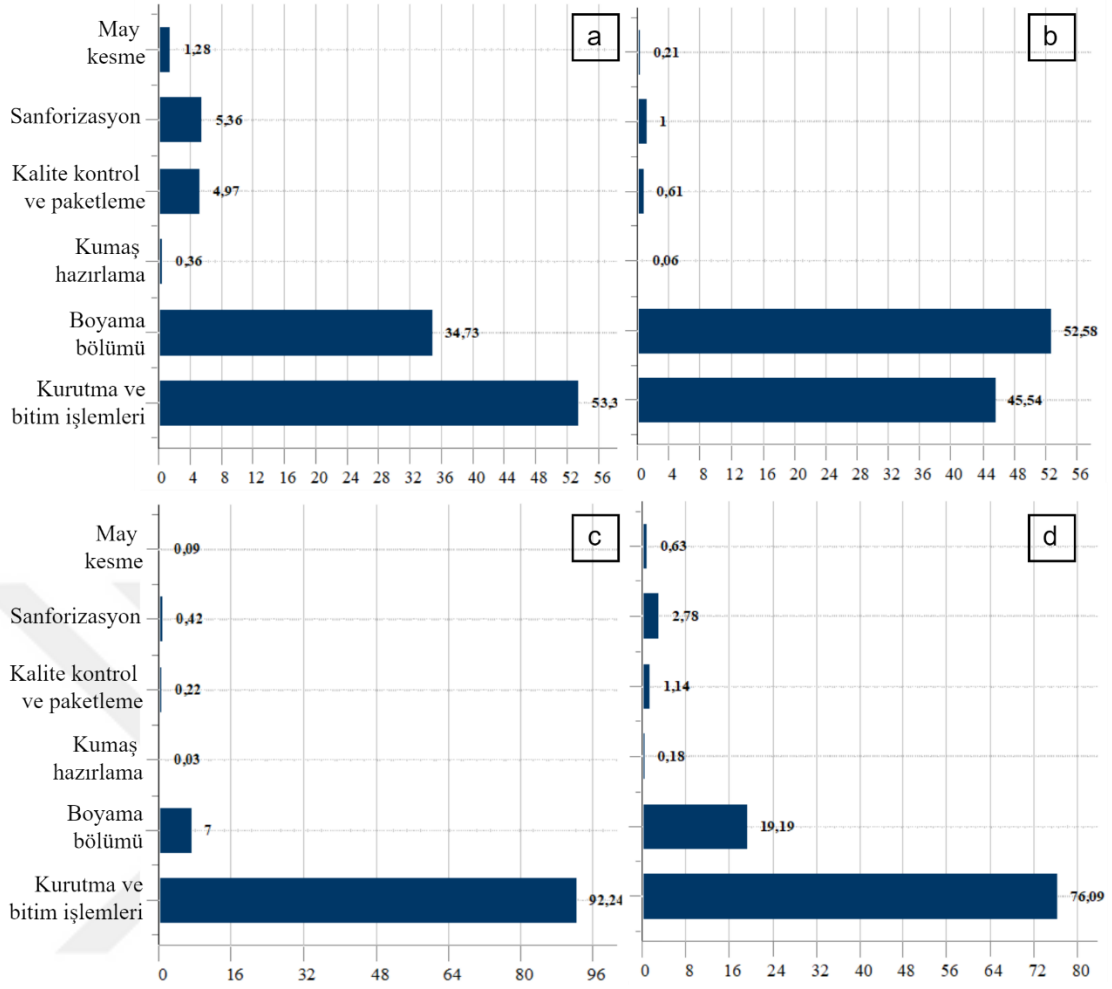
Çizelge 4.6'da numune 1.2'nin işlem basamaklarına göre hassas nokta olarak tespit edilen işlemler verilmiştir.

Çizelge 4.6. Numune 1.2'nin işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini

YDED 1.2 (Ne 30/1 %100 CO Süprem 150 g/m² açık mavi renk)			
Çevresel Etki Kategorisi	GaBi Yazılımı	AB-JRC Kılavuzu	
Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri 2-Boyama bölümü	1-Kurutma ve bitim işlemleri 2-Boyama bölümü	
Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.)	1-Boyama bölümü 2-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Boyama bölümü 2-Kurutma ve bitim işlemleri	
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim İşlemleri	1-Kurutma ve bitim İşlemleri	
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.)	1-Boyama bölümü	1-Boyama bölümü	
İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri 2-Boyama bölümü	1-Kurutma ve bitim işlemleri 2-Boyama bölümü	

4.3.3.3 Numune 1.3'ün Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi

Şekil 4.4'te numune 1.3'ün sırasıyla asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP) ve insan toksisite potansiyeli (HTP) değerlerinin, yapılan işleme göre, toplam çevresel etki değerine bağlı katkıları verilmiştir.



Şekil 4.4. Numune 1.3'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)

YDED sonucunda numune 1.3'ün toplam asidifikasyon potansiyeli 0,00478 kg SO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,00255 kg SO₂eş.) ve boyama bölümü (0,00166 kg SO₂eş.) hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.4. (a)'da sırasıyla %53,3 ve %34,73 olarak verilmiştir. Yumuşatıcı tüketimin yanısıra boyama bölümü ile kurutma ve bitim işlemlerindeki elektrik tüketimleri de kirletici kaynakları olarak öne çıkmaktadır. Koyu renk numunenin kurutma işlemi sıcaklığındaki artış da enerji tüketimlerini arttırarak bu işlem basamağında AP değeri artışına katkı sağlamıştır. Boyama bölümü AP değeri 0,00166 kg SO₂eş. olarak bulunmuştur. Ayrıca bu numunenin ağartma işlemlerinde kullanılan kimyasal ve enerji tüketimleri, görece hafif işlem parametreleri nedeniyle nispeten azalmakta bu da koyu renk numunenin AP değerini düşürmektedir.

YDED sonucunda numune 1.3'ün toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,00285 kg PO₄⁻³ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre sırasıyla boyama bölümü (0.0015 kg PO₄⁻³eş.) ve kurutma ve bitim işlemleri (0,0013 kg PO₄⁻³eş.) hassas nokta olarak tespit edilmiştir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.4. (b)'de sırasıyla %52,58 ve %45,54 olarak verilmiştir. EP'nin %40'ı boyama bölümündeki özellikle atık suda azot miktarını arttıran tuz ve boyarmadde üretiminden gelen katkı maddelerinin KOİ değerlerini yükseltmesinden kaynaklanmaktadır. Bu değer 0,00114 kg PO₄⁻³eş. olarak bulunmuştur.

YDED sonucunda numune 1.3'ün toplam tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli 0,0219 kg DCB eşdeğeri olarak bulunmuştur. Şekil 4.4 (c)'de görüldüğü gibi işlem basamaklarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0.0202 kg DCBeş.) %92,24'lik bağıl değerle en yüksek hassas nokta olarak görülmektedir. FAETP değeri, yumuşatıcı kullanımından kaynaklanan tarım arazisi nikel ve bakır emisyonlarından kaynaklandığı belirlenmiştir.

YDED sonucunda numune 1.3'ün toplam insan toksisite potansiyeli 0,16 kg DCB eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,122 kg DCBeş.) ve boyama bölümü (0,0307 kg DCBeş.) hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.4 (d)'de sırasıyla %76,09 ve %19,19 olarak verilmiştir. Boyama bölümünden kaynaklanan HTP değerleri fosil enerji kullanımına bağlı uçucu organik bileşikler, partikül madde ve ağır metal salımlarının artışından kaynaklanmaktadır. Kurutma ve bitim işlemlerindeki yumuşatıcı kullanımının tarım arazisi emisyonları birincil kirlenici kaynağı olarak açığa çıkmıştır.

YDED sonucunda numune 1.3'ün toplam küresel ısınma potansiyeli 1,85 kg CO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarından bağıl katkısı %72,79 olan boyama bölümü işlemlerinin GWP100 değeri 1,35 kg CO₂eş. olarak gerçekleşmiş ve hassas nokta olarak bulunmuştur. İşlem basamakları incelendiğinde, boyama bölümünde gerçekleşen buhar tüketimi %37, kurutma ve bitim işlemlerindeki elektrik tüketimi %20,1 ve yine boyama bölümü elektrik tüketimleri %16,8 oranında CO₂ salımlarıyla GWP100 değerini arttırmaktadır. Burada koyu renk numunenin kurutma ve bitim işlemlerinin de diğer numunelerden farklı olarak %12,4'lük bir bağıl katkıyla hassas nokta olduğu bulunmuştur. Bu durum mevcut işletme özelinde, koyu renk boyanan numunenin kurutma sıcaklık ve sürelerinin daha yüksek ve uzun olmasından ötürü, daha fazla enerji girdisi olması ile açıklanabilmektedir. Reaktif boyarmadde kullanımının tek başına kumaş hazırlama, kalite kontrol ve paketleme ve may keme işlemlerinin her birinden daha fazla küresel ısınma potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

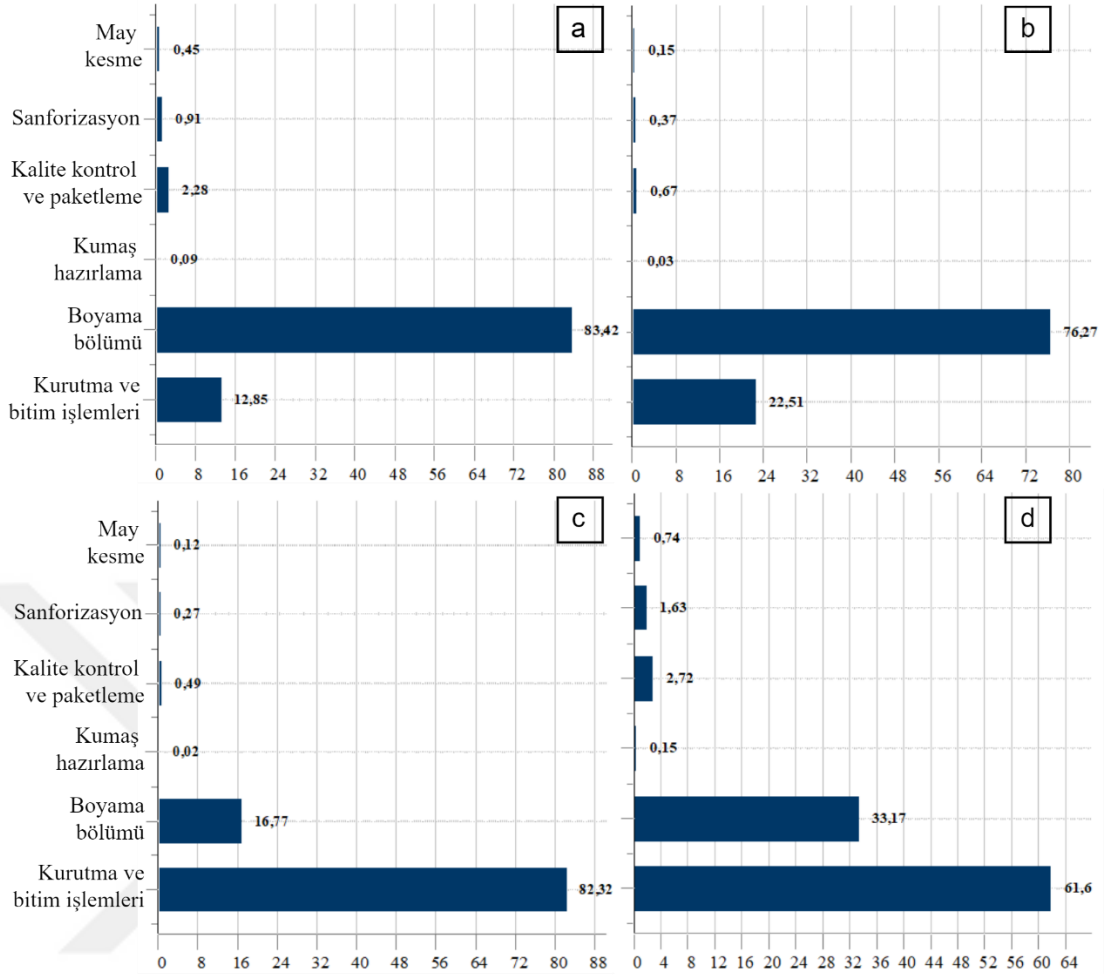
Çizelge 4.7’de numune 1.3’ün işlem basamaklarına göre hassas nokta olarak tespit edilen işlemler verilmiştir.

Çizelge 4.7. Numune 1.3’ün işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini

YDED 1.3 (Ne 30/1 % 100 CO Sürem 150 g/m ² koyu haki renk)		
Çevresel Etki Kategorisi	GaBi Yazılımı	AB-JRC Kılavuzu
Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Boyama bölümü	2-Boyama bölümü
Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Boyama bölümü	2-Boyama bölümü
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim İşlemleri	1-Kurutma ve bitim İşlemleri
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.)	1-Boyama bölümü	1-Boyama bölümü
	2-Kurutma ve bitim işlemleri	2-Kurutma ve bitim işlemleri
İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Boyama bölümü	2-Boyama bölümü

4.3.3.4 Numune 1.4’ün Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi

Şekil 4.5’te numune 1.4’ün sırasıyla asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP) ve insan toksisite potansiyeli (HTP) değerlerinin, işlem bazında, toplam çevresel etki değerine bağlı katkıları verilmiştir.



Şekil 4.5. Numune 1.4'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)

YDED sonucunda numune 1.4'ün toplam asidifikasyon potansiyeli 0,0199 kg SO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre boyama bölümü (0,00166 kg SO₂eş.) ve kurutma ve bitim işlemleri (0,00255 kg SO₂eş.) hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.5. (a)'da sırasıyla %83,42 ve %12,85 olarak verilmiştir. AP değeri viskon numunede pamuk numuneye göre 4 kat yüksek çıkmıştır. Bunun bir nedeni gramaj artışına bağlı tüketimlerin artışı ile ilişkilidir. Kumaş hazırlama, kalite kontrol ve paketleme ve may kesme gibi doğrudan gramaja bağlı enerji tüketimlerindeki artış, AP değerlerindeki yüksekliği açıklayan bir etmendir. Bunun dışında sanforizasyon işleminin viskon numunelerde daha ılıman şartlarda gerçekleşmesiyle elektrik tüketimleri azalmış, bunun sonucunda bu işlem basamağında AP değeri de düşmüştür. Ancak soda, boyarmadde ve su

tüketimlerindeki ciddi artışlar boyama bölümünde inorganik hava emisyonlarını artırmıştır. Viskon numunede soda girdisinin ana kirletici kaynağı olduğu açığa çıkmıştır.

YDED sonucunda numune 1.4'ün toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,00576 kg PO₄⁻³ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre sırasıyla boyama bölümü (0,0044 kg PO₄⁻³eş.) ve kurutma ve bitim işlemleri (0,0013 kg PO₄⁻³eş.) hassas nokta olarak tespit edilmiştir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.5. (b)'de sırasıyla %76,27 ve %22,51 olarak verilmiştir. Viskon numunelerin pamuğa göre EP değeri 2 kat daha yüksek çıkmıştır. Viskon numunelerde atık su miktarı ile enerji tüketimlerinin yüksek olması ve özellikle yüksek miktarda soda kullanımına bağlı KOİ değerlerindeki ve inorganik hava emisyonlarındaki yükselme bu sonuca yol açmıştır.

YDED sonucunda numune 1.4'ün toplam tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli 0,0246 kg DCB eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre sırasıyla kurutma ve bitim işlemleri (0,0202 kg DCBeş.) ile boyama bölümü (0,00412 kg DCBeş.) hassas nokta olarak tespit edilmiştir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.5. (c)'de sırasıyla %82,32 ve %16,77 olarak verilmiştir. Kurutma ve bitim işlemlerinde kullanılan yumuşatıcının 0,02 kg DCBeş. ve boyama bölümünde kullanılan sodanın 0,00254 kg DCBeş. çıkan FAETP değerleri ana kirletici kaynakları olarak belirlenmiştir.

YDED sonucunda numune 1.4'ün toplam insan toksisite potansiyeli 0,198 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,122 kg DCBeş.) ve boyama bölümü (0,0657 kg DCBeş.) hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.5 (d)'de sırasıyla %61,6 ve %33,17 olarak verilmiştir. Yüksek soda tüketimleri, tek başına kumaş hazırlama, kalite kontrol ve paketleme, sanforizasyon ve may kesme adımlarının toplamından 3 katı kadar HTP değeri oluşturarak kirletici kaynağı olarak tespit edilmiştir. Yumuşatıcı kullanımı viskon numunede de tarım arazisi metal emisyonları nedeniyle %50'nin üzerinde bağıl katkıya neden olarak ana kirletici kaynağı olarak açığa çıkmıştır.

YDED sonucunda numune 1.4'ün toplam küresel ısınma potansiyeli 5,14 kg CO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarından bağıl katkısı %88,55 olan boyama bölümü işlemlerinin GWP100 değeri 4,55 kg CO₂eş. olarak gerçekleşmiş ve hassas nokta olarak bulunmuştur. Boyama bölümünde ana kirletici kaynakları sırasıyla soda, buhar ve elektrik tüketimleridir. Viskon numunede toplam enerji kullanımının pamuğa göre oldukça yüksek

olması da bu durumu doğrulamaktadır. Ancak yüksek miktarda soda kullanımının GWP100 değerinin artışında ana kirletici kaynak olduğu tespit edilmiştir.

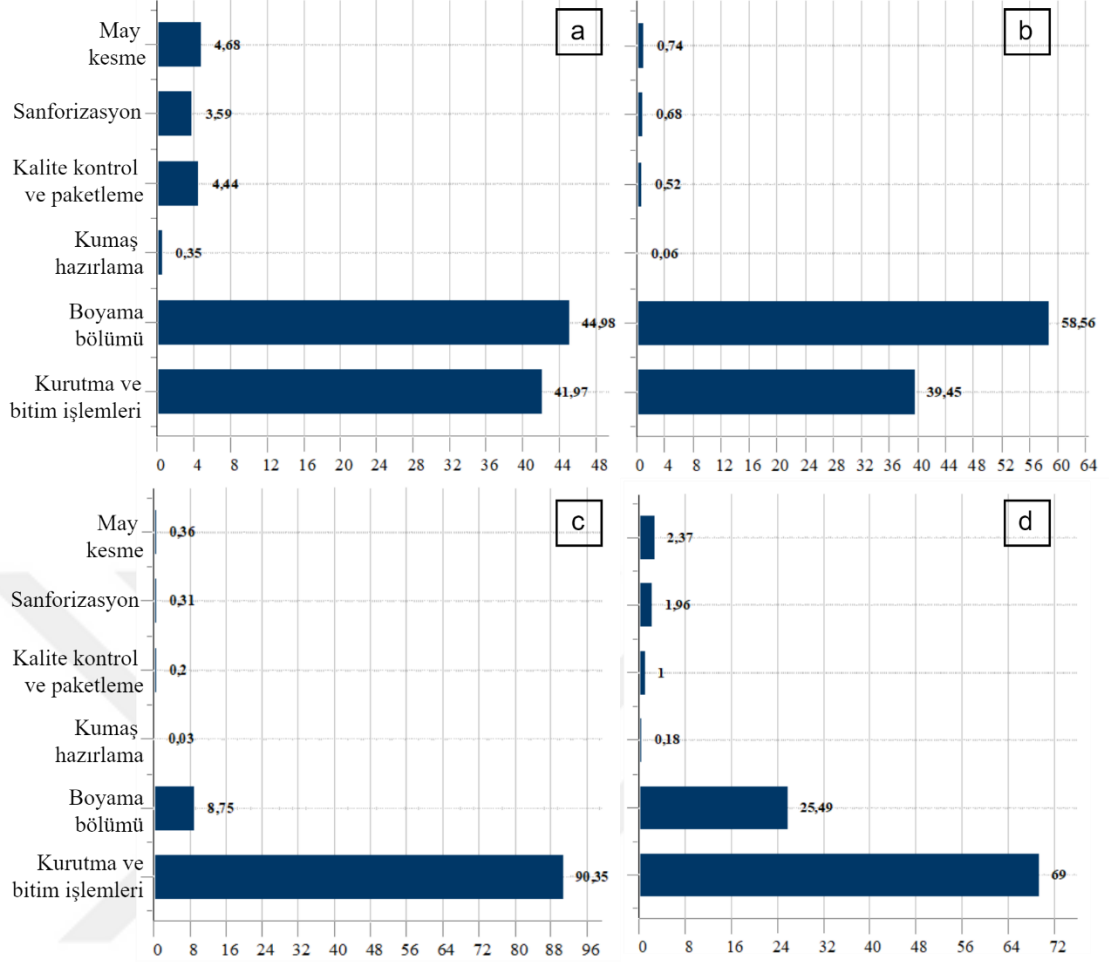
Çizelge 4.8’da numune 1.4’ün işlem basamaklarına göre hassas nokta olarak tespit edilen işlemler verilmiştir.

Çizelge 4.8. Numune 1.4’ün işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini

YDED 1.4 (Ne 30/1 %100 CV Süprem 200 g/m²)		
Çevresel Etki Kategorisi	GaBi Yazılımı	AB-JRC Kılavuzu
Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.)	1-Boyama bölümü 2-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Boyama bölümü
Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.)	1-Boyama bölümü 2-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Boyama bölümü 2-Kurutma ve bitim işlemleri
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim İşlemleri 2-Boyama bölümü	1-Kurutma ve bitim İşlemleri
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.)	1-Boyama bölümü	1-Boyama bölümü
İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri 2-Boyama bölümü	1-Kurutma ve bitim işlemleri 2-Boyama bölümü

4.3.3.5 Numune 1.5’in Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi

Şekil 4.6’da numune 1.5’in sırasıyla asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP) ve insan toksisite potansiyeli (HTP) değerlerinin, yapılan işleme göre, toplam çevresel etki değerine bağlı katkıları verilmiştir.



Şekil 4.6. Numune 1.5'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)

YDED sonucunda numune 1.5'in toplam asidifikasyon potansiyeli 0,00515 kg SO₂ eşdeğeri ve ana kirleticiler de sırasıyla sülfür dioksit (SO₂), amonyak (NH₃) ve azot oksitler (NO_x) olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre boyama bölümü (0,00232 kg SO₂eş.) ve kurutma ve bitim işlemleri (0,00216 kg SO₂eş.) hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.6. (a)'da sırasıyla %44,98 ve %41,97 olarak verilmiştir. Boyama bölümü incelendiğinde elektrik, buhar ve soda girdileri, kurutma ve bitim işlemlerinde yumuşatıcı girdisi öne çıkan kirletici kaynakları olmuştur. Bu kirletici kaynakları ayrıntılı olarak incelendiğinde yumuşatıcı girdisinin 0,00179 kg SO₂eş. AP değeriyle %34,8 oranında AP'yi etkilediği açığa çıkmıştır. Bunun dışında boyama bölümü elektrik tüketimleri de %21,7'lik bir bağlı katkıyla en önemli ikinci kirletici kaynağı olarak bulunmuştur.

YDED sonucunda numune 1.5'in toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,00319 kg PO₄⁻³ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre sırasıyla boyama bölümü (0.00187 kg PO₄⁻³eş.) ve kurutma ve bitim işlemleri (0,00126 kg PO₄⁻³eş.) hassas nokta olarak tespit edilmiştir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.6. (b)'de sırasıyla %58,56 ve %39,45 olarak verilmiştir. Toplam EP değerinin %74,6'sı tatlı su emisyonlarından, %25,3'ü de hava emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Tatlı su emisyonlarının %44,1'i olan 0,00141 kg PO₄⁻³eş., boyama bölümü KOİ ölçüm sonuçlarından kaynaklanmaktadır. Bunun dışında yine yumuşatıcı kullanımından kaynaklı inorganik nitrat emisyonlarının artışı da tatlı su emisyonlarını negatif olarak etkilemektedir.

YDED sonucunda numune 1.5'in toplam tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli 0,0223 kg DCB eşdeğeri olarak bulunmuştur. Şekil 4.6 (c)'de görüldüğü gibi işlem basamaklarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0.0201 kg DCBeş.) %90,35'lik bağıl değerle en yüksek hassas nokta olarak görülmektedir. Toplam FAETP'nin %64,8'si tarım arazisi emisyonlarından, %31,4'ü tatlı su emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Kurutma ve bitim işlemleri adımıdaki yumuşatıcı girdisi de yine bu etki kategorisinde %64'lük bir oranda bakır ve nikel gibi ağır metallerin tarım arazisine emisyonlarını önemli derecede arttırmaktadır.

YDED sonucunda numune 1.5'in toplam insan toksisite potansiyeli 0,168 kg DCB eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,116 kg DCBeş.) ve boyama bölümü (0,0427 kg DCBeş.) hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.6 (d)'de sırasıyla %69 ve %25,49 olarak verilmiştir. Ağır metallerin ve uçucu organik bileşiklerin hava emisyonları ile kurşun, krom başta olmak üzere ağır metallerin tarım arazisi emisyonları HTP değerlerini arttırmaktadır. Üretim sonucu doğrudan salım gerçekleşmese dahi her bir girdinin, sadece kullanılmasının bile bir etki unsuru olduğu unutulmamalıdır. Burada boyama bölümündeki elektrik tüketimleri %10,7 oranında hava emisyonları vasıtasıyla HTP değerini arttırmaktadır. Benzer şekilde yumuşatıcı kullanımı da tarım arazisi emisyonları nedeniyle HTP değerini %63,7 oranında yükseltmiştir.

YDED sonucunda numune 1.5'in toplam küresel ısınma potansiyeli 2,16 kg CO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarından bağıl katkısı %83,01 olan boyama bölümü işlemlerinin GWP100 değeri, 1,79 kg CO₂eş. olarak gerçekleşmiş ve hassas nokta olarak bulunmuştur. Boyama bölümünde gerçekleşen buhar tüketimi %40, elektrik tüketimi %26,6 oranında CO₂ salımlarıyla GWP100 değerini artırmıştır.

Çizelge 4.9’da numune 1.5’in işlem basamaklarına göre hassas nokta olarak tespit edilen işlemler verilmiştir.

Çizelge 4.9. Numune 1.5’in işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini

YDED 1.5 (Ne 30/1 % 100 CO İnterlok 250 g/m²)		
Çevresel Etki Kategorisi	GaBi Yazılımı	AB-JRC Kılavuzu
Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.)	1-Boyama bölümü	1-Boyama bölümü
	2-Kurutma ve bitim işlemleri	2-Kurutma ve bitim işlemleri
Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.)	1-Boyama bölümü	1-Boyama bölümü
	2-Kurutma ve bitim işlemleri	2-Kurutma ve bitim işlemleri
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim İşlemleri	1-Kurutma ve bitim İşlemleri
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.)	1-Boyama bölümü	1-Boyama bölümü
İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Boyama bölümü	2-Boyama bölümü
Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.)	1-Boyama bölümü	1-Boyama bölümü
	2-Kurutma ve Bitim İşlemleri	2-Kurutma ve Bitim İşlemleri

4.4 Model-2 Baskı İşletmesinde Gerçekleştirilen YDED Çalışması

4.4.1 Model-2 YDED Sonuçları

GWP100 değerleri numunelerin parametre değişimlerine göre incelendiğinde; gramajı düşük kumaşın (Numune 2.2) gramajı yüksek kumaşa göre (Numune 2.1); açık sarı renk kumaşın (Numune 2.4), koyu lacivert renk kumaşa göre (Numune 2.3); pamuk kumaşın (Numune 2.2) viskon kumaşa göre (Numune 2.5); bezayağı kumaşın (Numune 2.3) saten kumaşa göre (Numune 2.6) küresel ısınma potansiyeli değerleri daha yüksek çıkmıştır. Baskıda kullanılan renk sayısının, toplamda değilse de rotasyon baskıda fark yarattığı gözlenmiştir. Çizelge 4.10’da Model-2 numunelerinin küresel ısınma potansiyeli sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tüm numunelerin iş akış şemalarında işlem basamaklarına göre karşılaştırmada, ağartma işleminin en yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip üretim aşaması olduğu görülmektedir. Ağartma işleminin her bir numune için GWP100 değerlerine bağlı katkıları sırasıyla %36,3; %43,8; %26,5; %30,5; %35,7; %25,2 olarak gerçekleşmiştir. Küresel ısınma potansiyelinin bağlı katkısı %10’un üzerinde olan işlem basamakları iyileştirme yapılması durumunda öncelikli müdahale edilmesi gerekli noktalar olarak öne çıkar. Bunun dışında reaktif yıkama, buharlama ve fiksaj, rotasyon baskı ve merserizasyon işlemine tabi tutulan

örneklerde merserizasyon işlemleri küresel ısınma potansiyelini öncelikli arttıran işlemler olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.10. Model-2 numunelerinin küresel ısınma potansiyeli karşılaştırması

Küresel Isınma Potansiyeli (kg CO ₂ eş.) [CML2001-Aug. 2016, Global Warming Potential (GWP 100 years)]						
İşlem Basamakları	GWP100	GWP100	GWP100	GWP100	GWP100	GWP100
	2.1 (Ne 20/1 % 100 CO Bezayağı 141 g/m ²)	2.2 (Ne 30/1 % 100 CO Bezayağı 111 g/m ²)	2.3 (Ne 40/1 % 100 CO Bezayağı 123 g/m ² koyu lacivert renk)	2.4 (Ne 40/1 % 100 CO Bezayağı 123 g/m ² açık sarı renk)	2.5 (Ne 28/1 % 100 CV Bezayağı 193 g/m ²)	2.6 (Ne 40/1 % 100 CO 5'li saten 126 g/m ²)
Toplam	7,57	7,95	7,22	7,9	3,24	6,85
Yakma ve Haşıl Sökme	0,0469	0,0696	0,0549	0,0341	0,0397	0,0395
Ağartma (Kasar)	2,75	3,49	1,92	2,41	1,16	1,73
Merserizasyon	0	0	1,16	1,16	0	0,82
Kurutma ve Egalizasyon	0,145	0,18	0,411	0,556	0,19	0,191
Rotasyon Baskı	1,26	0,444	0,728	1,08	0,399	0,556
Buharlama ve Fiksaj	1,07	1,28	1,2	1,17	0,091	1,8
Reaktif Yıkama	1,29	1,3	0,841	0,911	0,748	0,891
Kurutma ve Bitim işlemleri	0,545	0,719	0,486	0,414	0,296	0,636
Sanforizasyon	0,459	0,471	0,43	0,167	0,322	0,183

*Tabloda koyu renk ile verilen değerler, ilgili işlemin toplam CO₂ eş. 'in %10'undan daha fazla miktarda yük taşıdığını ifade eder. Küresel ısınma potansiyelinin bağlı katkısı %10'un üzerinde olan işlem basamakları iyileştirme yapılması durumunda öncelikli müdahale edilmesi gerekli noktalar olarak algılanmalıdır.

Kumaş parametrelerine göre karşılaştırılabilir numune seçimleri nedeniyle bazı numunelerin iş akışlarında merserizasyon işlemi bulunmamaktadır. GWP100 değeri '0' olarak belirtilen işlemler bunlardır ve bu durum kumaş parametrelerine göre karşılaştırmalara engel teşkil etmemektedir. Yakma ve haşıl sökme nispeten daha düşük enerji tüketimlerinin gerçekleştiği işlem olduğu için tüm numunelerin tüm yaşam döngüsünde GWP100 değerlerine bağlı katkısı, viskon numune hariç, %1'in altında kalmıştır. Benzer şekilde, viskon numunenin yakma ve haşıl sökme işlemi GWP100 değerlerinde de diğer numunelerle belirgin bir farklılık görülmemiştir.

Temel kumaş parametrelerinden gramajın değişimine göre GWP100 değerleri incelenmiştir. GWP 2.1 ve GWP 2.2 arasındaki farklar incelendiğinde, gramajı yüksek olan GWP 2.1'in GWP 2.2'den %5,01 kadar düşük çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni buhar enerjisi başta olmak üzere buharlama, kurutma, fiksaj ve egalizasyon işlemlerinde gerçekleşen enerji tüketimlerinin gramajı düşük kumaşta daha yüksek miktarda gerçekleşmesidir. Bu da kurutma sürelerinin daha uzun olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak detaylı incelemelerde baskı işlem basamağında numune 2.2'nin GWP100 değeri, numune 2.1'den dikkate değer oranda düşük çıkmıştır. Bunun nedeni numune 2.2'nin geçtiği rotasyon baskı makinesinde ısı enerjisi kaynağı olarak doğalgaz kullanılması buna karşılık numune 2.1'in buhar enerjisini doğrudan ısı enerjisi olarak kullanacak şekilde modifiye edilmiş, farklı bir rotasyon baskı makinesinden geçmesidir. Buradan yola çıkarak enerji kaynağının GWP100 değerlerini ne derece önemli oranda etkilediği görülebilmektedir. Yapılan bu modifikasyonun, GWP100 değerlerine negatif katkı sunabileceği gözlemlenmiştir. Tek bir örnekten yola çıkarak kesin yargılara varmak mümkün olmasa da dikkat çeken bu değişimin araştırılmaya değer bulunduğu söylenebilir. Baskı işletmesinde kumaş parametrelerinden gramajın GWP100 değerlerine önemli oranda bir etkisi tespit edilememiştir.

Renk farkının etkisinin incelendiği koyu lacivert renk numune 2.3 ve açık sarı renk numune 2.4 karşılaştırıldığında, GWP 2.3'ün GWP 2.4'ten düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durum açık renk numunenin zemin renginde hataları daha belirgin göstermesi nedeniyle ağartma işlemlerinin daha hassas yapılması ile açıklanabilmekte ve açık renk numunenin ağartma işleminin GWP100 değerlerinin daha yüksek çıkmasından da görülebilmektedir. Bunun dışında renk sayısı daha fazla olan açık renk numunenin rotasyon baskı aşamasında enerji tüketimlerinin nispeten yüksek olması da bu sonuca etki etmektedir. Sonuç itibarıyla, açık ve koyu renk tercihlerinde boyarmadde miktarı, renk koyuluğu yanısıra renk sayısının da enerji tüketimlerini arttırabilmesi nedeniyle GWP100 değerlerinde artışa neden olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.11'de tüm etki kategorilerine göre YDED sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. CML metodu kapsamında kumaş parametrelerine göre karşılaştırmada hemen hemen tüm çevresel etki kategorilerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.11. Model-2 numunelerini CML2001-Aug. 2016 çevresel etki metodolojisi kapsamında tüm etki kategorilerine göre karşılaştırma

Çevresel Etki Kategorileri	Birim	YDED 2.1	YDED 2.2	YDED 2.3	YDED 2.4	YDED 2.5	YDED 2.6
		(Ne 20/1 %100 CO Bezayağı 141 g/m ²)	(Ne 30/1 %100 CO Bezayağı 111 g/m ²)	(Ne 40/1 %100 CO Bezayağı 123 g/m ² koyu lacivert renk)	(Ne 40/1 %100 CO Bezayağı 123 g/m ² açık sarı renk)	(Ne 28/1 %100 CV Bezayağı 193 g/m ²)	(Ne 40/1 %100 CO 5'li saten 126 g/m ²)
Abiyotik elementlerin tüketimi (ADP _{elements})	kg Sbeş.	0,0000133	0,0000146	0,0000109	0,0000147	0,0000044	0,0000109
Abiyotik fosil tüketimi (ADP _{fossil})	MJ	122	124	112	125	50,6	101
Asidifikasyon potansiyeli (AP)	kg SO ₂ eş.	0,0155	0,0305	0,00653	0,00791	0,00388	0,0131
Ötrofikasyon potansiyeli (EP)	kg PO ₄ ⁻³ eş.	0,00456	0,00822	0,00187	0,00262	0,00112	0,00324
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP)	kg DCB eş.	0,0187	0,016	0,0114	0,0161	0,00784	0,0102
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100)	kg CO ₂ eş.	7,57	7,95	7,22	7,9	3,24	6,85
Küresel ısınma potansiyeli(GWP100),excl biogenic carbon	kg CO ₂ eş.	7,7	8,03	7,28	8,02	3,29	6,88
İnsan toksisite potansiyeli (HTP)	kg DCB eş.	0,213	0,203	0,164	0,202	0,0895	0,169
Deniz akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (MAETP)	kg DCB eş.	254	277	203	250	113	278
Ozon tabakası tüketimi potansiyeli (ODP)	R11 eş.	3,18E-11	3.49E-11	2.24E-11	3E-11	1.02E-11	2.43E-11
Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP)	kg C ₂ H ₄ eş.	-0,00296	-0,0104	0,000686	0,000798	0,000335	-0,00206
Karasal ekotoksosite potansiyeli (TETP)	kg DCB eş.	0,0496	0,0413	0,0286	0,0415	0,0189	0,0242

Elyaf cinsi karşılaştırılmasının yapıldığı numunelerde, GWP 2.2, GWP 2.5'ten yaklaşık 2,5 kat daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Viskon ve pamuk numunelerin baskı işletmesindeki yaşam döngüsünde, boyahane işletmesindeki göre tam tersi yöndeki davranışına yol açan sebepler incelendiğinde; pamuk kumaşın yaşam döngüsünde toplam elektrik enerjisi tüketiminin viskon kumaşa göre 1,5 kat, buhar tüketiminin 2 kat, doğalgaz tüketiminin 3,5 kat daha yüksek olarak gerçekleştiği görülmüştür. Bunların dışında viskoz lifinin kimyasal özellikleri göz önüne alındığında daha ılıman şartlarda gerçekleştirilen, hidrojen peroksit ve sodyum hidroksit gibi kimyasalların daha az kullanıldığı ağartma işlemleri başta olmak üzere, yaş işlemlerinin GWP100 değerlerini pozitif yönde etkileyebileceği görülmüştür. Model-2 için de boyahane oluşturulan model gibi kumaş parametreleri açısından en önemli farklılığın YDED 2.2 ve YDED 2.5 arasında elyaf cinsinin değişimiyle gerçekleştiği bulunmuştur.

Kumaş örgü yapısının GWP100'e etkisi karşılaştırıldığında bezayağı kumaşa ait GWP 2.3'ün, saten kumaşa ait GWP 2.6'ye göre 0,37 kg CO₂eş. kadar yüksek çıktığı görülmüştür. Bezayağı numunenin toplam buhar tüketimleri satene göre %30 kadar yüksek gerçekleşmiş, buna bağlı olarak GWP100 değerlerinde de bir artış olmuştur.

Baskı işlemi gören numunelerde, renk sayısı itibariyle çok belirgin bir fark gözlenmemektedir. Bazı numunelere uygulanan merserizasyon işlemi ve baskı makinesindeki ısı enerji kaynağı farkı göz ardı edildiğinde, renk sayısının etkisi daha açık görülmektedir. Özellikle rotasyon baskıdan elde edilen GWP100'ler itibariyle 11 renkli numune 2.1 ve 9 renkli numune 2.4 sırasıyla 1,26 kg CO₂eş. ve 1,08 kg CO₂eş. GWP100 değerleriyle dikkat çekmektedir. Şablon yıkama işlem basamağı dahil edilmemesine rağmen renk sayısının farkının belirgin olduğu söylenebilir.

4.4.2 Model-2 YDED Sonuçlarının Literatür ile Karşılaştırması

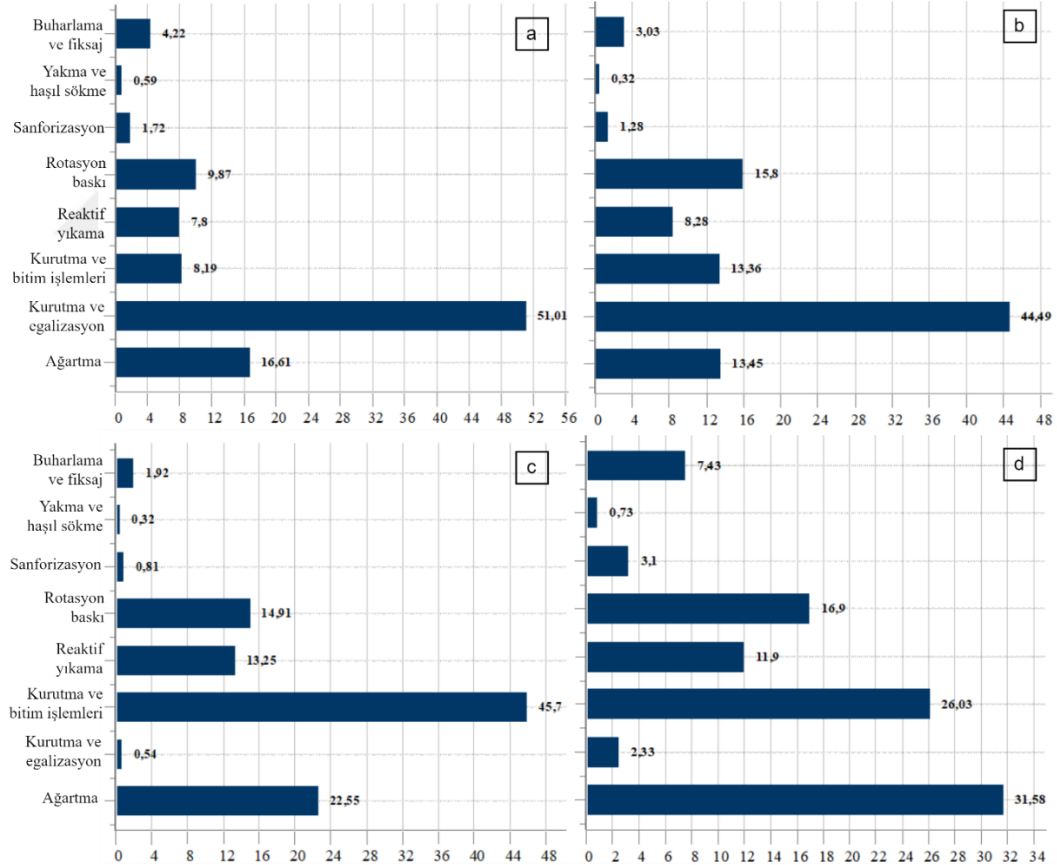
Literatüre bakıldığında tekstil işlemlerinden baskı adımının incelendiği YDD çalışması yok denecek kadar azdır. Dijital ve şablon baskının çevresel etkilerinin kapıdan kapıya karşılaştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada, fonksiyonel birimi 740 m² olan 5 renk baskılı kumaş için, ReCiPe etki metodolojisine göre GWP değeri 648 kg CO₂eş. olarak hesaplanmıştır. Model-2 örnekleri ile karşılaştırmak amacıyla işletmenin ortalama kumaş gramajı olan 140g/m² ile oranlandığında, GWP değeri 1 kg kumaş için 6,17 kg CO₂eş. olarak hesaplanmaktadır. Aynı çalışmada CML metodu AP değerleriyle karşılaştırılabilecek olan TAP (Terrestrial acidification-Karasal asidifikasyon) değeri 1 kg için oranlığında 0,095 kg SO₂ eş. ve tatlı su

ötrofikasyon değeri 0,0117 kg PO₄⁻³eş. değerleri elde edilmektedir. 1 kg kumaş baskısı için oranlanan değerlerin Model-2 sonuçlarıyla uyumlu olduğu kabul edilebilir. Ancak YDD kapsamı ve envanteri açısından doğrudan karşılaştırılabilir örnekler olmadığı da göz önünde bulundurulmalıdır (Kujanpää ve Nors, 2014).

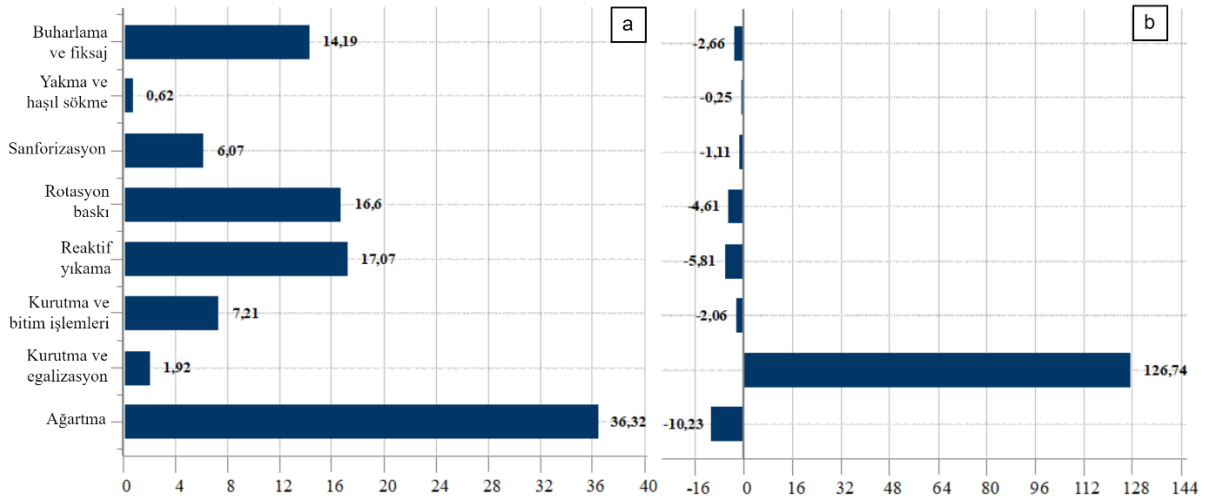
4.4.3 Model-2 Hassas Noktaların Belirlenmesi

4.4.3.1 Numune 2.1'in Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi

Şekil 4.7.'de numune 2.1'in asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), tatlı su akuatikleri ekotoksisite potansiyeli (FAETP), insan toksisite potansiyeli (HTP), Şekil 4.8.'de küresel ısınma potansiyeli (GWP100) ve fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP) değerlerinin, yapılan işleme göre, toplam çevresel etki değerine bağlı katkıları verilmiştir.



Şekil 4.7. Numune 2.1'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksisite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)



Şekil 4.8. Numune 2.1'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO₂eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C₂H₄eş.)

YDED sonucunda numune 2.1'in toplam asidifikasyon potansiyeli 0,0155 kg SO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarına göre kurutma ve egalizasyon (0,00789 kg SO₂eş.), ağartma (0,00257 kg SO₂eş.), rotasyon baskı (0,00153 kg SO₂eş.) ve kurutma ve bitim işlemleri (0,00127 kg SO₂eş.) hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.7. (a)'da sırasıyla %51,01, %16,61, %9,87 ve %8,19 olarak verilmiştir. Kurutma ve egalizasyon işleminde ana kirletici kaynağın inorganik hava emisyonlarından azot monoksit (NO) çıktısı olduğu ve bunun da doğalgaz tüketimine bağlı hava emisyonlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bunun yanısıra ağartma işlemindeki H₂O₂ ve NaOH ile kurutma ve bitim işlemlerinde yumuşatıcı tüketimlerinin de kirletici kaynağı olduğu tespit edilmiştir. Rotasyon baskı işleminde reaktif boyarmadde ve soda tüketimi bu işlem basamağında AP değerini arttırıcı bir etki gösterse de reaktif yıkama adımıdaki buhar tüketimleri toplam AP değerlerine %3,16 bağlı katkıyla daha çok etki etmiştir. Benzer biçimde buharlama ve fiksaj adımıdaki buhar tüketimi de bu iki kirletici kaynağından daha etkili olmuştur.

YDED sonucunda numune 2.1'in toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,00456 kg PO₄⁻³eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre sırasıyla kurutma ve egalizasyon (0,00203 kg PO₄⁻³eş.), rotasyon baskı (0,00072 kg PO₄⁻³eş.), ağartma (0,000613 kg PO₄⁻³eş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,000609 kg PO₄⁻³eş.) hassas nokta olarak tespit edilmiştir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.7. (b)'de sırasıyla %44,49; %15,8; 13,45 ve %13,36 olarak verilmiştir. Toplam EP değerinin %72,9'u NO, (NO_x) gibi inorganik hava emisyonlarından, %26,9'u da amonyum, amonyak, nitrat kirleticilerinin neden olduğu inorganik tatlı su emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Tatlı su emisyonlarının neden olduğu EP değerleri rotasyon baskı

işlemindeki reaktif boyarmadde ve üre kullanımını ile %6,99'luk bir artış göstermektedir. Bunun yanısıra kurutma ve bitim işlemlerinde kullanılan yumuşatıcı aynı anda nitrat, organik azot bağı sayısını ve fosfat kirleticilerini arttırarak toplamda %6,29 bağıl oranla reaktif boyarmaddeye göre daha yüksek bir EP yaratmaktadır. Bu noktada eğer bir iyileştirme yapılacaksa, rotasyon baskı işlem koşulları bütün olarak değerlendirilebilir veya kullanılan yumuşatıcı ile ilgili tek başına bir çalışma yürütülebilir. Diğer taraftan kurutma ve egalizasyon işleminde tüketilen doğalgaz enerjisi de EP değerini 0,002 kg PO₄⁻³eş. kadar önemli miktarda arttıran bir ana kirletici kaynağı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ağartma işlemindeki hidrojen peroksit ve sodyum hidroksit kullanımını da toplamda %8,69 gibi dikkate değer oranda EP değerini arttırmaktadır.

YDED sonucunda numune 2.1'in toplam tatlı su akuatikleri ekotoksisite potansiyeli 0,0187 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,00854 kg DCBeş.), ağartma (0,00421 kg DCBeş.), rotasyon baskı (0,00279 kg DCBeş.), reaktif yıkama (0,00248 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.7. (c)'de sırasıyla %45,7; %22,55; 14,91; ve %13,25 olarak verilmiştir. Toplam FAETP'nin 0,0106 kg DCBeş. kadarı tatlı su emisyonlarından, 0,00716 kg DCBeş. kadarı tarım arazisi emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Kurutma ve bitim işlemlerindeki yumuşatıcı girdisinin FAETP değerine bağıl katkısı %42,7 çıkararak ana kirletici kaynağı olduğu açığa çıkmıştır. Bunun önemli bir bölümü nikel, bakır ve çinko gibi ağır metallerin tarım arazisine emisyonlarından oluşmaktadır, %11'lik bir kısmı da tatlı su nikel emisyonları ile ilişkilidir. Ağartma işleminde açığa çıkan FAETP önemli oranda, H₂O₂, NaOH ve iyon tutucu girdilerinden kaynaklanmaktadır. İşlem basamakları kirletici kaynakları ayrıntılı olarak incelendiğinde reaktif boyarmadde, yıkama maddesi, H₂O₂, NaOH ve iyon tutucu gibi girdiler yaklaşık olarak %5-6 aralığında bir bağıl katkıyla FAETP değerlerini arttırsa da kimyasallar açısından rotasyon baskı işleminde kullanılan iyon tutucu %8,16 bağıl katkıyla öne çıkan kirletici kaynağı olmuştur.

YDED sonucunda numune 2.1'in toplam insan toksisite potansiyeli 0,213 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,0673 kg DCBeş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,0554 kg DCBeş.), rotasyon baskı (0,036 kg DCBeş.) ve reaktif yıkama (0,0253 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.7 (d)'de sırasıyla %31,58; %26,03; 16,9 ve %11,9 olarak verilmiştir. Tüm işlemler incelendiğinde, ağartma işlemindeki HTP değerleri 0,0324 kg DCBeş ve 0,0179 kg DCBeş.

olan H₂O₂ ve NaOH ana kirleticiler olarak değerlendirilmiştir. Bunların üretiminde ortaya çıkan, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, benzen ve formaldehit kaynaklı uçucu organik hava emisyonu oluşturma potansiyeli bu sonucu doğurmuştur. Bunun yanısıra hassas nokta olarak belirlenen işlemler ayrıntılı incelendiğinde kurutma ve bitim işlemlerinde yumuşatıcı kullanımı, Cr+3, Pb gibi kirleticiler yoluyla, tarım arazisi emisyonlarını arttırarak, toplam HTP değerinin %20,1'ini oluşturmuştur. Burada dikkat çekici bir ayrıntı, hassas nokta olarak öne çıkarılmayan buharlama ve fiksaj işlemindeki buhar enerjisi tüketiminin, reaktif boyarmadde, kıvamlaştırıcı, yıkama maddesi gibi hassas nokta olan işlem basamakları kirletici kaynaklarından daha yüksek olacak şekilde, %6,71 bağıl katkıyla çok daha kritik bir nokta olarak göze çarpmasıdır.

YDED sonucunda numune 2.1'in toplam küresel ısınma potansiyeli 7,57 kg CO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (2,75 kg CO₂eş.), reaktif yıkama (1,29 kg CO₂eş.), rotasyon baskı (1,26 kg CO₂eş.), buharlama ve fiksaj (1,07 kg CO₂eş.), işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.8 (a)'da sırasıyla %36,32; %17,07; 16,6 ve %14,19 olarak verilmiştir. Ağarma işlemlerindeki H₂O₂ ve NaOH girdilerinin üretimlerinden kaynaklanan %17,6 ve %7,9 oranındaki CO₂ emisyonları kimyasal tüketimleri göz önüne alındığında öne çıkan kirletici kaynakları olarak açığa çıkmıştır. Ancak tüm işlemler birlikte incelendiğinde toplam GWP100 büyük oranda buhar başta olmak üzere enerji tüketimlerinin hava emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Bunun %96,7'si CO₂ kaynaklı kirleticiler, geri kalanı (%3,87) metan gibi organik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Tüm işlemler birlikte düşünüldüğünde buhar tüketimi ana kirletici kaynağı olarak görülen buhar tüketimleri %13,6 oranında buharlama ve fiksaj ve %11,9 oranında reaktif yıkama işlemlerinde açığa çıkmıştır. Ayrıca enerji seçim parametreleri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynak kullanımından dolayı girdiler yönünde -%6,75'lik pozitif bir katkı söz konusudur. Bu da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemini gösteren dikkat çekici bir sonuçtur. Enerji kaynaklarının dağılımı yenilenebilir enerji kaynakları yönünde artış gösterdiğinde; mevcut çevresel etki değerlerinin anlamlı oranda düşeceğini göstermesi açısından önemlidir.

YDED sonucunda numune 2.1'in toplam fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP) -0,00289 kg C₂H₄eş. olarak bulunmuştur. Burada çevresel etki kategorilerinin değerlendirilmesi açısından negatif yönlü farklı bir sonuç elde edilmiştir. Kurutma ve egalizasyon bölümü POCP'nin tamamını oluşturan bölüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Azot monoksitler ana kirletici olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.8 (b)'de verilmiştir. Kurutma ve egalizasyon bölümünün hassas nokta olarak

belirlenmesinin nedeni doğalgaz tüketiminden kaynaklı NO ve (NO_x) hava emisyonu çıktıları ile ilişkilidir. Diğer taraftan numune 2.1'e benzer şekilde numune 2.2 ve numune 2.6'nın diğer işlem basamaklarında hesaplama dahil edilen kirleticilerden NO ve (NO_x) emisyonlarının olmaması nedeniyle negatif POCP değerleri elde edilmiştir.

Bu fenomenin ayrıntılı olarak açıklanması gerekli görülmüştür. POCP'nin hesaplanması oldukça karmaşık ve tartışmalı bir alandır. Doğrudan olumsuz sağlık etkileri dışında, uçucu organik bileşiklerin (Volatile organic compound-VOC) emisyonlarının en önemli olumsuz çevresel etkisi, troposferik O₃ üretimidir. UV ışınları ve NO_x varlığında, VOC'lerin atmosferik bozunması, troposferde yer seviyesindeki O₃ ve diğer fotooksidantların oluşumuna neden olur. O₃, yüksek konsantrasyonlarda insanlara, düşük konsantrasyonlarda bitkilere zarar verir. Yer seviyesindeki O₃'ü azaltmak için başlatıcı emisyonları azaltmak gerekir. POCP hesaplamalarında, O₃ oluşturma oranını sınırlayacak başlatıcılar, tek başına NO_x veya VOC'ler olabildiği gibi, her ikisinin farklı konsantrasyonlardaki kombinasyonu olarak da değerlendirilir. NO_x/VOC ortamının POCP değerlerini önemli derecede etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle, O₃ oluşumunu azaltma stratejilerinde genellikle, NO_x ve VOC'lerin kombinasyonunun kontrolü üzerine odaklanılmıştır (UNECE, 1988).

POCP değeri, belirli bir VOC'den üretilen O₃ miktarının, ağırlıkça eşit miktarda etilen emisyonundan üretilen O₃ miktarına bölünmesiyle elde edilen, göreceli bir değer olarak hesaplanır. Ancak uçuculuk, suda çözünürlük, reaktifliklerine bağlı olarak atmosferik reaksiyonları bakımından VOC'ler O₃ üretme potansiyelleri açısından farklılık gösterirler. Atık yönetimi, geri dönüşüm, yenilenebilir enerji vb. çalışmalarda çevresel etkilerin azaltılmasına dönük sonuçlar negatif değerler olabilirler. Ancak POCP çok yönlü değerlendirilmesi gereken bir çevresel etki kategorisidir. Yeni yayılan kirleticiler, ortamda mevcut bulunan ozon da dahil olmak üzere diğer kirleticilerle karışır ve karmaşık reaksiyonlarla sürekli seyreltme süreci gerçekleşir. VOC'lerin atmosferik bozunmasının nihai ürünleri CO₂ ve sudur. Ozon üreten fotokimyasal zincir reaksiyonu, reaktif radikaller tarafından başlatılır ve sürdürülür. Bu süreçte peroksi asetil nitrat, nitrik asit, aldehitler, organik asitler, partiküller ve birçok kısa ömürlü radikal türü gibi diğer ürünler oluşur. VOC'ler, ozon oluşum sürecinde başlatıcı görevi görürken NO, oluşum sürecinde yeniden üretildiği için aşağı yukarı bir katalizör görevi görür. NO ayrıca reaktif radikallerin rejenerasyonunda ve reaksiyonların daha da ilerlemesinde anahtar rol oynar. Troposferik kimyanın doğrusal olmaması nedeniyle, NO_x için POCP değerleri bazı koşullar için negatif değerler olabilir ve bu nedenle yanlış çıkarımlara yol açabilmektedir. (Andersson-

Sköld, Y., Grennfelt, P. ve Pleijel, K. 1992; Altenstedt ve Pleijel, ,1998; Ramos, Teixeira ve Rouboa, 2019). Bunun yanısıra CML2001 metodolojisi, NO için negatif bir karakterizasyon faktörü kullanmaktadır. Bu da POCP değerlerinin tüketimlerden kaynaklı emisyon değerlerinin artışı gibi bazı durumlarda, negatif değer vermesi nedeniyle yanıltıcı yorumlara neden olabilir (Held ve Schücking, 2019). Zamana bağlı olarak hesaplanan POCP değerleri bazı durumlarda, bazı VOC'lerin ve NO'lerin reaksiyona katılma durumlarını göstermede ve POCP değerlerinin gerçek sonuçlarının açığa çıkarılmasında yetersiz kaldığı düşünülmektedir. Bu nedenle, özellikle ürün bazlı ve karşılaştırma çalışmalarında POCP değerlerine yönelik ek çalışmalara ihtiyaç vardır. Çalışmada, sıra dışı bir sonuç elde edilmesi açısından, POCP değerleri hassas nokta incelemelerinde açıklanmıştır.

Çizelge 4.12'de numune 2.1'in işlem basamaklarına göre hassas nokta olarak tespit edilen işlemler verilmiştir.

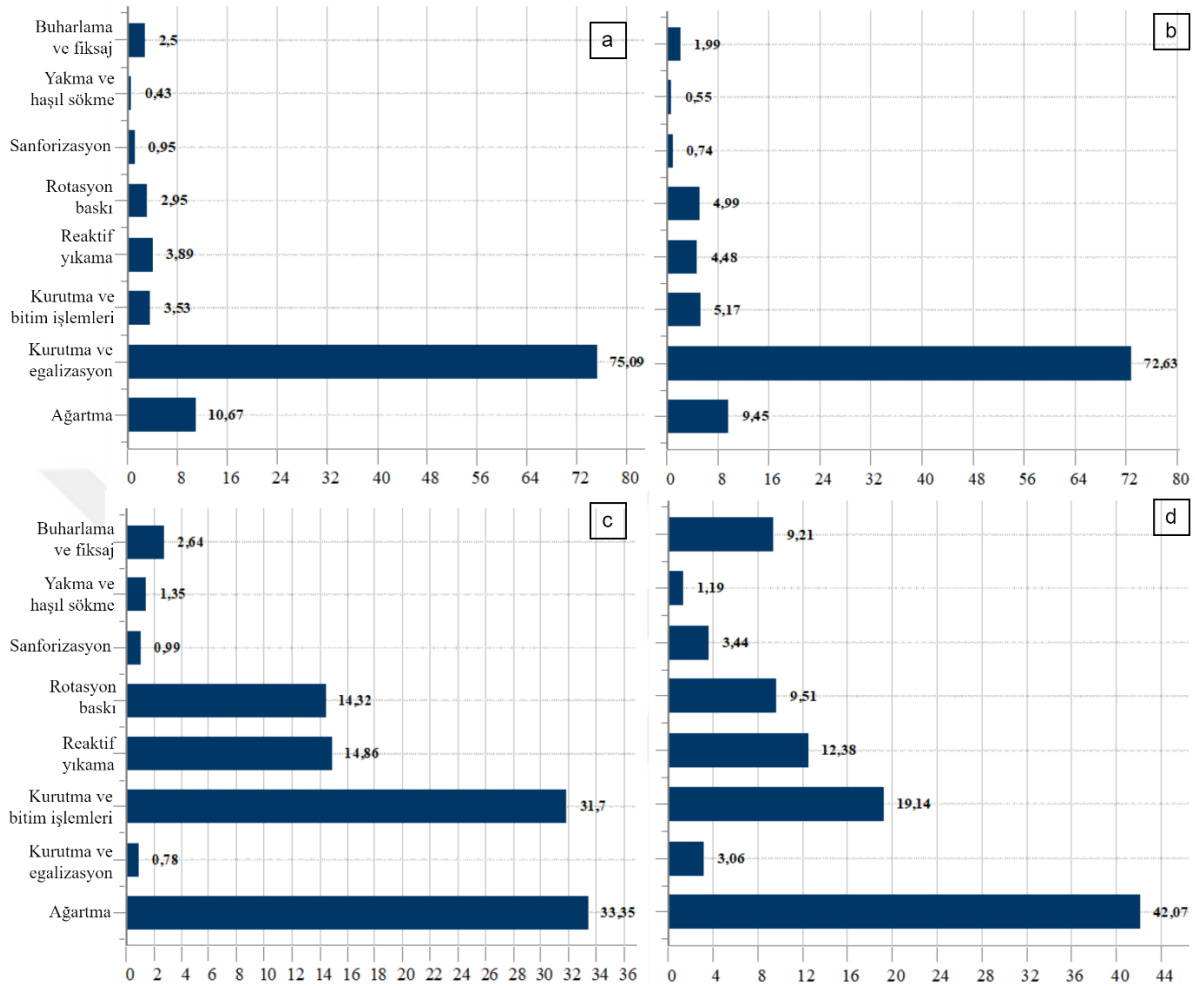
Çizelge 4.12. Numune 2.1'in işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini

YDED 2.1 (Ne 20/1 % 100 CO Bezayağı 141 g/m²)		
Çevresel Etki Kategorisi	GaBi Yazılımı	AB-JRC Kılavuzu
Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.)	1-Kurutma ve egalizasyon	1-Kurutma ve egalizasyon
	2-Ağartma	2-Ağartma
		3-Rotasyon baskı
		4-Kurutma ve bitim işlemleri
Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ³⁻ eş.)	1-Kurutma ve egalizasyon	1-Kurutma ve egalizasyon
	2-Rotasyon baskı	2-Rotasyon baskı
	3-Ağartma	3-Ağartma
	4-Kurutma ve bitim işlemleri	4-Kurutma ve bitim işlemleri
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Ağartma	2-Ağartma
	3-Rotasyon baskı	3-Rotasyon baskı
	4-Reaktif yıkama	
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Reaktif yıkama	2-Reaktif yıkama
	3-Rotasyon baskı	3-Rotasyon baskı
	4-Buharlama ve fiksaj	4-Buharlama ve fiksaj
İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Kurutma ve bitim işlemleri	2-Kurutma ve bitim işlemleri
	3-Rotasyon baskı	3-Rotasyon baskı
	4-Reaktif yıkama	4-Reaktif yıkama
Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.)	1-Kurutma ve egalizasyon	1-Kurutma ve egalizasyon

4.4.3.2 Numune 2.2'nin Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi

Şekil 4.9.'da numune 2.2'nin asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP), insan toksisite potansiyeli (HTP), Şekil 4.10.'da küresel ısınma potansiyeli (GWP100) ve fotokimyasal ozon oluşturma

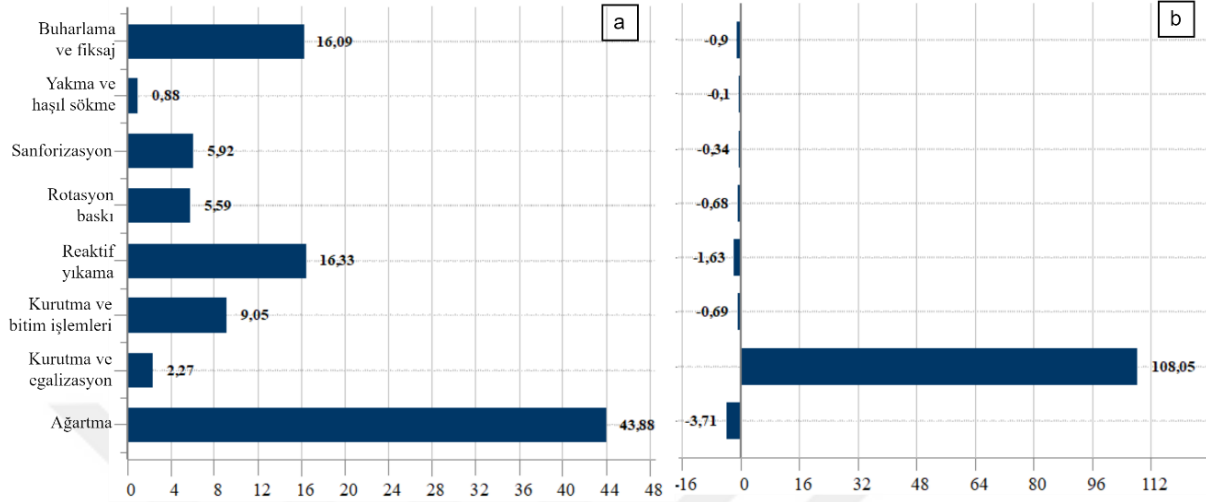
potansiyeli (POCP) değerlerinin, yapılan işleme göre, toplam çevresel etki değerine bağlı katkıları verilmiştir.



Şekil 4.9. Numune 2.2'nin çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksisite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)

YDED sonucunda numune 2.2'nin toplam asidifikasyon potansiyeli 0,0305 kg SO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre kurutma ve egalizasyon (0,0229 kg SO₂eş.) ve ağartma (0,00326 kg SO₂eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.9. (a)'da sırasıyla %75,01 ve %10,67 olarak verilmiştir. Kurutma ve egalizasyon işlemleri sırasında gramajı düşük numunede, özellikle doğalgaz enerjisi tüketiminin daha yüksek olması nedeniyle NO, CO ve (NO_x) emisyon değerleri de daha yüksek ölçülmüştür. Bu durum gramajı düşük numunenin baskı öncesi en boy ayarlama işlem sürelerinin daha uzun olması ile açıklanabilmektedir. Bunun yanısıra baskı işlemleri sırasında gramajı düşük olan numunenin geçtiği makinenin ısıtma sistemi doğalgaz enerjisiyle

çalıştığından emisyon çıktıları bu işlemde yüksek olmasına rağmen gramaj farkına bağlı olarak artan kimyasal tüketimleri, bu işlem adımında farklı gramajlar için birbirine yakın sonuçlar elde edilmesine neden olmuştur.



Şekil 4.10. Numune 2.2'nin çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO₂eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C₂H₄eş.)

YDED sonucunda numune 2.2'nin toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,00822 kg PO₄⁻³eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre sırasıyla kurutma ve egalizasyon (0,00597 kg PO₄⁻³eş.) ve ağırtma (0,000777 kg PO₄⁻³eş.) işlemleri hassas nokta olarak tespit edilmiştir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.9. (b)'de sırasıyla %72,63 ve %9,45 olarak verilmiştir. Kirleticilerin dağılımı olarak bakıldığında numune 2.1 ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Burada da kurutma ve egalizasyon işlemindeki doğalgaz tüketimi ana kirlenici kaynağı olarak öne çıkmış ve bununla bağlantılı NO hava emisyonları önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmıştır. Bundan farklı olarak baskı işleminde kullanılan doğalgaz girdisi, bu işlemlerdeki kimyasalların bağlı değerlerini düşürmüştür. Gramajın düşük olması kimyasal tüketimlerinin azalmasına bağlı EP değerlerini düşürmüştür de işlem süreleri uzayan baskı ve kurutma işlemlerinden kaynaklı hava emisyonlardaki artışları EP değerlerinin düşmesine engel olmuştur.

YDED sonucunda numune 2.2'nin toplam tatlı su akuatikleri ekotoksisite potansiyeli 0,016 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağırtma (0,00535 kg DCBeş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,00509 kg DCBeş.), reaktif yıkama (0,00239 kg DCBeş.) ve rotasyon baskı (0,0023 kg DCBeş.), işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.9. (c)'de sırasıyla %33,35; %31,7; 14,86; ve %14,32

olarak verilmiştir. Kurutma ve bitim işlemlerindeki ana kirletici olarak tespit edilen yumuşatıcı girdisinin FAETP değeri, gramaja bağlı tüketim azalması nedeniyle, bu işlem basamağında gramajı yüksek numuneye göre 0,0026 kg DCBeş. kadar düşük çıkmıştır. Bu değer yakma ve haşıl sökme, buharlama ve fiksaj ve sanforizasyon işlemlerinin FAETP değerlerinin toplamından çok daha yüksek çıkmıştır. Gramaj düşüşüne bağlı yumuşatıcı tüketiminin yaklaşık %50 oranında az olması rotasyon baskı veya reaktif yıkama FAETP değerleri kadar bir kazanım sağlamıştır. Bunun dışında gramajı düşük numune ile benzer şekilde, ağartma işleminde H₂O₂, NaOH ve iyon tutucu, reaktif yıkama işleminde yıkama maddesi, rotasyon baskı işleminde kıvamlaştırıcı %5 ile %10 arası bağıl değerlerle kirletici kaynağı olarak görülmektedirler.

YDED sonucunda numune 2.2'nin toplam insan toksisite potansiyeli 0,203 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,0853 kg DCBeş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,0388 kg DCBeş.), reaktif yıkama (0,0251 kg DCBeş.) ve rotasyon baskı (0,0193 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.9 (d)'de sırasıyla %42,07; %19,14; 12,38 ve %9,51 olarak verilmiştir. Burada da numune 2.1'de olduğu gibi ağartma işlemlerinde H₂O₂ ve NaOH, kurutma ve bitim işlemlerinde yumuşatıcı girdisi, reaktif yıkama işleminde buhar tüketimleri ana kirleticiler olarak bulunmuş olup hassas nokta olarak tespit edilmeyen buharlama ve fiksaj işleminde buhar tüketimleri de %8,45 bağıl katkıyla HTP değerinde dikkate değer bir artışa neden olmuştur.

YDED sonucunda numune 2.2'nin toplam küresel ısınma potansiyeli 7,95 kg CO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (3,49 kg CO₂eş.), reaktif yıkama (1,3 kg CO₂eş.), buharlama ve fiksaj (1,28 kg CO₂eş.) ve kurutma ve bitim işlemleri (0,719 kg CO₂eş.), hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.10 (a)'da sırasıyla %43,88; %16,33; 16,09 ve %9,05 olarak verilmiştir. Ağartma işlemlerindeki H₂O₂ ve NaOH girdilerinin üretimlerinden kaynaklanan %22,3 ve %9,99 oranındaki CO₂ emisyonları, kimyasal tüketimleri göz önüne alındığında öne çıkan kirletici kaynaklarıdır. Numune 2.1'de olduğu gibi burada da tüm işlemlerin toplam buhar tüketimlerinin yüksek miktarlarda gerçekleşmesi, GWP100 değerlerinin artışını %47,56 oranında artırmıştır. Numune 2.2'nin gramajlı yüksek numuneye göre, buhar tüketimleri %3, elektrik tüketimleri %13 civarında daha yüksek gerçekleşmiş, bu da GWP100 değerlerini, düşük kimyasal kullanımı gibi faktörlere rağmen yükseltmiştir.

YDED sonucunda numune 2.2'nin toplam fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP) -0,0104 kg C₂H₄eş. olarak bulunmuştur. İşlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.10 (b)'de verilmiştir. Burada da numune 2.1'de olduğu gibi çevresel etki kategorilerinin değerlendirilmesi açısından negatif yönlü bir sonuç elde edilmiştir. Kurutma ve egalizasyon bölümü POCP'nin tamamını oluşturan bölüm olarak bulunmuştur. Bu farklı sonuç, numune 2.1'de de açıklandığı şekliyle, numunenin işlem gördüğü makinenin doğalgaz tüketimine sahip olması nedeniyle, NO ve (NO)_x hava emisyonları ölçümlerinin diğer numunelere göre yüksek çıkmasıdır.

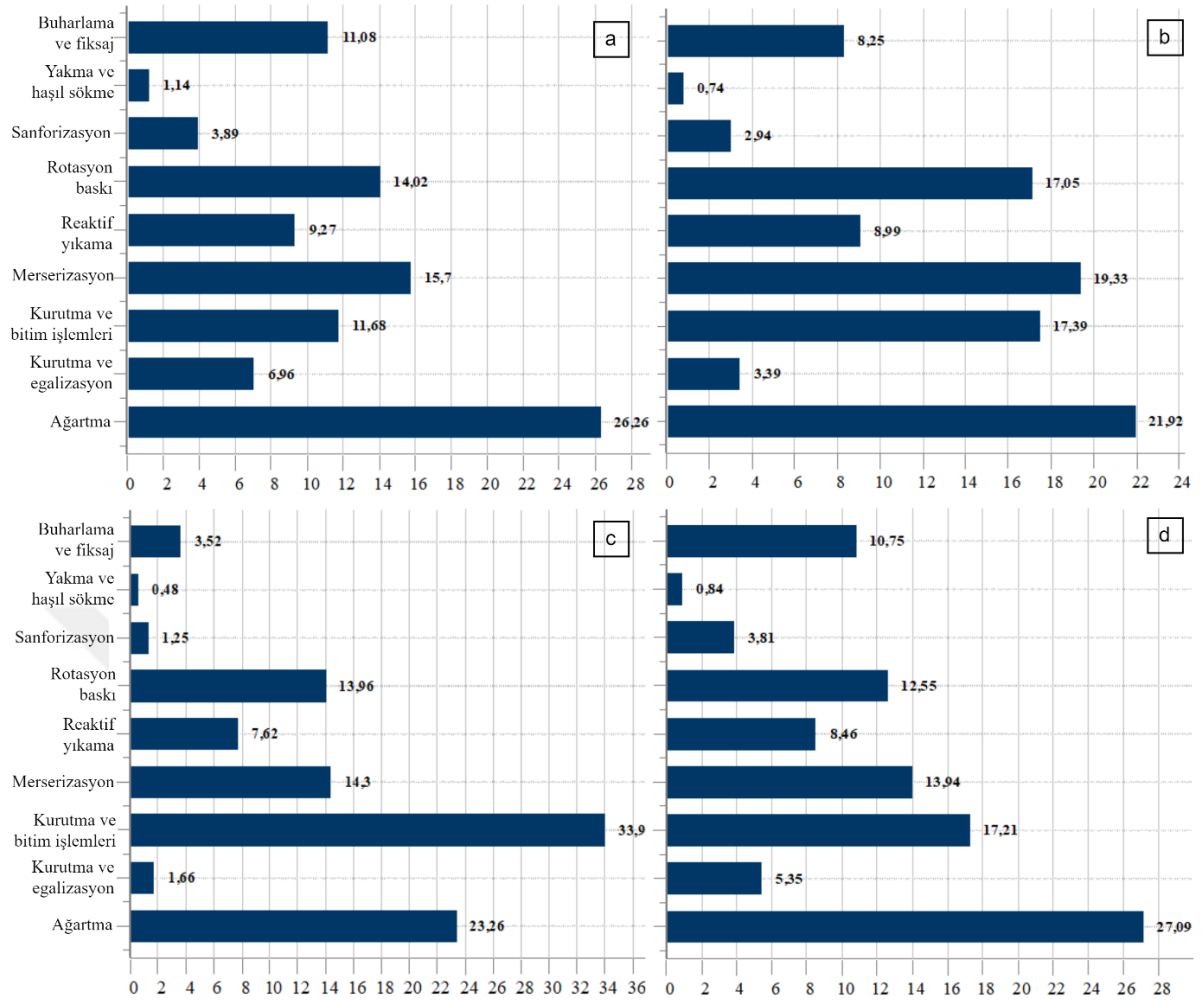
Çizelge 4.13'te numune 2.2'nin işlem basamaklarına göre hassas nokta olarak tespit edilen işlemler verilmiştir.

Çizelge 4.13. Numune 2.2'nin işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini

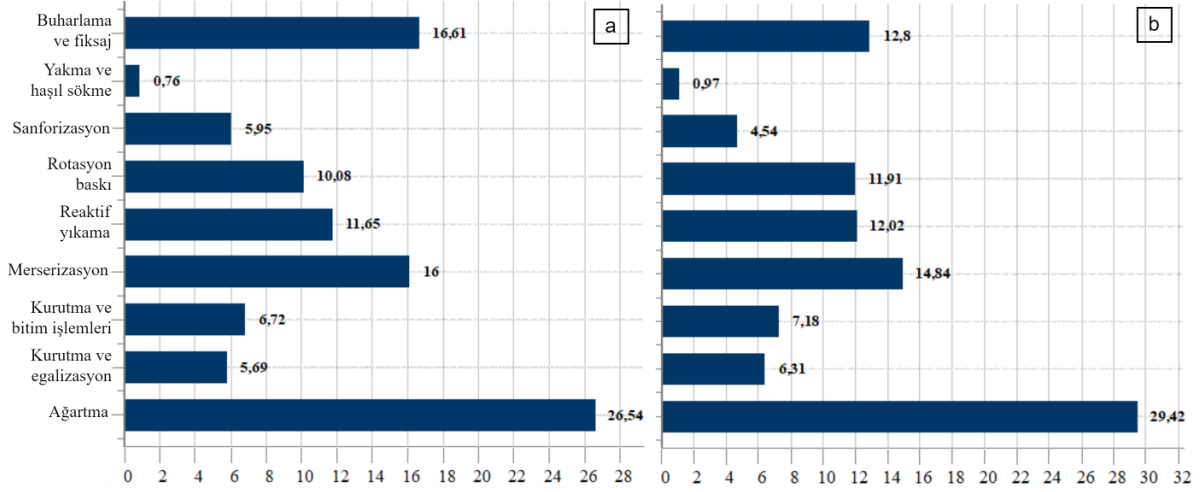
YDED 2.2 (Ne 30/1 % 100 CO Bezayağı 111 g/m²)		
Çevresel Etki Kategorisi	GaBi Yazılımı	AB-JRC Kılavuzu
Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.)	1-Kurutma ve egalizasyon	1-Kurutma ve egalizasyon
	2-Ağartma	2-Ağartma
Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.)	1-Kurutma ve egalizasyon	1-Kurutma ve egalizasyon
		2-Ağartma
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Kurutma ve bitim işlemleri	2-Kurutma ve bitim işlemleri
	3-Reaktif yıkama	3-Reaktif yıkama
	4-Rotasyon baskı	4-Rotasyon baskı
Küresel ısınma potansiyeli (GWP 100-kg CO ₂ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Reaktif yıkama	2-Reaktif yıkama
	3-Buharlama ve fiksaj	3-Buharlama ve fiksaj
		4-Kurutma ve bitim işlemleri
İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Kurutma ve bitim işlemleri	2-Kurutma ve bitim işlemleri
	3-Reaktif yıkama	3-Reaktif yıkama
		4-Rotasyon baskı
Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.)	1-Kurutma ve egalizasyon	1-Kurutma ve egalizasyon

4.4.3.3 Numune 2.3'ün Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi

Şekil 4.11.'de numune 2.3'ün asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP), insan toksisite potansiyeli (HTP), Şekil 4.12.'de küresel ısınma potansiyeli (GWP100) ve fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP) değerlerinin, yapılan işleme göre, toplam çevresel etki değerine bağlı katkıları verilmiştir.



Şekil 4.11. Numune 2.3'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)



Şekil 4.12. Numune 2.3'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO₂eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C₂H₄eş.)

YDED sonucunda numune 2.3'ün toplam asidifikasyon potansiyeli 0,00653 kg SO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,00171 kg SO₂eş.), merserizasyon (0,00102 kg SO₂eş.), rotasyon baskı (0,000915 kg SO₂eş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,000762 kg SO₂eş.), buharlama ve fiksaj (0,000723 kg SO₂eş.) ve reaktif yıkama (0,000605 kg SO₂eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.11. (a)'da sırasıyla %26,26; %15,7; %14,02; %11,68; %11,08 ve %9,27 olarak verilmiştir. Kurutma ve egalizasyonda diğer numunelerden farklı olarak doğalgaz enerjisi yerine buhar enerjisi tüketilmesi nedeniyle NO, (NO_x) ve CO emisyon değerleri çıktısı bulunmadığı için AP değerleri oldukça düşük çıkmıştır. Ağartma işleminde H₂O₂ ve NaOH tüketimleri ile buharlama ve fiksaj adımıdaki buhar tüketimi önemli kirletici kaynakları olarak tespit edilmiştir.

YDED sonucunda numune 2.3'ün toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,00822 kg PO₄⁻³eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,000409 kg PO₄⁻³eş.), merserizasyon (0,000361 kg PO₄⁻³eş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,000325 kg PO₄⁻³eş.), rotasyon baskı (0,000318 kg PO₄⁻³eş.) ve reaktif yıkama (0,000168 kg PO₄⁻³eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.11. (b)'de sırasıyla %21,92; %19,33; %17,39, %17,05 ve %8,99 olarak verilmiştir. Bağlı değerleri birbirine oldukça yakın olan hassas noktadaki işlem basamakları ayrıntılı olarak incelendiğinde; öne çıkarılacak farklı kirletici kaynaklarına göre farklı değerlendirmeler yapılabilir. Örneğin tek tek işlem basamaklarındaki buhar tüketimleri anlamlı oranlarda yüksek sonuç vermeseler de numunenin

tüm yaşam döngüsünde toplam buhar tüketiminin bağıl katkısı %30'un üzerinde gerçekleşmiş olup, inorganik hava emisyonu değerlerini oldukça yükseltmektedir. Bu bakış açısıyla ana kirletici kaynağı buhar tüketimleri olarak değerlendirilebilir. Buhar tüketiminden kaynaklı EP değerleri diğer numunelerde de olduğu gibi buharlama ve fiksaj işleminde %7,74 oranında gerçekleşen en yüksek değerdir. Bir başka bakış açısıyla da kurutma ve bitim işlemlerindeki yumuşatıcı tüketiminin EP değeri 0,000195 kg PO₄⁻³eş. olarak bulunmuştur. Bu değer %10,1 bağıl katkıyla EP değerini yükselterek, inorganik tatlı su emisyonlarını arttıran ana kirletici kaynaklarından biri olarak vurgulanabilir.

YDED sonucunda numune 2.3'ün toplam tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli 0,0114 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,00386 kg DCBeş.), ağartma (0,00264 kg DCBeş.) merserizasyon (0,00163 kg DCBeş.) ve rotasyon baskı (0,00159 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.11. (c)'de sırasıyla %33,9; %23,26; 14,3; ve %13,96 olarak verilmiştir. Hassas noktalar incelendiğinde, %29,4 oranında FAETP açığa çıkaran yumuşatıcı tüketimleri ana kirletici kaynağı olarak bulunmuştur. Bunun yanısıra rotasyon baskı işleminde %8,29 bağıl katkıyla FAETP değerini arttıran kıvamlaştırıcı da kirletici kaynağı olarak dikkat çekmektedir. Merserizasyon ve ağartma işlemlerinde tüketilen toplam sodyum hidroksitin FAETP değeri 0,000994 kg DCBeş. olarak gerçekleşmesi yanı sıra iyon tutucu tüketimlerinin ek %6,34'lük bir artışa neden olması, bu işlemlere bağlı atık su yükünün daha da yükselmesine neden olmaktadır. Sadece bu iki işlemde bahsi geçen kimyasalların tüketimlerinin FAETP'ye bağıl katkısı %21,7 oranında gerçekleşmekte olup, buna atık su emisyon değerlerinin katkısı dahil değildir. Buradan yola çıkarak ağartma ve merserizasyon işlemlerinde H₂O₂, NaOH, İyon tutucu tüketimlerinin işlem optimizasyonlarıyla düşürülmesi gerekliliği öne sürülebilir.

YDED sonucunda numune 2.3'ün toplam insan toksisite potansiyeli 0,164 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,0444 kg DCBeş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,0282 kg DCBeş.), merserizasyon (0,0228 kg DCBeş.), rotasyon baskı (0,206 kg DCBeş.) ve buharlama ve fiksaj (0,0176 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.11 (d)'de sırasıyla %27,09; %17,21; 13,94; %12,55 ve %10,75 olarak verilmiştir. Ağartma işleminde HTP değeri 0,0192 kg DCBeş. olan H₂O₂, kurutma ve bitim işlemlerinde 0,0183 kg DCBeş. olan yumuşatıcı, buharlama ve fiksaj işleminde 0,016 kg DCBeş. olan buhar tüketimleri, ana kirletici kaynakları

olarak tespit edilmiştir. Burada diğer numunelerden farklı olarak merserizasyon işleminin varlığı NaOH tüketimlerini görünmez kılmıştır. Ağartma ve merserizasyon işlemleri birlikte değerlendirildiğinde NaOH tüketimlerinin diğer numunelerde olduğu gibi toplamda yaklaşık %11 gibi bir bağıl katkıyla önemli bir kirletici kaynağı olduğu öne çıkmaktadır.

YDED sonucunda numune 2.3'ün toplam küresel ısınma potansiyeli 7,22 kg CO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (1,92 kg CO₂eş.), buharlama ve fiksaj (1,2 kg CO₂eş.), merserizasyon (1,16 kg CO₂eş.), reaktif yıkama (0,841 kg CO₂ eş.), ve rotasyon baskı (0,728 kg CO₂ eş.), işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.12 (a)'da sırasıyla %26,54; %16,61; %16; %11,65 ve %10,08 olarak verilmiştir. Birincil hassas nokta olarak bulunan ağartma işleminde H₂O₂ tüketimleri %11,5 oranında GWP100 değerini arttırmaktadır. Bağıl olarak en yüksek etkiyi toplam buhar tüketimleri oluşturmuştur. Bunların içinde buharlama ve fiksaj işleminde %16 oranında, merserizasyon işleminde 10,9, reaktif yıkama işleminde %10,1 bağıl katkıyla buhar tüketimi ana kirletici kaynağı olarak açığa çıkmakta ve yüksek oranda CO₂ hava emisyonları ile GWP100 değerini arttırmaktadır.

YDED sonucunda numune 2.3'ün toplam fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli 0,000686 kg C₂H₄eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,000202 kg C₂H₄eş.), merserizasyon (0,000102 kg C₂H₄eş.), buharlama ve fiksaj (0,0000878 kg C₂H₄eş.), reaktif yıkama (0,0000824 kg C₂H₄eş.), ve rotasyon baskı (0,0000817 kg C₂H₄eş.), işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.12 (b)'de sırasıyla %29,42; %14,84; %12,8; %12,02 ve %11,91 olarak verilmiştir. Burada ağartma işleminde tüketilen iyon tutucunun açığa çıkardığı metan, hidrokarbon gibi uçucu organik bileşikler ile H₂O₂ ve NaOH kaynaklı (NO_x) kirleticileri POCP değerlerini arttırmakta ve kirletici kaynağı olarak görülmektedir. Tüm işlemler birlikte incelendiğinde ağartma ve merserizasyon işlemlerindeki (NO_x) ve uçucu organik bileşik açığa çıkarma potansiyeli yüksek, NaOH ve H₂O₂ tüketimleri, buharlama ve fiksaj işlemlerindeki buhar tüketimleri öne çıkan kirleticiler olarak bulunmuştur.

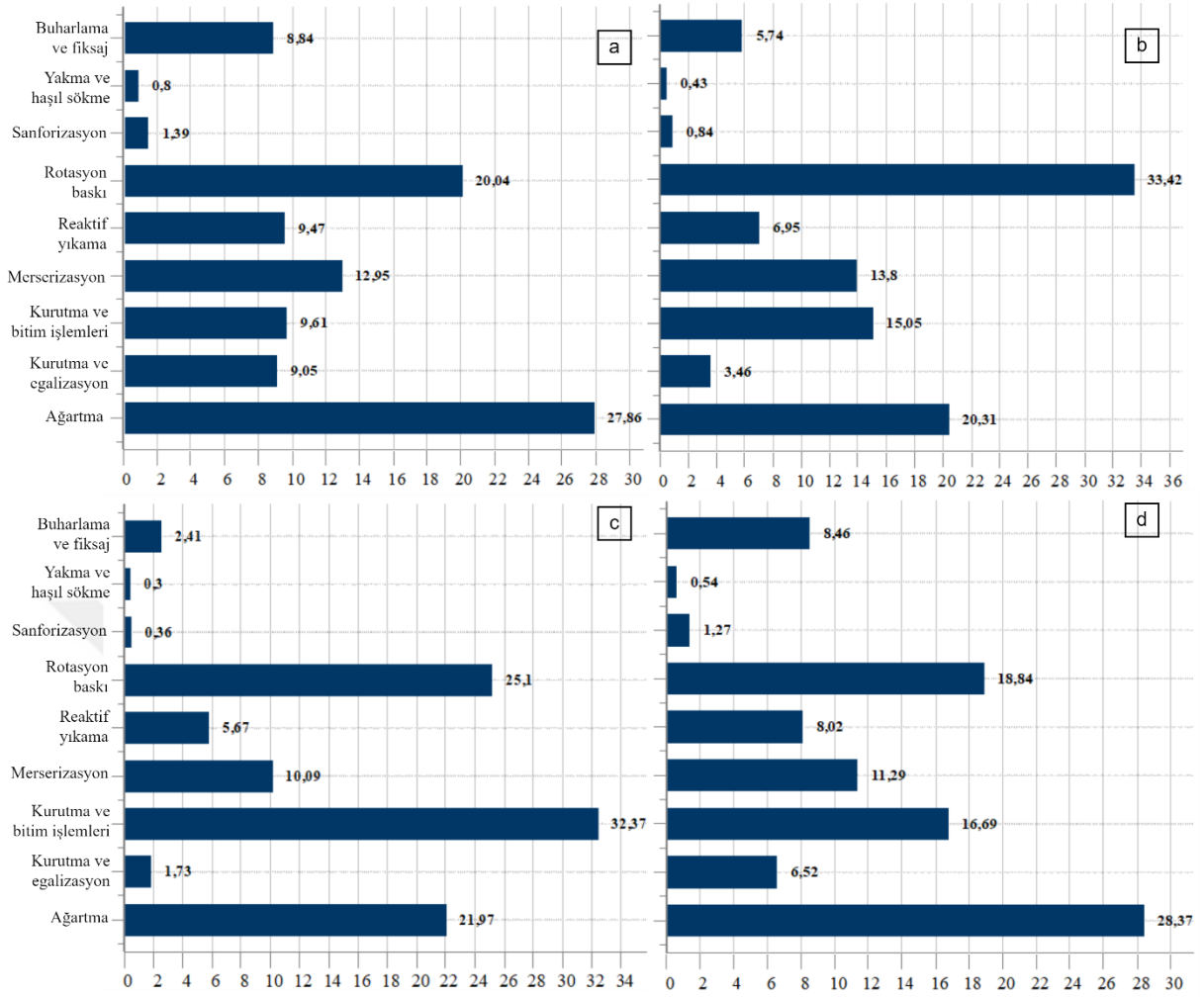
Çizelge 4.14'te Numune 2.3'ün işlem basamaklarına göre hassas nokta olarak tespit edilen işlemler verilmiştir.

Çizelge 4.14. Numune 2.3'ün işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini

YDED 2.3 (Ne 40/1 %100 CO Bezayağı 123 g/m ² koyu lacivert renk)		
Çevresel Etki Kategorisi	GaBi Yazılımı	AB-JRC Kılavuzu
Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Merсерizasyon	2-Merсерizasyon
	3-Rotasyon baskı	3-Rotasyon baskı
	4-Kurutma ve bitim işlemleri	4-Kurutma ve bitim işlemleri
	5-Buharlama ve fiksaj	5-Buharlama ve fiksaj
		6-Reaktif yıkama
Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Merсерizasyon	2-Merсерizasyon
	3-Kurutma ve bitim işlemleri	3-Kurutma ve bitim işlemleri
	4-Rotasyon baskı	4-Rotasyon baskı
		5-Reaktif yıkama
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Ağartma	2-Ağartma
	3-Merсерizasyon	3-Merсерizasyon
	4-Rotasyon baskı	4-Rotasyon baskı
Küresel ısınma potansiyeli (GWP 100-kg CO ₂ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Buharlama ve fiksaj	2-Buharlama ve fiksaj
	3-Merсерizasyon	3-Merсерizasyon
	4-Reaktif yıkama	4-Reaktif yıkama
	5-Rotasyon baskı	5-Rotasyon baskı
İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Kurutma ve bitim işlemleri	2-Kurutma ve bitim işlemleri
	3-Merсерizasyon	3-Merсерizasyon
	4-Rotasyon baskı	4-Rotasyon baskı
	5-Buharlama ve fiksaj	5-Buharlama ve fiksaj
Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Merсерizasyon	2-Merсерizasyon
	3-Buharlama ve fiksaj	3-Buharlama ve fiksaj
	4-Reaktif yıkama	4-Reaktif yıkama
	5-Rotasyon baskı	5-Rotasyon baskı

4.4.3.4 Numune 2.4'ün Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi

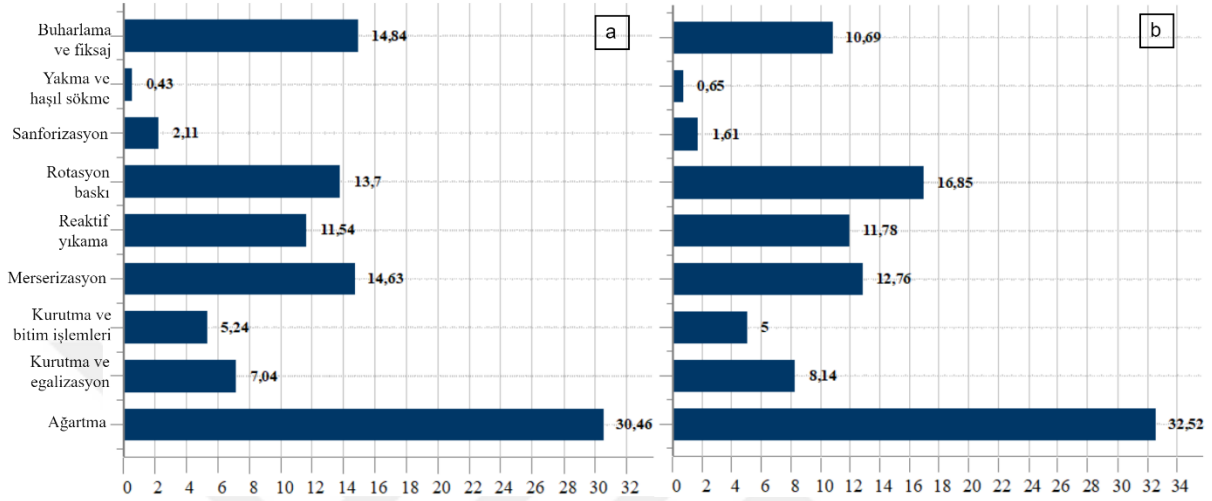
Şekil 4.13.'te numune 2.4'ün asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP), insan toksisite potansiyeli (HTP), Şekil 4.14.'de küresel ısınma potansiyeli (GWP100) ve fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP) değerlerinin, yapılan işleme göre, toplam çevresel etki değerine bağlı katkıları verilmiştir.



Şekil 4.13. Numune 2.4'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)

YDED sonucunda numune 2.4'ün toplam asidifikasyon potansiyeli 0,00791 kg SO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,0022 kg SO₂eş.), rotasyon baskı (0,00158 kg SO₂eş.), merserizasyon (0,00102 kg SO₂eş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,00076 kg SO₂eş.), reaktif yıkama (0,000749 kg SO₂eş.) ve kurutma ve egalizasyon (0,000715 kg SO₂eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarınının bağlı değerleri Şekil 4.13. (a)'da sırasıyla %27,86; %20,04; %12,04; %9,61; %9,47 ve %9,05 olarak verilmiştir. Açık renk numunede AP değerleri, ağartma işlemlerinde kullanılan H₂O₂, NaOH ve iyon tutucu tüketimlerinin artması ile koyu renk numuneye göre daha yüksek çıkmıştır. Baskı öncesi ağartma işlem koşulları ve reçeteler renge göre değişim göstermektedir. Bu numunede de kurutma ve egalizasyonda doğalgaz enerjisi yerine buhar enerjisi tüketilmesi nedeniyle, çıktılar yönünde NO, (NO_x) ve CO emisyonu bulunmadığı için, AP değerleri oldukça düşük

çıkmıştır. Ağartma işleminde H₂O₂ ve NaOH tüketimleri ile buharlama ve fiksaj adımındaki buhar tüketimi önemli kirletici kaynakları olarak tespit edilmiştir. Açık renk numunede özellikle kurutma işlemlerinde kumaş geçiş hızı daha düşük olduğundan elektrik tüketimlerinde de koyu renk numuneye göre nispeten artma olmuştur.



Şekil 4.14. Numune 2.4'ün çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO₂eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C₂H₄eş.)

YDED sonucunda numune 2.4'ün toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,00262 kg PO₄⁻³eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre rotasyon baskı (0,000874 kg PO₄⁻³eş.), ağartma (0,000531 kg PO₄⁻³eş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,000394 kg PO₄⁻³eş.) ve merserizasyon (0,000361 kg PO₄⁻³eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.13. (b)'de sırasıyla %33,42; %20,31; %15,05 ve %13,8 olarak verilmiştir. Açık renk numune AP değerleri gibi, EP değerleri de makine hızlarındaki düşüşe bağlı olarak elektrik ile buhar tüketimleri ile ağartma işlemlerindeki H₂O₂, NaOH, iyon tutucu gibi kirletici kaynaklarının tüketimindeki artışa bağlı olarak koyu renk numuneye göre yüksek bulunmuştur. Kimyasallardaki tüketim artışı, atık su yükünü de yükselterek dolaylı olarak bu artışı devam ettirmiştir. Rotasyon baskı işlemindeki üre tüketimleri inorganik tatlı su emisyon artışına neden olarak %13,2 oranında, toplamda da 0,000429 kg PO₄⁻³eş. kadar EP değerini artırmış ve ana kirletici kaynağı olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra kurutma ve bitim işlemlerinde yumuşatıcı tüketimi %10,6 bağlı değerle üreden sonra ikinci önemli kirletici kaynağı olarak tespit edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken, bağlı değerleri nispeten yüksek olan bu numunenin yumuşatıcı tüketimi açısından diğer numunelerle arasında önemli

bir farklılık yoktur. Ancak üre tüketiminin bağıl değerlerin daha yüksek olma nedeni, üre tüketiminin önemli oranda yüksek olmasıdır.

YDED sonucunda numune 2.4'ün toplam tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli 0,0161 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,00522 kg DCBeş.), rotasyon baskı (0,00404 kg DCBeş.), ağartma (0,00354 kg DCBeş.) ve merserizasyon (0,00163 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.13. (c)'de sırasıyla %32,37; %25,1; 21,97; ve %10,09 olarak verilmiştir. Kurutma ve bitim işleminde yumuşatıcı tüketimi, %21 oranında tarım arazisi, %8,39 tatlı su ağır metal emisyonları nedeniyle ana kirletici kaynağı olarak tespit edilmiştir. Rotasyon baskı işleminde kıvamlaştırıcı tüketimi %17,6 bağıl değerle FAETP kirletici kaynağı olarak belirlenmiştir.

YDED sonucunda numune 2.4'ün toplam insan toksisite potansiyeli 0,202 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,0574 kg DCBeş.), rotasyon baskı (0,0381 kg DCBeş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,0338 kg DCBeş.), merserizasyon (0,0228 kg DCBeş.), ve buharlama ve fiksaj (0,0171 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.13 (d)'de sırasıyla %28,37; %18,84; 16,69; %11,29 ve %8,46 olarak verilmiştir. HTP'nin hassas noktalara göre dağılımı incelenmiş, ağartma işleminde 0,0263 kg DCBeş. olan H₂O₂, kurutma ve bitim işleminde 0,026 kg DCBeş. olan yumuşatıcı, rotasyon baskıda 0,0144 kg DCBeş. olan kıvamlaştırıcı, buharlama ve fiksaj işleminde 0,0157 kg DCBeş. olan buhar tüketimi kirletici kaynakları olarak öne çıkmıştır.

YDED sonucunda numune 2.4'ün toplam küresel ısınma potansiyeli 7,9 kg CO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (2,41 kg CO₂eş.), buharlama ve fiksaj (1,17 kg CO₂eş.), merserizasyon (1,16 kg CO₂eş.), rotasyon baskı (1,08 kg CO₂ eş.) ve reaktif yıkama (0,911 kg CO₂ eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.14 (a)'da sırasıyla %30,46; %14,84; %14,63; %13,7 ve %11,54 olarak verilmiştir. Açık renk numunede artan kimyasal, buhar ve elektrik tüketimlerine bağlı olarak GWP100 değerleri koyu renk numuneye göre daha yüksek olup, hassas noktalarda buhar tüketimleri ana kirletici olarak belirlenmiştir.

YDED sonucunda numune 2.4'ün toplam fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli - 0,000798 kg C₂H₄eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,000259 kg

C₂H₄eş.), rotasyon baskı (0,000134 kg C₂H₄eş.), merserizasyon (0,000102 kg C₂H₄eş.), reaktif yıkama (0,000094 kg C₂H₄eş.) ve buharlama ve fiksaj (0,0000853 kg C₂H₄eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.14 (b)'de sırasıyla %32,52; %16,85; %12,76; %11,78 ve %10,69 olarak verilmiştir. Koyu renk numunede olduğu gibi, ağartma işleminde tüketilen iyon tutucunun açığa çıkardığı metan, hidrokarbon gibi uçucu organik bileşikler ile H₂O₂ ve NaOH kaynaklı (NO_x) kirleticileri POCP değerlerini arttırmakta ve kirletici kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Bu numunede kimyasal ve enerji tüketimindeki artışlar, POCP'nin de artmasına neden olmuştur.

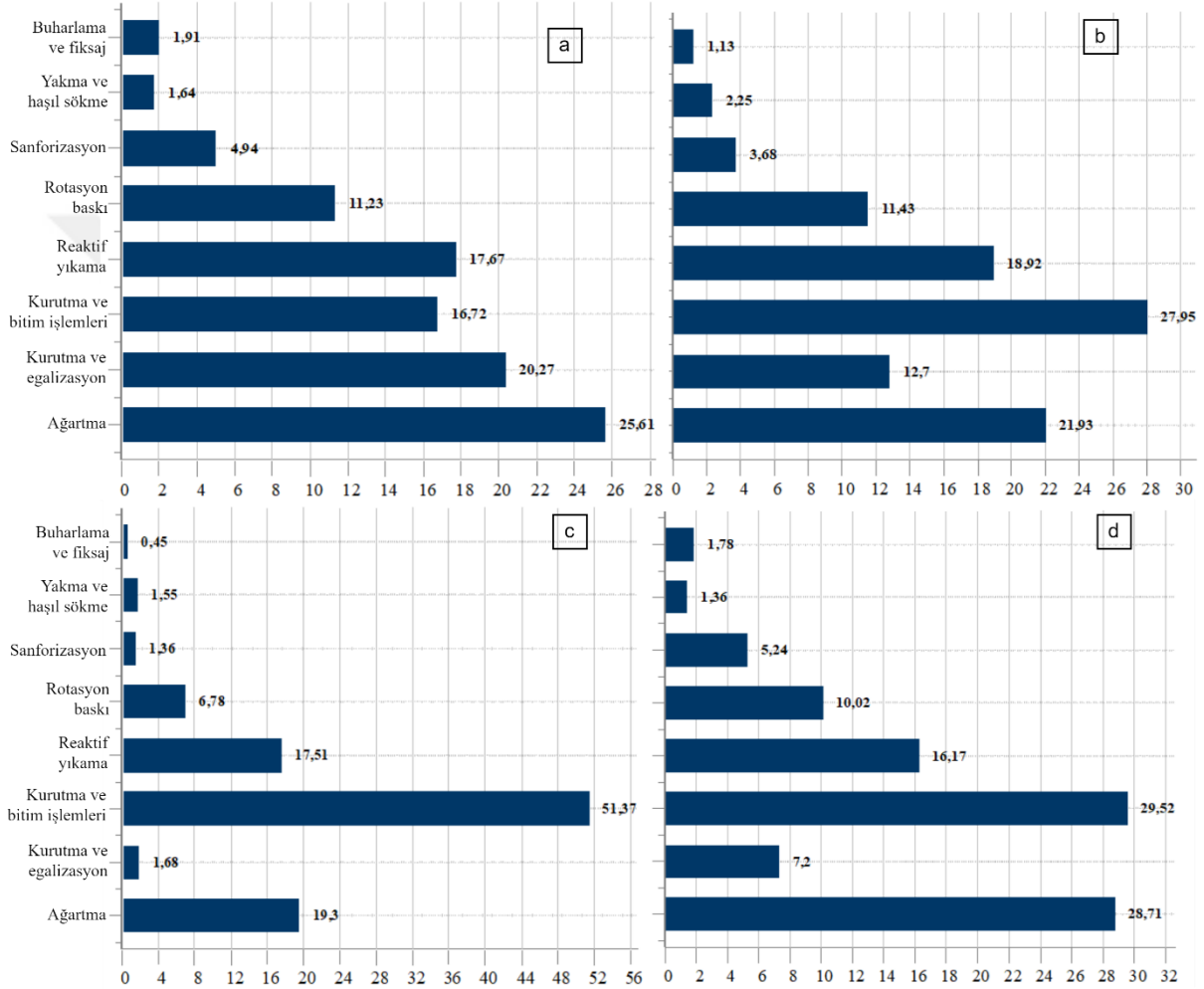
Çizelge 4.15'te Numune 2.4'ün işlem basamaklarına göre hassas nokta olarak tespit edilen işlemler verilmiştir.

Çizelge 4.15. Numune 2.4'ün işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini

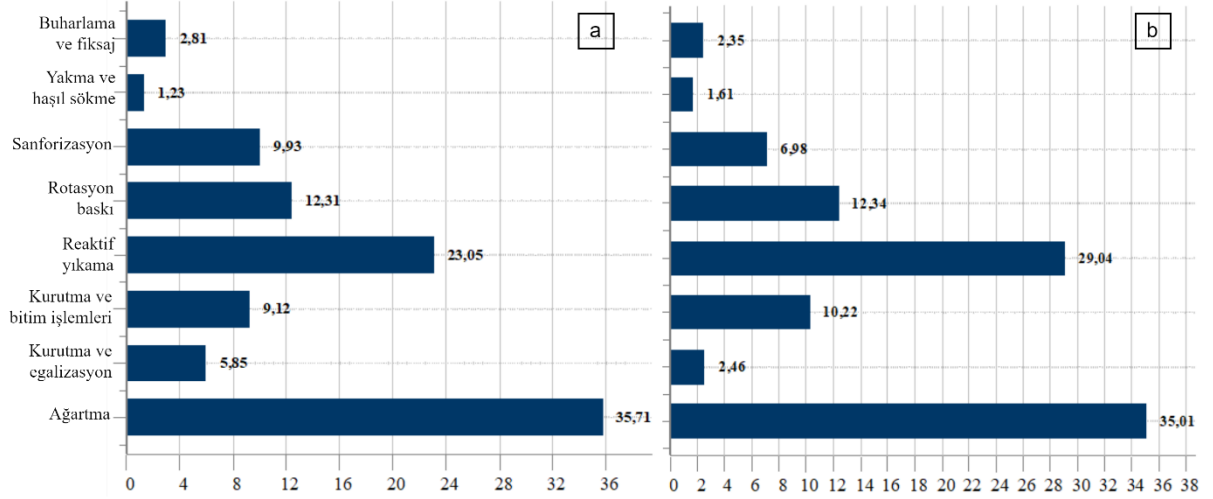
YDED 2.4 (Ne 40/1 %100 CO Bezayağı 123 g/m ² açık sarı renk)		
Çevresel Etki Kategorisi	GaBi Yazılımı	AB-JRC Kılavuzu
Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Rotasyon baskı	2-Rotasyon baskı
	3-Merserizasyon	3-Merserizasyon
		4-Kurutma ve bitim işlemleri
		5-Reaktif yıkama
		6- Kurutma ve egalizasyon
Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.)	1-Rotasyon baskı	1-Rotasyon baskı
	2-Ağartma	2-Ağartma
	3-Kurutma ve bitim işlemleri	3-Kurutma ve bitim işlemleri
	4-Merserizasyon	4-Merserizasyon
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Rotasyon baskı	2-Rotasyon baskı
	3-Ağartma	3-Ağartma
	4-Merserizasyon	4-Merserizasyon
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Buharlama ve fiksaj	2-Buharlama ve fiksaj
	3-Merserizasyon	3-Merserizasyon
	4- Rotasyon baskı	4- Rotasyon baskı
	5- Reaktif yıkama	5- Reaktif yıkama
İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Rotasyon baskı	2-Rotasyon baskı
	3-Kurutma ve bitim işlemleri	3-Kurutma ve bitim işlemleri
	4-Merserizasyon	4-Merserizasyon
		5-Buharlama ve fiksaj
Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Rotasyon baskı	2-Rotasyon baskı
	3-Merserizasyon	3-Merserizasyon
	4-Reaktif yıkama	4-Reaktif yıkama
	5-Buharlama ve fiksaj	5-Buharlama ve fiksaj

4.4.3.5 Numune 2.5'in Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi

Şekil 4.15.'te numune 2.5'in asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP), insan toksisite potansiyeli (HTP), Şekil 4.16.'da küresel ısınma potansiyeli (GWP100) ve fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP) değerlerinin, yapılan işleme göre, toplam çevresel etki değerine bağlı katkıları verilmiştir.



Şekil 4.15. Numune 2.5'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)



Şekil 4.16. Numune 2.5'in çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO₂eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C₂H₄eş.)

YDED sonucunda numune 2.5'in toplam asidifikasyon potansiyeli 0,00388 kg SO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,000993 kg SO₂eş.), kurutma ve egalizasyon (0,000786 kg SO₂eş.), reaktif yıkama (0,000685 kg SO₂eş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,000648 kg SO₂eş.) ve rotasyon baskı (0,000436 kg SO₂eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.15. (a)'da sırasıyla %25,61; %20,27; %17,67; %16,72 ve %11,23 olarak verilmiştir. Viskon numunenin asidifikasyon potansiyeli pamuk numuneye göre yaklaşık 7 kat daha düşük çıkmıştır. Viskonun yaş işlem basamaklarında kimyasal ve amorf bölge yapısı nedeniyle mukavemet problemi ve boya alma özelliği gibi etkilerle daha ılıman koşullarda, düşük kimyasal, su, işlem süreleri ve sıcaklıklarıyla işleme tabi tutulması dolayısıyla, pamuk lifleriyle arasında çarpıcı bir farklılık oluşmuştur. Özellikle ağartma işlemlerinde NaOH ve H₂O₂ tüketimlerindeki düşüş bu sonucu açığa çıkarmıştır.

YDED sonucunda numune 2.5'in toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,00112 kg PO₄⁻³eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,000313 kg PO₄⁻³eş.), ağartma (0,000246 kg PO₄⁻³eş.), reaktif yıkama (0,000212 kg PO₄⁻³eş.), kurutma ve egalizasyon (0,000142 kg PO₄⁻³eş.) ve rotasyon baskı (0,000128 kg PO₄⁻³eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.15. (b)'de sırasıyla %27,95; %21,93; %18,92, %12,7 ve %11,43 olarak verilmiştir. Viskon numuneye ait çevresel etki kategorileri sonuçlarının tümünde olduğu gibi burada da EP değerleri tüketimdeki genel azalmadan dolayı pamuk numuneye göre yaklaşık 7 kat daha düşük çıkmıştır. Kurutma ve bitim

işlemlerinde kirletici kaynağı olarak tespit edilen yumuşatıcı tüketimi, %11,6'lık bir oranla inorganik tatlı su emisyonu, %6,72 oranla inorganik hava emisyonu olacak şekilde toplamda %18,6 bağıl değerle EP değerini yükseltmektedir. Burada dikkat çeken husus; viskon numunede yumuşatıcı tüketimleri azalmış olsa da su tüketimleri de benzer oranlarda azaltıldığı için, pamuk numuneye konsantrasyonlar benzer oranlarda olduğundan yumuşatıcı tüketiminden kaynaklı emisyon değerleri birbirine yakın gerçekleşmiş ve EP açısından nispeten düşük olsa da birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Bunun dışında ağartma işlemlerinde özellikle H₂O₂, NaOH, reaktif yıkamada yıkama maddesi, rotasyon baskıda üre ve kıvamlaştırıcı başta olmak üzere toplamda %20,6'lık bağıl katkıyla KOİ değerleri EP'yi arttırıcı faktörler olarak tespit edilmiştir. Buna ek olarak kurutma ve egalizasyon işleminde gerçekleşen doğalgaz tüketimi de NO başta olmak üzere inorganik hava emisyonu artışına bağlı olarak önemli bir kirletici kaynağı olarak görülmüştür.

YDED sonucunda numune 2.5'in toplam tatlı su akvatikleri ekotoksosite potansiyeli 0,00784 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,00403 kg DCBeş.), ağartma (0,00151 kg DCBeş.) ve reaktif yıkama (0,00137 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.15. (c)'de sırasıyla %51,37; %19,3 ve 17,51 olarak verilmiştir. Viskon numunenin FAETP değerleri pamuk numuneye göre, kimyasal tüketimlerindeki azalma ile yaklaşık 2 kat daha düşük çıkmıştır. Kurutma ve bitim işlemleri işlem basamağındaki yumuşatıcı %32,6'lık bağıl katkıyla tarım arazisi ağır metal emisyonlarıyla ilişkili olarak FAETP değerini önemli miktarda arttırarak ana kirletici kaynağı olarak öne çıkmıştır. Bu değer yumuşatıcı tüketimlerindeki düşüğe rağmen pamuk numuneye yaklaşık aynı miktarda gerçekleşmiştir. Buradan yola çıkarak yumuşatıcı tüketimlerinin optimizasyonunun FAETP değerlerini düşürmede etkili olabileceği söylenebilir.

YDED sonucunda numune 2.5'in toplam insan toksisite potansiyeli 0,0895 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,0264 kg DCBeş.), ağartma (0,0257 kg DCBeş.), reaktif yıkama (0,0145 kg DCBeş.) ve rotasyon baskı (0,00898 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.15 (d)'de sırasıyla %29,52; %28,71; 16,17 ve %10,02 olarak verilmiştir. Ağartma işleminde H₂O₂ tüketiminin HTP değeri 0,0103 kg DCBeş. bulunmuş, toplam HTP değerine bağıl katkısı %11,5 olarak tespit edilmiş ve ana kirletici kaynağı olarak öne çıkmıştır. Kurutma ve bitim işlemleri işlem basamağında, HTP'si 0,0196 kg DCBeş. olarak bulunan

yumuşatıcı tüketimleri %21, 9 bağıl değerle kirletici kaynak olarak öne çıkmıştır. Reaktif yıkama işleminde buhar tüketimi, kurutma ve egalizasyon işlemindeki elektrik tüketimi özellikle inorganik hava emisyonlarının artışına neden olan diğer kirletici kaynakları olarak dikkat çekmiştir.

YDED sonucunda numune 2.5'in toplam küresel ısınma potansiyeli 3,24 kg CO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (1,16 kg CO₂eş.), reaktif yıkama (0,748 kg CO₂ eş.), rotasyon baskı (0,399 kg CO₂ eş.) ve sanforizasyon (0,322 kg CO₂eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.16 (a)'da sırasıyla %35,71; %23,05; %12,31 ve %9,93 olarak verilmiştir. Viskon numunedeki enerji tüketimlerindeki düşüşe bağlı olarak GWP100 değerleri de benzer oranlarda azalmıştır. Viskon numunenin toplam GWP100 değeri, pamuk numunenin sadece ağartma işlemindeki GWP100 değeri kadar bulunmuştur. Genel olarak buhar tüketiminin ana kirletici kaynağı olarak değerlendirilmesi gerektiği açığa çıkmıştır. İşlem basamaklarına göre incelemelerde, reaktif yıkamada %16,4, ağartmada %12,9 bağıl değerle buhar tüketimleri hassas noktalar olarak belirlenmiştir. Ağartma işlemindeki H₂O₂ tüketimleri de %14,2'lik bir değerle bir başka kirletici kaynağı olarak belirlenmiştir.

YDED sonucunda numune 2.5'in toplam fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli 0,000335 kg C₂H₄eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,000259 kg C₂H₄eş.), reaktif yıkama (0,000094 kg C₂H₄eş.), rotasyon baskı (0,000134 kg C₂H₄eş.) ve kurutma ve bitim işlemleri (0,0000853 kg C₂H₄eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.16 (b)'de sırasıyla %35,01; %29,04; %12,34 ve %10,22 olarak verilmiştir. POCP değerleri pamuk numuneyle karşılaştırıldığında; viskon numunede, pamuk numunenin tam tersi yönünde pozitif yönlü bir değer elde edilmiştir. Burada ağartma işlemindeki H₂O₂, iyon tutucu ve reaktif yıkama işlemindeki yıkama maddesi, buhar tüketimi kirletici kaynaklar olarak tespit edilmiştir. Pamuk numunenin geçtiği rotasyon baskı makinesi ısıtma sistemi, viskon numuneden farklı olarak, doğalgaz beslemeli olduğundan NO ve (NO_x) kirletici emisyon artışı çok daha yüksek olmuştur. Bu durum POCP hesaplamalarında negatif katsayılar nedeniyle oluşan bir durumdur. Bu iki numune arasındaki POCP değerlerinin arasındaki farklılık bu nedenden kaynaklanmaktadır. Burada da diğer numunelerde olduğu gibi POCP değerlerindeki artış, H₂O₂, NaOH, yıkama maddesi gibi uçucu organik bileşik oluşturma potansiyeli yüksek kirletici kaynakları ile enerji tüketimlerinden kaynaklanan (NO_x) artışının karşılıklı etkileşimi ile açıklanabilmektedir.

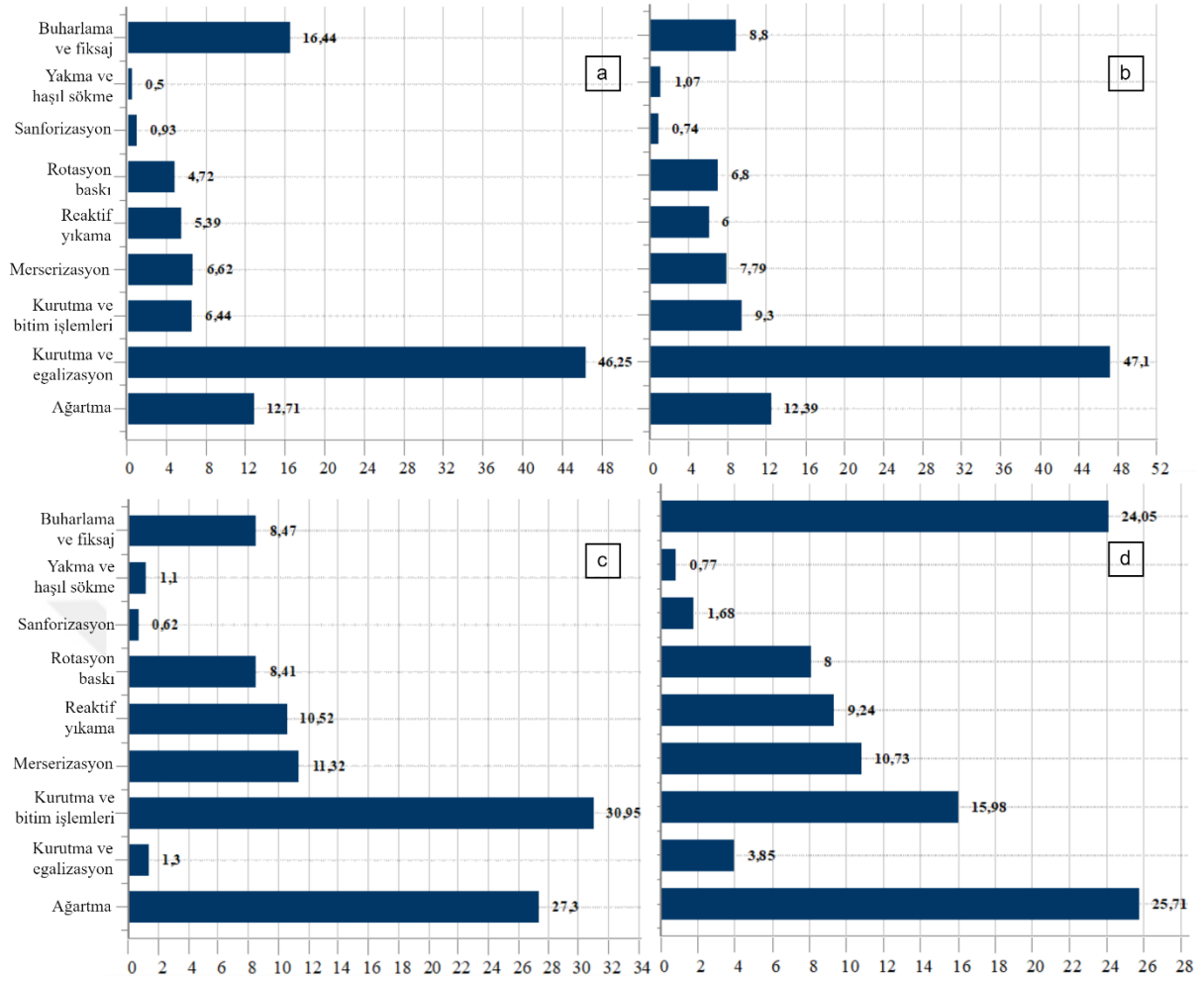
Çizelge 4.16'da Numune 2.5'in işlem basamaklarına göre hassas nokta olarak tespit edilen işlemler verilmiştir.

Çizelge 4.16. Numune 2.5'in işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini

YDED 2.5 (Ne 28/1 % 100 CV Bezayağı 193 g/m²)		
Çevresel Etki Kategorisi	GaBi Yazılımı	AB-JRC Kılavuzu
Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Kurutma ve egalizasyon	2-Kurutma ve egalizasyon
	3-Reaktif yıkama	3-Reaktif yıkama
	4-Kurutma ve bitim işlemleri	4-Kurutma ve bitim işlemleri
	5-Rotasyon baskı	
Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Ağartma	2-Ağartma
	3-Reaktif yıkama	3-Reaktif yıkama
	4-Kurutma ve egalizasyon	4-Kurutma ve egalizasyon
	5-Rotasyon baskı	
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Ağartma	2-Ağartma
	3-Reaktif yıkama	3-Reaktif yıkama
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Reaktif yıkama	2-Reaktif yıkama
	3-Rotasyon baskı	3-Rotasyon baskı
	4-Sanforizasyon	
İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Ağartma	2-Ağartma
	3-Reaktif yıkama	3-Reaktif yıkama
	4-Rotasyon baskı	
Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Reaktif yıkama	2-Reaktif yıkama
	3-Rotasyon baskı	3-Rotasyon baskı
	4-Kurutma ve bitim işlemleri	4-Kurutma ve bitim işlemleri

4.4.3.6 Numune 2.6'nın Çevresel Etki Kategorilerine Göre Hassas Nokta Değerlendirmesi

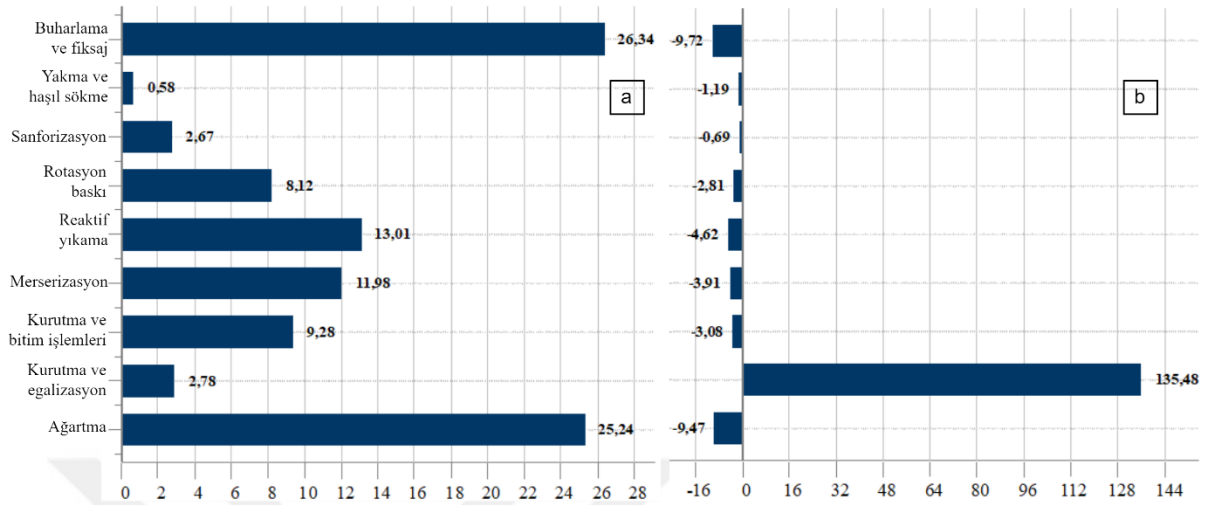
Şekil 4.17.'de numune 2.6'nın asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP), insan toksisite potansiyeli (HTP), Şekil 4.18.'de küresel ısınma potansiyeli (GWP100) ve fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP) değerlerinin, yapılan işleme göre, toplam çevresel etki değerine bağlı katkıları verilmiştir.



Şekil 4.17. Numune 2.6'nın çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.) (b) Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.) (c) Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) (d) İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)

YDED sonucunda numune 2.6'nın toplam asidifikasyon potansiyeli 0,0131 kg SO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre kurutma ve egalizasyon (0,00605 kg SO₂eş.), buharlama ve fiksaj (0,00215 kg SO₂eş.), ağartma (0,00166 kg SO₂eş.) ve kurutma ve bitim işlemleri (0,000843 kg SO₂eş.) hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.17. (a)'da sırasıyla %46,25; %16,44; %12,71 ve %6,62 olarak verilmiştir. Kurutma ve egalizasyon işleminde doğalgaz tüketiminden kaynaklı olarak 0,00566 kg SO₂eş. bulunan AP değeri, bezayağı numuneye göre emisyon ölçüm sonuçlarında NO, CO, (NOx) değerlerini arttırdığı için, bu işlem basamağında yüksek çıkmıştır. Ancak kumaş parametreleri açısından bu işlem basamağı göz ardı edildiğinde saten numune ve bezayağı numune arasında AP açısından önemli bir farklılık oluşmamıştır. Saten numune AP değerlerindeki nispeten yüksek AP, daha sıkı bir yapıya sahip olan saten numunenin işlem süre

ve sıcaklıklarındaki göreceli artışa bağlı olarak elektrik tüketimlerinin yükselmesi ile açıklanmıştır.



Şekil 4.18. Numune 2.6'nın çevresel etkilerinin işlem basamaklarına göre bağlı değerleri. (a) Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO₂eş.) (b) Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C₂H₄eş.)

YDED sonucunda numune 2.6'nın toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,00324 kg PO₄⁻³eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre kurutma ve egalizasyon (0,00153 kg PO₄⁻³eş.), ağartma (0,000402 kg PO₄⁻³eş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,000302 kg PO₄⁻³eş.), buharlama ve fiksaj (0,000285 kg PO₄⁻³eş.) ve merserizasyon (0,000253 kg PO₄⁻³eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.17. (b)'de sırasıyla %47,1; %12,39; %9,3, %8,8 ve %7,79 olarak verilmiştir. Kurutma ve egalizasyon bölümünde kullanılan doğalgaz enerjisinin, azot monoksit emisyon artışına neden olmasıyla EP değerleri bu işlem basamağında 0,00149 kg PO₄⁻³eş. olarak tespit edilerek ana kirletici kaynağı olarak bulunmuştur. Bunun dışında kumaş parametreleri açısından, kimyasal tüketimlerindeki gramaj farklılıklarına bağlı değişimler dışında, öne çıkarılabilecek bir değişim gözlenmemiştir.

YDED sonucunda numune 2.6'nın toplam tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli 0,0102 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre kurutma ve bitim işlemleri (0,00316 kg DCBeş.), ağartma (0,00279 kg DCBeş.), merserizasyon (0,00116 kg DCBeş.), reaktif yıkama (0,00107 kg DCBeş.) ve buharlama ve fiksaj (0,000864 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağlı değerleri Şekil 4.17. (c)'de sırasıyla %30,95; %27,3; %11,32; %10,52 ve %8,47 olarak verilmiştir. Bezayağı numuneye göre elektrik tüketimleri yüksek olan saten numunede, elektrik tüketimleri özellikle buharlama ve fiksaj işleminde kirletici kaynağı olarak ele alınabilir. Diğer numunelerde de olduğu gibi

ağartma işleminde H₂O₂, NaOH ve iyon tutucu, kurutma ve bitim işlemlerinde de yumuşatıcı tüketimi FAETP değerlerini arttırıcı kirletici kaynakları olarak tespit edilmiştir.

YDED sonucunda numune 2.6'nın toplam insan toksisite potansiyeli 0,169 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre ağartma (0,0433 kg DCBeş.), buharlama ve fiksaj (0,0406 kg DCBeş.), kurutma ve bitim işlemleri (0,0269 kg DCBeş.), merserizasyon (0,0181 kg DCBeş.) ve reaktif yıkama (0,0156 kg DCBeş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.17 (d)'de sırasıyla %25,71; %24,05; %15,98; %10,73 ve %9,24 olarak verilmiştir. Kumaş konstrüksiyonu açısından HTP değerlerinde anlamlı bir farklılık oluşmamıştır. Kurutma ve bitim işlemlerinde doğalgaz kullanımına bağlı inorganik hava emisyonlarındaki artış nedeniyle saten numune HTP değerleri 0,004808 kg DCBeş. kadar yüksek çıkmıştır.

YDED sonucunda numune 2.6'nın toplam küresel ısınma potansiyeli 6,85 kg CO₂eş. olarak bulunmuştur. İşlem adımlarına göre buharlama ve fiksaj (1,8 kg CO₂ eş.), ağartma (1,73 kg CO₂eş.), reaktif yıkama (0,891 kg CO₂ eş.) ve merserizasyon (0,82 kg CO₂eş.) işlemleri hassas nokta olarak görülmektedir. Bu işlem basamaklarının bağıl değerleri Şekil 4.18 (a)'da sırasıyla %26,34; %25,24; %13,01 ve %11,98 olarak verilmiştir. Buharlama ve fiksaj işleminde elektrik ve buhar tüketimleri ana kirletici kaynakları olarak bulunmuştur. Ancak burada buhar tüketimleri bezayağı numunenin aynı işlemdeki buhar tüketimi GWP100 değerinden daha düşük çıkmıştır. Ancak elektrik tüketimlerinin yükselmesi nedeniyle bu işlemde %11,2 oranında GWP100 değerini arttırmıştır. Merserizasyon ve reaktif yıkama işlemlerinde de öne çıkan kirletici kaynağı buhar tüketimi olarak görülmektedir. Ancak numunenin kendi içinde bağıl değerleriyle değerlendirmek yerine bezayağı numune envanteri ve GWP100 değerleriyle birlikte ele alındığında; aslında elektrik tüketimlerinin GWP100 değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir.

YDED sonucunda numune 2.6'nın toplam fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli - 0,00206 kg C₂H₄eş. olarak bulunmuştur. Burada da kurutma ve egalizasyon işlemi POCP değerlerinin tamamını oluşturan hassas nokta olarak öne çıkmıştır. Ancak numune 2.1 ve numune 2.2'de olduğu gibi bu işlemde kullanılan ısıtma enerjisi kaynağının doğalgaz olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Doğalgaz tüketimine bağlı NO ve (NO_x) emisyonlarının yükselmesi, fotokimyasal ozon oluşturma potansiyelinin, ilgili numunelerde önceki açıklamalarda belirtildiği gibi negatif değerlerin, hesaplamalardan kaynaklı olarak daha düşükmüş gibi görünmesi durumu söz konusudur.

Çizelge 4.17'de Numune 2.6'nın işlem basamaklarına göre hassas nokta olarak tespit edilen işlemler verilmiştir.

Çizelge 4.17. Numune 2.6'nın işlem basamaklarına göre hassas nokta tayini

YDED 2.6 (Ne 40/1 % 100 CO 5'li saten 126 g/m²)		
Çevresel Etki Kategorisi	GaBi Yazılımı	AB-JRC Kılavuzu
Asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO ₂ eş.)	1-Kurutma ve egalizasyon	1-Kurutma ve egalizasyon
	2-Buharlama ve fiksaj	2-Buharlama ve fiksaj
	3-Ağartma	3-Ağartma
		4-Kurutma ve bitim işlemleri
Ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO ₄ ⁻³ eş.)	1-Kurutma ve egalizasyon	1-Kurutma ve egalizasyon
	2-Ağartma	2-Ağartma
		3-Kurutma ve bitim işlemleri
		4-Buharlama ve fiksaj
		5-Meriserizasyon
Tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.)	1-Kurutma ve bitim işlemleri	1-Kurutma ve bitim işlemleri
	2-Ağartma	2-Ağartma
	3-Meriserizasyon	3-Meriserizasyon
	4-Reaktif yıkama	4-Reaktif yıkama
		5-Buharlama ve fiksaj
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO ₂ eş.)	1-Buharlama ve fiksaj	1-Buharlama ve fiksaj
	2-Ağartma	2-Ağartma
	3-Reaktif yıkama	3-Reaktif yıkama
	4-Meriserizasyon	4-Meriserizasyon
		5-Kurutma ve bitim işlemleri
İnsan toksisite potansiyeli (HTP-kg DCBeş.)	1-Ağartma	1-Ağartma
	2-Buharlama ve fiksaj	2-Buharlama ve fiksaj
	3-Kurutma ve bitim işlemleri	3-Kurutma ve bitim işlemleri
	4-Meriserizasyon	4-Meriserizasyon
		5-Reaktif yıkama
Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C ₂ H ₄ eş.)	1-Kurutma ve egalizasyon	1-Kurutma ve egalizasyon

4.5 Model-1 ve Model-2 YDED Normalizasyonu

ISO 14040/44'e göre, YDD bağlamındaki normalizasyon, yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin isteğe bağlı bir adımıdır ve uygulayıcının karakterizasyon adımından sonra çevresel etki kategorileri açısından, ortak bir referans kullanarak sonuçları ifade etmesine olanak tanır. Normalleştirme faktörleri, bir referans yıl içinde belirli bir çevresel etki kategorisi için bir referans bölgede meydana gelen toplam etkiyi ifade eder. Normalizasyon faktörlerinin hesaplanması, referans bölgede ve yılda çıkarılan kaynakların yanı sıra hava, su ve toprağa yapılan kapsamlı bir emisyon verisi koleksiyonuna dayanmaktadır. Çoklu değişkenlerin ölçülebilirliğinin yetersiz olduğu bir alanda karşılaştırmalı YDD yapmak oldukça zordur. Bu durumlarda, hesaplanan YDED sonuçlarından olan çevresel etki kategorilerinin, yönetilebilir ve karşılaştırılabilir olması için, bu değerler normalizasyon işlemiyle birimsiz göstergelere dönüştürülürler. Bu işlem yazılım destekli çalışmalarda, çevresel etki kategorilerinin

sonuçlarının, normalizasyon faktörlerine bölünmesi işlemiyle gerçekleştirilir ve çevresel etki kategorilerinin görsel olarak karşılaştırıldığı çubuk grafikleriyle ifade edilebilir. Ancak bazı durumlarda normalizasyon göstergeleri, yöntemin normalleştirme faktörleri ile manipüle edilip belirsizliğe de yol açabilir. Normalizasyon işleminin standartlaştırılması ve uluslararası ticarete kabul görmesi için araştırmalar ve iyileştirmeler devam etmektedir. Bir araştırmada; YDD çalışmalarında yaygın olarak kabul gören ReCIPE, TRACI ve CML normalizasyon yöntemleri 800 farklı işlem için ayrıntılı olarak incelenmiş, bu yöntemlerin uygulamadan bağımsız ve veri değişkenliğine duyarsız olarak, sistematik bir biçimde hep aynı etki kategorilerini öne çıkaran sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Prado, Wender, Seager, 2017). Bu çalışmadan da görüldüğü üzere; yeterli, güvenilir ve şeffaf veri setlerinin oluşturulması, orta ve son nokta yaklaşımına yönelik çevresel etki kategorizasyonu ve karakterizasyonu ile yeşil aklamaya yol açmayacak modellemelerin oluşturulması gibi YDD çalışmalarında henüz çözülmemiş problemler üzerine odaklanılmalıdır. Bu nedenle gelecek çalışmalarda normalizasyon ve ağırlıklandırma işlemleri için belirsizlikleri ve normalizasyon göstergelerinin yanıltıcı sonuçlarını engelleyebilecek yeni araştırmalar yapılması, bölgesel çevre sorunlarını önceliklendirecek algoritmalar oluşturulması gerekli olacaktır.

Tez kapsamında çevresel etki kategorilerinin bağıl ve doğrudan değerleriyle, envanter verileri karşılaştırmalı olarak incelenerek hassas noktalar açığa çıkarılmış ve kirletici kaynakları tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra CML metodolojisi için önerilen, ‘CML2001-Aug. 2016, World, year 2000, incl biogenic carbon (global equivalents)’ normalizasyon yaklaşımına göre numuneler kontrol edilmiştir. Literatürde de bahsedildiği şekilde tüm numunelerde deniz akvatikleri ekotoksisite potansiyeli (MAETP) değerleri sistematik olarak öne çıkan çevresel etki kategorisi olarak görülmüştür. Buna göre yapılan normalizasyon işlemlerinden sonra, boyahane işletmesinde gerçekleştirilen YDED’lerde pamuk numunelerde, bölgesel değerlendirme dikkate alınarak seçilen çevresel etki kategorileri önem sırasına göre, büyükten küçüğe doğru HTP, GWP100, AP, EP ve FAETP şeklinde sıralanmıştır. Şekil 4.19’da Model-1 ve Model-2 numunelerinin normalizasyon sonrası öne çıkan çevresel etki kategorilerinin dağılımı grafiği verilmiştir. Burada tüm pamuk numuneler için kurutma ve bitim işlemlerinde HTP, boyama bölümünde GWP100 değerleri öne çıkmıştır. Viskon numunede ise sıralama GWP100, AP, HTP, EP ve FAETP olarak değişmiştir. Enerji ve soda tüketimlerinin pamuk numunelere göre kritik ölçüde artmış olması nedeniyle GWP100 değerleri daha önemli hale gelmiştir. Normalizasyon sonuçları Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Model-1 numunelerinin çevresel etkilerinin normalize edilmiş değerleri

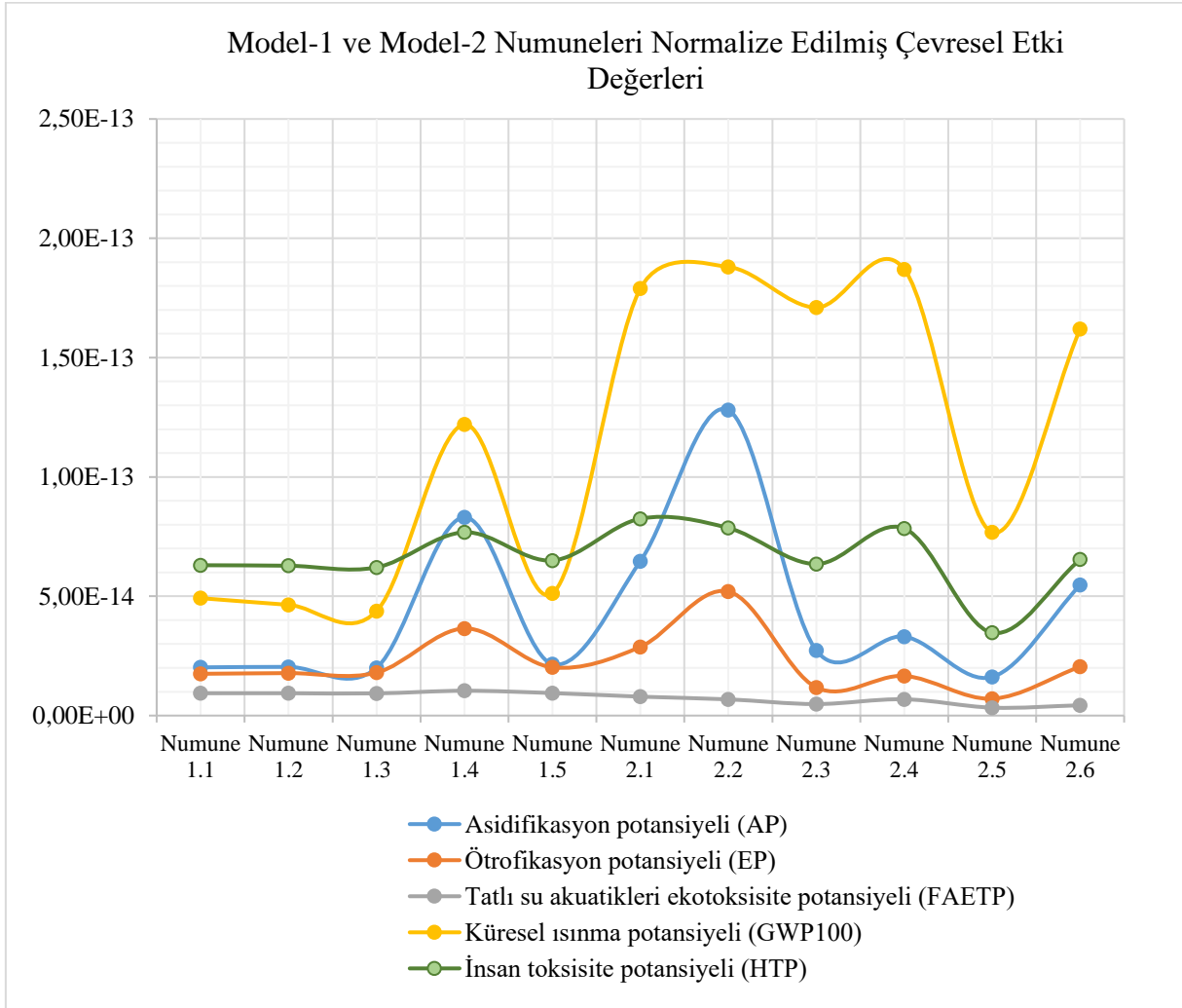
Çevresel Etki Kategorileri	YDED 1.1 (Ne 20/1 %100 CO Süprem 190 g/m ²)	YDED 1.2 (Ne 30/1 %100 CO Süprem 150 g/m ² açık mavi renk)	YDED 1.3 (Ne 30/1 %100 CO Süprem 150 g/m ² koyu haki renk)	YDED 1.4 (Ne 30/1 %100 CV Süprem 200 g/m ²)	YDED 1.5 (Ne 30/1 100% CO İnterlok 250 g/m ²)
Asidifikasyon potansiyeli (AP)	2,02E-14	2,04E-14	2,00E-14	8,31E-14	2,16E-14
Ötrofikasyon potansiyeli (EP)	1,75E-14	1,78E-14	1,80E-14	3,65E-14	2,02E-14
Tatlı su akuatikleri ekotoksitesite potansiyeli (FAETP)	0,936E-14	0,936E-14	0,930E-14	1,04E-14	0,943E-14
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100)	4,92E-14	4,64E-14	4,38E-14	12,2E-14	5,12E-14
İnsan toksisite potansiyeli (HTP)	6,30E-14	6,28E-14	6,21E-14	7,68E-14	6,50E-14

Baskı işletmesinde gerçekleştirilen YDED’lerde numune 2.2 hariç tüm numunelerde çevresel etki kategorileri büyükten küçüğe doğru GWP100, HTP, AP, EP ve FAETP şeklinde sıralanmıştır. Normalizasyon sonuçlarına göre öne çıkan çevresel etki kategorilerinin dağılımı Şekil 4.19’da verilmiştir Numune 2.2’de NO emisyonlarının yüksek çıkması nedeniyle AP değerinin HTP’den daha önemli hale geldiği görülmüştür. Burada kurutma ve egalizasyon işlemlerinde, doğalgaz tüketimi olan numuneler 2.1, 2.2 ve 2.6’da AP, diğer işlemlerde GWP100 değerleri öne çıkmıştır. Normalizasyon sonuçları Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Model-2 numunelerinin çevresel etkilerinin normalize edilmiş değerleri

Çevresel Etki Kategorileri	YDED 2.1 (Ne 20/1 %100 CO Bezayağı 141 g/m ²)	YDED 2.2 (Ne 30/1 %100 CO Bezayağı 111 g/m ²)	YDED 2.3 (Ne 40/1 %100 CO Bezayağı 123 g/m ² koyu lacivert renk)	YDED 2.4 (Ne 40/1 %100 CO Bezayağı 123 g/m ² açık sarı renk)	YDED 2.5 (Ne 28/1 %100 CV Bezayağı 193 g/m ²)	YDED 2.6 (Ne 40/1 %100 CO 5’li saten 126 g/m ²)
Asidifikasyon potansiyeli (AP)	6,47E-14	12,8E-14	2,73E-14	3,31E-14	1,62E-14	5,47E-14
Ötrofikasyon potansiyeli (EP)	2,88E-14	5,2E-14	1,18E-14	1,66E-14	0,709E-14	2,05E-14
Tatlı su akuatikleri ekotoksitesite potansiyeli (FAETP)	0,792E-14	0,68E-14	0,482E-14	0,683E-14	0,332E-14	0,432E-14
Küresel ısınma potansiyeli (GWP100)	17,9E-14	18,8E-14	17,1E-14	18,7E-14	7,68E-14	16,2E-14
İnsan toksisite potansiyeli (HTP)	8,25E-14	7,86E-14	6,35E-14	7,84E-14	3,47E-14	6,54E-14

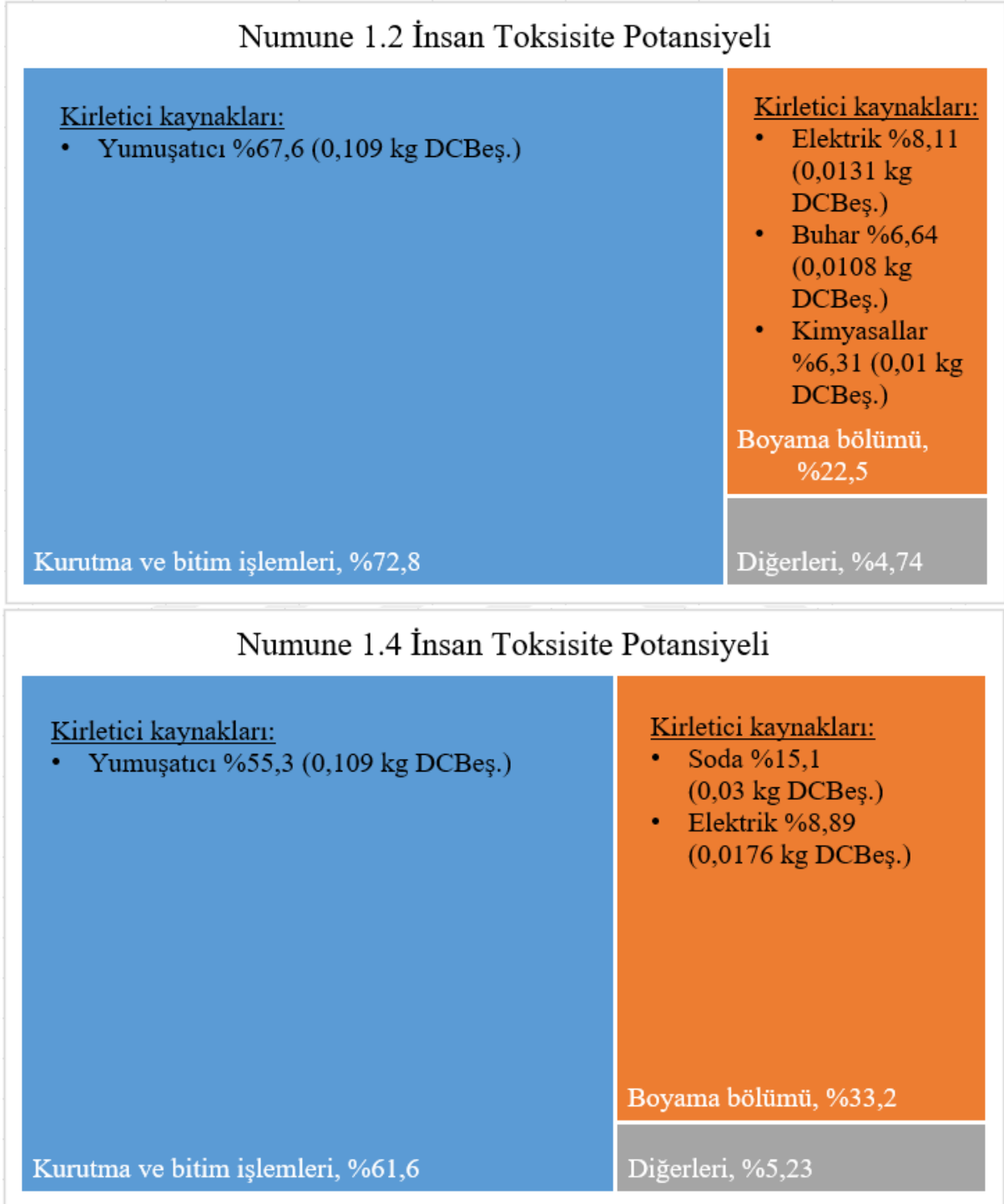
Tezde, bölgesel çevre problemlerini öne çıkarabilecek çevresel etki kategorilerinin bütüncül olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmüş ve bu nedenle hassas nokta değerlendirmeleri YDED sonuçlarına göre yapılmıştır. Şekil 4.19'da Model-1 ve Model-2 numunelerinin normalizasyon sonrası öne çıkan çevresel etki kategorilerinin dağılımı grafiği verilmiştir. Boya ve baskı numuneleri arasındaki en belirgin fark GWP'de görülürken, HTP değeri hemen hemen aynı değerleri vermiştir. Diğer kategorilerde ise numuneler arasında kısmi farklar olmakla birlikte boya ve baskı numuneleri arasında belirgin bir fark gözlenmemektedir.



Şekil 4.19. Tüm numunelerin normalize edilmiş çevresel etki değerleri

Normalizasyon işleminden sonra boya numuneleri için öne çıkan etki kategorisi olan HTP'nin, Şekil 4.20'deki ağaç grafiğinde, elyaf cinsi değişimine bağlı hassas noktalar ve kirlenici kaynaklarının karşılaştırması verilmiştir. Pamuklu boya numunesinin (numune 1.2), toplam HTP değeri 0,162 kg DCBeş., viskon boya numunesinin (numune 1.4) toplam HTP değeri 0,198 kg DCBeş. olarak bulunmuştur. Burada normalizasyon sonuçları dikkate

alındığında, eğer bir iyileştirme yapılacaksa, pamuklu numuneler için kurutma ve bitim işlemleri adımıyla yumuşatıcı kullanımından kaynaklı insan toksisite potansiyelinin düşürülmesine yönelik çalışmalar yapılması gerektiği söylenebilir.



Şekil 4.20. Pamuklu ve viskon boya numunelerinin HTP değerlerinin karşılaştırması

Bunun yanısıra viskon numuneler için öne çıkan GWP100 değerlerinin boyama bölümünde, soda, buhar ve elektrik tüketimlerinden kaynaklı en yüksek değeri göstermesi,

öncelikli olarak bu tüketimlere yönelik ek çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu açığa çıkarmıştır. Pamuklu ve viskon boya numunelerinin GWP100 değerlerinin karşılaştırması Şekil 4.21'deki ağaç grafiğinde verilmiştir.



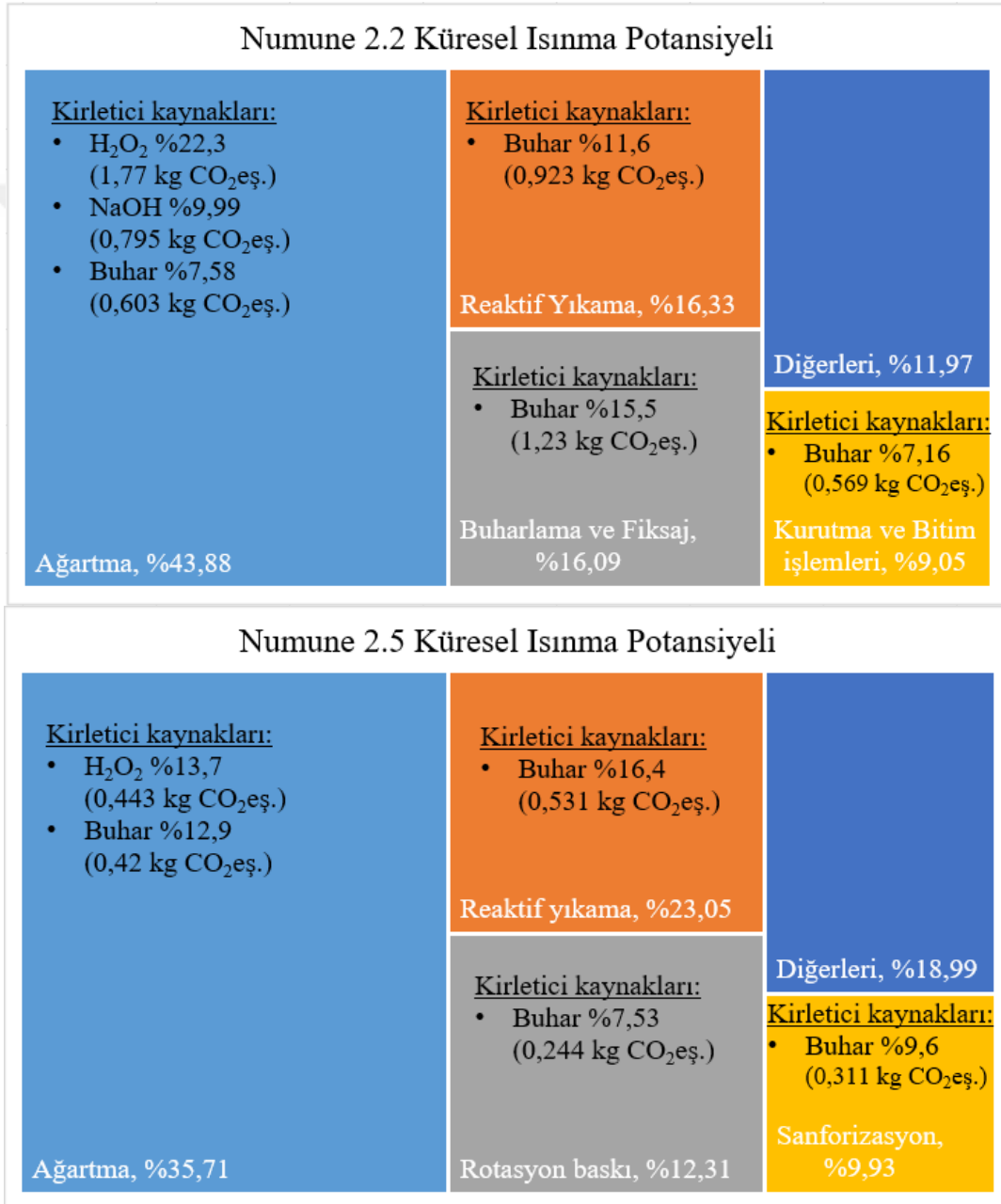
Şekil 4.21. Pamuklu ve viskon boya numunelerinin GWP100 değerlerinin karşılaştırması

Özellikle viskon numune için ikinci öncelikli çevresel etki kategorisi olan asidifikasyon potansiyeli Şekil 4.22’de incelenecek olursa, viskon numunedeki soda tüketimlerinin optimizasyonu üzerine çalışmanın da bu etki kategorisindeki iyileştirmelere önemli derecede faydası olacağı görülebilmektedir.



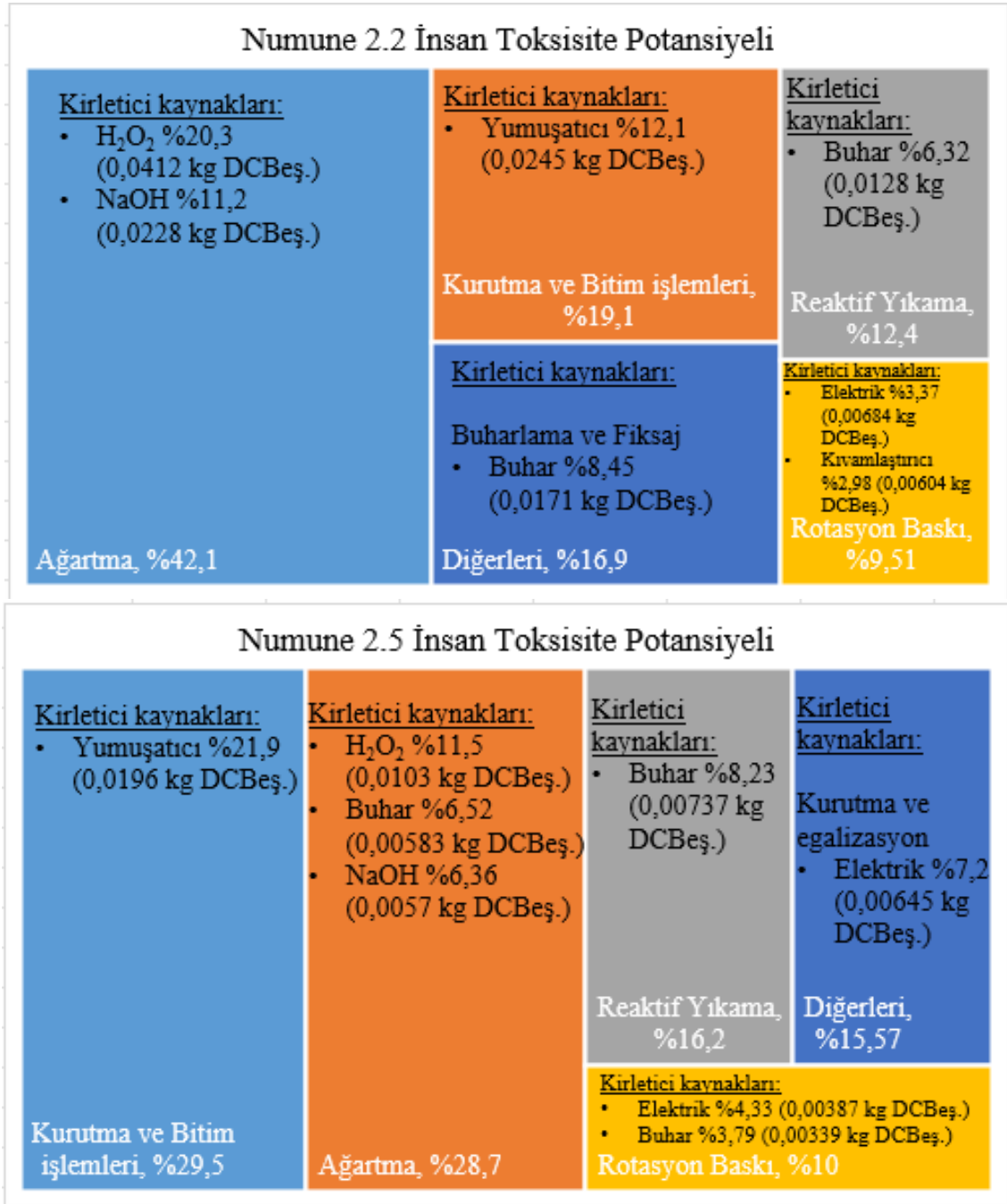
Şekil 4.22. Pamuklu ve viskon boya numunelerinin AP değerlerinin karşılaştırması

Baskı numuneleri için öne çıkan etki kategorisi olan GWP100'ün, Şekil 4.23'te ağaç grafiğinde, elyaf cinsi değişimine bağlı hassas noktalar ve kirletici kaynaklarının karşılaştırması verilmiştir. Pamuklu baskı numunesi 2.2'nin, toplam GWP100 değeri 7,95 kg CO₂eş., viskon baskı numunesi 2.5'in toplam GWP100 değeri 3,24 kg CO₂eş.'tir. Kumaş parametrelerine göre karşılaştırmalarda bağıl değerler ve envanter verileri dikkate alındığı için çevresel etkilerin normalizasyon sonuçlarına göre kirletici kaynakları ve hassas nokta olarak belirlenen işlemlerde bir değişiklik gözlenmemiştir.



Şekil 4.23. Pamuklu ve viskon baskı numunelerinin GWP100 değerlerinin karşılaştırması

İyileştirmeler için normalizasyon sonuçlarına göre yapılan değerlendirmelerde, buhar tüketimlerinden kaynaklanan GWP100 değerlerinin azaltılmasına yönelik çalışmaların, hem pamuk hem de viskon numunelerde önemli olduğu görülmektedir. Şekil 4.24'te verilen pamuk ve viskon numunelerinin HTP değerlerine göre, ağartma işlemlerindeki hidrojen peroksit ve sodyum hidroksit tüketimleri ile kurutma ve bitim işlemlerindeki yumuşatıcı kullanımı boya numunelerinde olduğu gibi iyileştirmelere dönük kirlenici kaynakları olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.24. Pamuklu ve viskon baskı numunelerinin HTP değerlerinin karşılaştırması

Numune 2.2 Asidifikasyon Potansiyeli

<u>Kirletici kaynakları:</u> <ul style="list-style-type: none"> Doğalgaz kaynaklı NO %73,8 (0,0225 kg SO₂eş.) 	<u>Kirletici kaynakları:</u> <ul style="list-style-type: none"> H₂O₂ %3,84 (0,00117 kg SO₂eş.) NaOH %3,88 (0,00119 kg SO₂eş.)
	Ağartma, %10,7
Kurutma ve Egalize, %75,1	Diğerleri, %6,83

Numune 2.5 Asidifikasyon Potansiyeli

<u>Kirletici kaynakları:</u> <ul style="list-style-type: none"> H₂O₂ %7,56 (0,000293 kg SO₂eş.) NaOH %7,65 (0,000297 kg SO₂eş.) 	<u>Kirletici kaynakları:</u> <ul style="list-style-type: none"> Doğalgaz kaynaklı NO %10,2 (0,000395 kg SO₂eş.) Elektrik %10,1 (0,000391 kg SO₂eş.) 	<u>Kirletici kaynakları:</u> <ul style="list-style-type: none"> Buhar %7,44 (0,000288 kg SO₂eş.)
	Kurutma ve Egalize, %20,3	Reaktif Yıkama, %17,7
Ağartma, %25,6	Diğerleri, %19,73	<u>Kirletici kaynakları:</u> <ul style="list-style-type: none"> Yumuşatıcı %8,28 (0,000321 kg SO₂eş.)
		Kurutma ve Bitim işlemleri, %11,2

Şekil 4.25. Pamuklu ve viskon baskı numunelerinin AP değerlerinin karşılaştırması

Baskı işletmesinde gerçekleştirilen YDD'lerde, Şekil 4.25'te verilen pamuk ve viskon numunelerin AP karşılaştırmasında da görüldüğü üzere, makine modifikasyonlarından kaynaklanan doğalgaz tüketimindeki artışın AP değerlerini anlamlı miktarda arttırdığı, yapılacak tasarımlarda bu tespitin dikkate alınması gerektiği sonucu çıkmıştır.

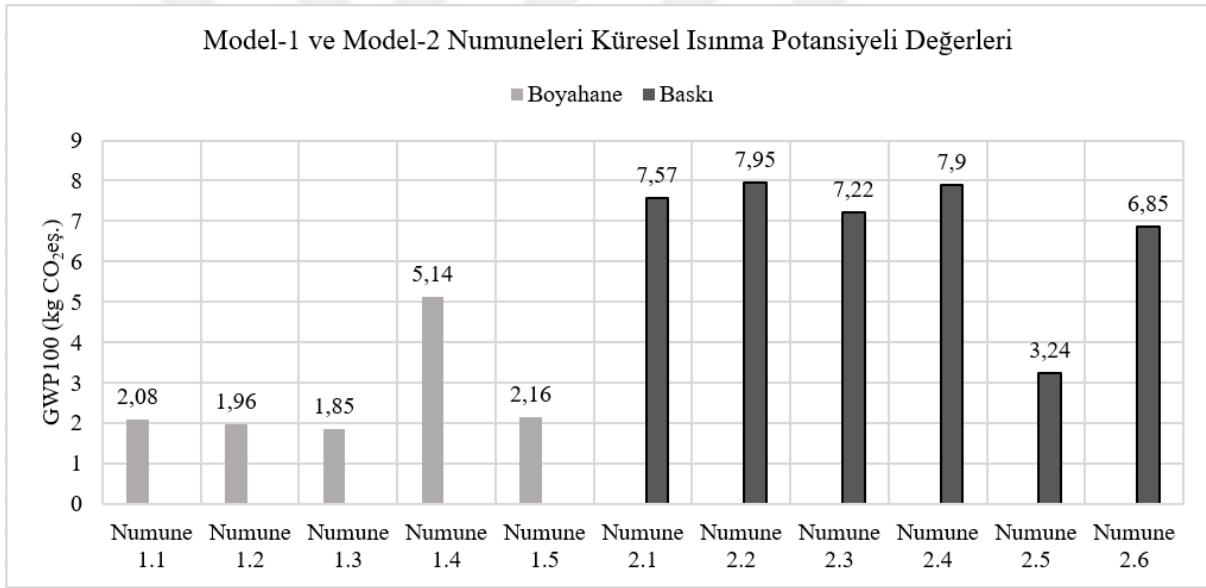
5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçların Değerlendirilmesi

Tez kapsamında, Trakya Bölgesinde faaliyet gösteren iki ayrı firmanın boyahane ve baskı işletmelerinde sürdürülebilirlik odaklı bir üretim anlayışını tanımlayabilmek için, mevcut süreçlerin çevresel etkilerinin açığa çıkarılması ve iyileştirilmesine yönelik hassas noktaların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda dokuma kumaşların baskı işletmesinde ve örme kumaşların boyahane işletmesinde geçtiği her bir adımın çevresel etkisinin ortaya konması, çevresel etki açısından işlemler arasındaki kabul edilebilir farkların açığa çıkarılması ve numunelerin çevresel etkilerinin çeşitli kumaş parametreleri ile ilişkisini incelemek amacıyla boyahane ve baskı işletmelerinde ürün odaklı kapıdan kapıya yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) yapılmıştır. YDD'ler boyahane ve baskı işletmelerinde fonksiyonel birimi 1 kg bitmiş kumaş olan, kumaş gramajı, renk, elyaf cinsi ve örgü yapısı parametrelerini karşılaştırmaya olanak sağlayan toplam 11 adet numune bazında gerçekleştirilmiştir. Çalışma, ISO 14044:2006 Çevre Yönetimi-Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi-Gereksinimler ve Kılavuzlar Standardına bağlı kalınarak, GaBi ts 9.5 profesyonel versiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Yaşam döngüsü envanterlerinde girdiler ve çıktılar, online olarak takip edilebilen ve arşivlenebilen, otomasyon sistemine bağlı, kontrol ve veri toplama sisteminden elde edilen birincil veriler, işletme yetkili personeli ile gerçekleştirilen yüz yüze görüşmeler, üretim raporları, reçeteler, MSDS belgeleri, emisyon raporları ve atık su analiz sonuçlarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Veri eldesinin mümkün olmadığı girdi ve çıktılar işletmenin ortalama verileri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hammadde üretim verileri, GaBi profesyonel veritabanından yararlanılarak ikincil veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Numunelerin üretimleri esnasında reçetelerde bulunan ıslatıcı madde tüketimleri GaBi profesyonel yazılımında veriye ait akış bulunmadığından envanterden çıkarılmıştır. İşletme içerisinde gerçekleştirilen ve üretimin devamlılığını sağlayan asansör, forklift, insan gücü vb. ara taşımalar, hava verileri gibi ek yatırım gerektiren alanlar kapsam dışı bırakılmıştır. Envanter oluşturulurken işlem sonu ve sırasında açığa çıkan her türlü atık, geri dönüşüm sistemleri ve ürün odaklı çalışma yürütülmesi nedeniyle işletme içinde gerçekleşen evsel su tüketimleri, tasarım ofisi vb. üretimin devamlılığını etkileyen üretim dışı işlerde gerçekleştirilen dolaylı tüketimler kapsam dışı bırakılmıştır. Baskı şablonu hazırlama bölümü, firmadan veri temin edilemediği için ve ilgili kimyasalların yazılım veritabanlarında tanımlı olmaması nedenleriyle kapsam dışı bırakılmıştır. Tez kapsamında GaBi' de oluşturulan yaşam döngüsü etki değerlendirmeleri CML2001-Aug. 2016 çevresel etki metodolojisine göre

incelenmiştir. Trakya Bölgesi'ndeki çevresel sorunlar göz önüne alınarak CML metoduna göre hesaplanan çevresel etki kategorilerinden asidifikasyon potansiyeli (AP-kg SO₂eş.), ötrofikasyon potansiyeli (EP-kg PO₄⁻³eş.), tatlı su akuatikleri ekotoksosite potansiyeli (FAETP-kg DCBeş.) ve insan toksisite potansiyelinin (HTP-kg DCBeş.) ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bunun yanında üretimin küresel ölçekte etkisini inceleyebilmek ve literatür ile karşılaştırma olanağı yaratması açısından küresel ısınma potansiyeli (GWP100-kg CO₂eş.) incelenmiştir. Baskı işletmesinde YDED sonucu bazı işlem basamaklarında negatif sonuç veren fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP-kg C₂H₄eş.) kategorisi de incelenmeye değer görülmüştür.

Tüm numunelerin GWP100 değerleri Şekil 5.1'de verilmiştir. Görüldüğü üzere baskı işletmesi numunelerinde ağartma, merserizasyon, buharlama gibi fazladan işlem basamaklarının olması, buna bağlı enerji ve kimyasal tüketimlerinin yükselmesi kaynaklı belirgin olarak daha yüksek GWP100 değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Tüm numunelerin GWP100 değerleri

Boya numunelerinin GWP100 değerleri kumaş parametre değişimlerine göre incelendiğinde; gramajı yüksek kumaşın (Numune 1.1) gramajı düşük kumaşa göre (Numune 1.2); açık mavi renk kumaşın (Numune 1.2), koyu haki renk kumaşa göre (Numune 1.3); viskon kumaşın (Numune 1.4) pamuk kumaşa göre (Numune 1.2); interlok kumaşın (Numune 1.5) süprem kumaşa göre (Numune 1.2) küresel ısınma potansiyeli değerleri daha yüksek çıkmıştır. Baskı işletmesinde ise; GWP100 değerleri numunelerin parametre değişimlerine göre incelendiğinde; gramajı düşük kumaşın (Numune 2.2) gramajı yüksek kumaşa göre (Numune 2.1); açık sarı renk kumaşın (Numune 2.4), koyu lacivert renk kumaşa göre (Numune 2.3);

pamuk kumaşın (Numune 2.2) viskon kumaşa göre (Numune 2.5); bezayağı kumaşın (Numune 2.3) saten kumaşa göre (Numune 2.6) küresel ısınma potansiyeli değerleri daha yüksek çıkmıştır.

Tüm numuneleri işlem basamaklarına göre karşılaştırmada, boya numunelerinde boyama bölümü adımı, baskı numunelerinde de ağartma adımı en yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip işlemler olarak öne çıkmıştır. Boya numunelerinde literatürle paralel bir biçimde en yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip olan boyama bölümü adımının GWP100 değerlerine bağlı katkıları numuneler 1.1-1.5 için sırasıyla %85,03; %80,1; %72,79; %88,55; %83,01 olarak gerçekleşmiştir. Kumaş hazırlama bölümünün GWP100 değerleri bağlı katkısı, tüm numunelerde %1'in altında kalmıştır. Boyama bölümü adımından sonra sanforizasyon ile kurutma ve bitim işlemleri GWP100 değerleri tüm işlemler incelendiğinde ikinci ve üçüncü sırada yer almıştır ve bağlı katkıları %5 civarında gerçekleşmiştir. Ancak kurutma ve bitim işlemleri diğer etki kategorileri açısından hassas noktalar olarak belirlenmiştir. Baskı numunelerinde ağartma işleminin her bir numune için GWP100 değerlerine bağlı katkıları sırasıyla %36,3; %43,8; %26,5; %30,5; %35,7; %25,2 olarak gerçekleşmiştir. Bunun dışında reaktif yıkama, buharlama ve fiksaj, rotasyon baskı ve merserizasyon işlemine tabi tutulan numuneler özelinde de merserizasyon işlemleri küresel ısınma potansiyelini öncelikli arttıran işlemler olarak bulunmuştur. Yakma ve haşıl sökme nispeten daha düşük enerji tüketimlerinin gerçekleştiği işlem olduğu için tüm numunelerin yaşam döngüsünde GWP100 değerlerine bağlı katkısı, viskon numune hariç, %1'in altında kalmıştır. Ancak viskon numunenin yakma ve haşıl sökme işlemi GWP100 değerlerinde, diğerlerine göre belirgin bir farklılık da görülmemiştir. Ancak yapılan incelemelerde buhar enerjisinin GWP100 değerlerini doğalgaza göre daha etkili bir biçimde arttırdığı tespit edilmiştir.

Numuneler arasındaki gramaj farklılıkları, enerji ve bazı kimyasal tüketimlerini artırması nedeniyle, boya numuneleri GWP100 değerlerini kritik bir şekilde etkilerken, baskı işletmesi numunelerinde önemli bir oranda etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Boya numunelerinde kumaş gramajı arttıkça may kesme ile kalite kontrol ve paketleme adımlarının bağlı katkısının arttığı gözlenmiştir. Genel olarak, örme kumaşların boyama işlemlerinde kumaş rengi farklılığı parametresinden ziyade, kullanılan boyarmadde miktarının önemi ve etkisi daha belirgin olmuştur. Baskı numuneleri sonuçlarına bakıldığında; gramajı düşük numunenin geçtiği rotasyon baskı makinesinin ısı enerjisinin doğalgaz olmasına karşılık gramajı yüksek numunenin girdisinin buhar enerjisi olması nedeniyle, bu işlemde GWP100

değerlerinde gramajı yüksek numuneye göre düşüş tespit edilmiştir. Enerji kaynağının öneminin açığa çıktığı bu tekil örnekten yola çıkarak makine modifikasyonları ile ek çalışmalar yapılabileceği öngörülebilir. Açık renk numunelerde daha kuvvetli ortamda gerçekleştirilen ağartma işleminin ve renk sayısındaki artıştan kaynaklı elektrik tüketim miktarının yükselmesi, GWP100 değerlerinin daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ancak baskı renk sayısındaki artışın hem kimyasal ve boyarmadde miktarını hem de enerji tüketimlerini arttırması nedeniyle; renk koyuluğundan bağımsız olarak GWP100 değerlerinde artışa neden olduğu söylenebilir. Kumaş yapısal parametrelerinden elyaf değişiminin en dramatik etkiyi yaratan unsurlardan biri olduğu görülmüştür. Boya numunelerinde; viskon numunenin yaş işlemlerdeki mukavemet hassasiyetine bağlı uzayan işlem süreleriyle toplam elektrik tüketiminin pamuk numuneye göre yaklaşık %40 daha fazla gerçekleşmesi, reaktif boyama işlemlerinde yüksek miktarda kullanılan soda gibi etmenler viskon numunenin pamuğa göre 3 kat yüksek GWP100 değerlerini açığa çıkarmıştır. Baskı işletmesinde de kumaş parametreleri açısından en önemli farklılık elyaf cinsinin değişimiyle gerçekleşmiştir. Pamuk numuneye göre ağartma işlemleri hidrojen peroksit ve sodyum hidroksitin daha az kullanıldığı daha ılıman koşullarda gerçekleştirilen viskonun GWP100 değeri, işlem sıcaklık ve süreleri nedeniyle enerji tüketimleri daha fazla olan pamuğa göre daha düşük çıkmıştır. Baskı ve boyahane işletmelerinde gramaj farklılıklarından doğan değişimler dışında, örgü yapısına bağlı bir farklılık tespit edilememiştir.

Çevresel zararların bölgesel ve küresel boyutuyla da ele alınması daha tutarlı ve anlamlı sonuçlar vereceği için, sadece GWP100 değerleriyle açıklamalarda bulunmaktan kaçınılmalıdır. Bu nedenle, çalışmada diğer etki kategorileri de göz ardı edilmeden değerlendirme kapsamına alınmıştır.

Boyahane işletmesinde gerçekleştirilen YDED'ler sonucunda, pamuk numunelerin tümünde kurutma ve bitim işlemleri adımı açığa çıkan ana kirletici kaynağı olan yumuşatıcının, AP değerini %35'lerin üzerinde arttırdığı bulunmuştur. Bazı numunelerde boyama bölümündeki soda ve tuz girdilerinin yol açtıkları AP değerlerinin kalite kontrol ve paketleme işleminin toplamı kadar gerçekleştiği, bunun yanısıra kalite kontrol ve paketleme işleminde kullanılan polietilen filmin AP değerinin, sanforizasyon işlemi buhar tüketimden kaynaklanan AP değerinin neredeyse 5,5 katı olduğu tespitleri yapılmıştır. Polietilen film kullanımını ortadan kaldırmanın en az enerji kullanımı ile ilgili çalışmalar kadar değerli olabileceği gözlenmiştir. Baskı numunelerinde AP incelemelerinde kurutma ve egalizasyon

işleminde makine ısı enerjisi doğalgaz ile sağlanan numunelerde ana kirletici kaynağın inorganik hava emisyonlarından azot monoksit (NO) çıktısı olduğu ve bunun da doğalgaz tüketimine bağlı hava emisyonları ölçümünden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bu işlem adımı buhar tüketimi olan numunelerde AP değerleri görece düşük çıkmıştır. Buradan yola çıkarak doğalgaz enerjisi tüketiminin AP değerlerini buhar tüketimine göre daha etkili bir şekilde arttırdığı sonucu çıkmıştır. Bunun yanısıra ağartma işlemindeki H₂O₂ ve NaOH ile kurutma ve bitim işlemlerinde yumuşatıcı tüketimlerinin boya numunelerinde olduğu gibi kirletici kaynağı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, reaktif boyarmadde ve soda girdilerinin de AP'yi artırıcı etkileri gözlemlense de özellikle reaktif yıkama ile buharlama ve fiksaj işlemindeki buhar tüketimleri bunlardan daha çok etkili olmuştur.

Numuneler arasındaki gramaj artışı, özellikle boya numunelerinde enerji ve boyarmadde tüketimlerini de arttırarak AP değerlerini negatif yönde etkilediği tespit edilmiştir. Baskı numunelerinde ise gramajı düşük numunenin baskı öncesi en boy ayarlama işlem sürelerinin daha uzun olması nedeniyle enerji tüketimlerine bağlı olarak AP değerleri yükselmiştir. Renk parametresi açısından boya numunelerinde koyu renk numunenin kurutma işlem sıcaklık şartlarındaki artış, enerji tüketimlerini de arttırmış ve bu işlem basamağında AP değerini yükseltmiştir. Ancak genel olarak boya numunelerinde koyu renk kumaşların ağartma işlemlerinde gerçekleşen kimyasal ve enerji tüketimleri, nispeten hafif işlem parametreleri nedeniyle azalmakta, bu da koyu renk kumaşlarda AP değerinin görece düşmesine neden olmaktadır. Baskı numunelerinde ise bunun tam tersi yönünde açık renk numunede, kurutma işlemlerinde kumaş geçiş hızının düşmesi ve işlem sürelerinin uzaması ile elektrik tüketimindeki artış açık renk numunelerin AP değerlerinin nispeten artmasına neden olmuştur. Elyaf değişimine bağlı olarak hem boya hem de baskıda, AP değerlerinde de önemli farklılıklar oluşmuştur. Pamuklu boya numunelerinden farklı olarak viskon numunede, AP değerleri ana kirletici kaynağı olan yüksek soda girdileri ve enerji tüketimleri ile gramaj farklılıklarına bağlı olarak 4 kat daha yüksek çıkmıştır. Baskıda ise viskon numunenin asidifikasyon potansiyeli pamuk numuneye göre yaklaşık 7 kat daha düşük çıkmıştır. Viskonun yaş işlem basamaklarında, kimyasal ve amorf bölge yapısı nedeniyle oluşabilecek mukavemet problemi, hızlı boya alma özelliği gibi etkilerle daha ılıman koşullarda, düşük kimyasal, su, işlem süresi ve sıcaklıklarıyla işleme tabii tutulması dolayısıyla pamuk lifleriyle arasında çarpıcı bir farklılık oluşmuştur. Bunun dışında ağartma işlemlerinde NaOH ve H₂O₂ tüketimindeki anlamlı düşüş bu sonucu açığa çıkarmıştır.

EP etki değerinin büyük çoğunluğu boyama bölümü ile ağartma ve boyama işlemlerinde kullanılan kimyasallardan kaynaklı açığa çıkan KOİ lm sonuçlarından kaynaklanmaktadır. Bunun dışında yumuşaticı kullanımı da EP değerlerinin yükselmesinde önemli rol oynamıştır. Bazı numunelerde kullanılan reaktif boyarmaddenin EP artışına etkisi kumaş hazırlama, kalite kontrol ve paketleme, sanforizasyon ve may kesme işlemlerinin bütününden daha yüksek olmuştur. Boyama bölümünde, özellikle atık suda azot miktarını arttıran tuz ve boyarmadde üretiminden gelen katkı maddelerinin KOİ değerlerini yükseltmesi, bu girdilerin ne derece önemli bir etken olduğunu göstermesi açısından oldukça dikkat çekicidir. Baskı işlem basamaklarından kurutma ve egalizasyonda, doğalgaz enerjisi kullanılan numunelerde EP değerlerinin artışına en büyük etkiyi, NO hava emisyonlarını arttıran doğalgaz tüketimleri göstermiştir. Diğer numunelerde buhar enerjisi tüketimi nedeniyle kimyasal tüketimleri bağlı olarak daha önemli hale gelmiştir, ancak numunelerdeki toplam buhar tüketimi açısından bakıldığında da iyileştirmeye dönük buhar tüketimlerini düşürücü çalışmalar yapılabileceği öngörülebilir. Viskon boya numunesinde yüksek soda ve enerji tüketimlerinden kaynaklanan KOİ değerlerindeki ve inorganik hava emisyonlarındaki yükselme EP değerinin pamuk numuneye göre 2 kat daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Baskı viskon numunelerinin daha ılıman ağartma koşulları sayesinde EP değerleri pamuk numuneye göre 7 kat daha düşük çıkmıştır. Rotasyon baskı işlemindeki renk açıklığına bağlı üre tüketimlerindeki artış ile kurutma ve bitim işlemlerinde yumuşaticı kullanımı önemli kirletici kaynakları olarak öne çıkmıştır. EP değerleri üzerinde, kumaş gramaj düşüşüne bağlı kimyasal tüketimlerindeki değişim ve işlem sürelerine bağlı elektrik kullanımının da önemli birer parametre olduğu tespit edilmiştir.

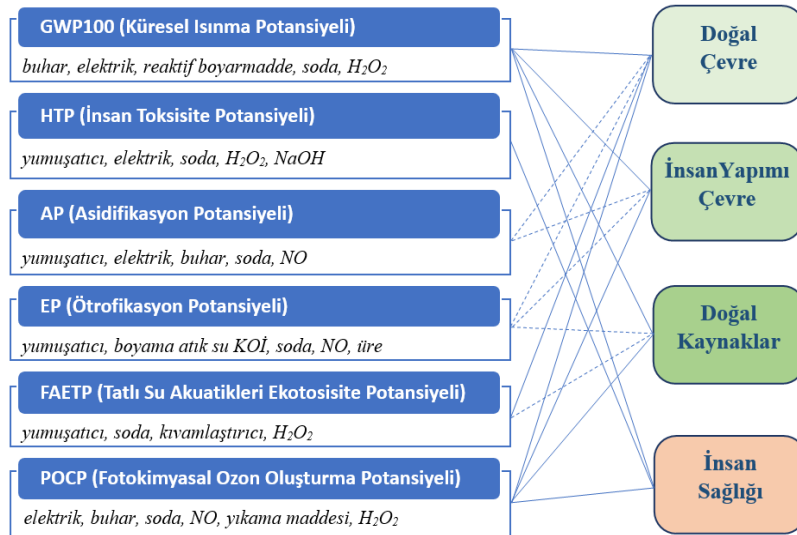
Tüm numunelerin FAETP değerleri kurutma ve bitim işlemlerindeki yumuşaticı kullanımı kaynaklı tarım arazilerine gerçekleşen ağır metal salımları sonucu açığa çıkmaktadır. Bazı boya numunelerinde, tarım arazilerine gerçekleşen nikel salımından kaynaklı FAETP değeri, tek başına boyama bölümünde gerçekleşen değerin neredeyse 4 katı kadar bulunmuştur. Baskıda ise bazı numunelerde bu girdinin FAETP değerleri, yakma ve haşıl sökme, buharlama ve fiksaj ve sanforizasyon işlemlerinin FAETP değerlerinin toplamından çok daha yüksek çıkmıştır. Baskıda gramaj düşüşüne bağlı yumuşaticı tüketiminin yaklaşık %50 oranında az olduğu bir numunede, rotasyon baskı veya reaktif yıkama FAETP değerleri kadar bir kazanımın olması, bu girdinin kontrolünün önemini göstermiştir. Baskı işlemlerinde dikkat çekici diğer bir sonuç da bazı numunelerde reaktif boyarmaddeden daha yüksek bağlı değerler açığa çıkaran iyon tutucu kullanımınıdır. Bunların dışında özellikle koyu renk baskılarda kıvamlaştırıcı

tüketimlerinin azaltılması FAETP değerlerinde bir düşme sağlayabilir. Boya numunelerinde, viskon boyamada; pamuklu boyamadan farklı olarak, soda tüketimi de önemli bir sorun olarak ortaya çıkmıştır.

HTP değerleri, yumuşatıcı üretiminden kaynaklı Pb ve Cr+3 başta olmak üzere ağır metal iyonlarının tarım topraklarını kirletmesi hem boya hem de baskı numunelerinde önemli derecede etkili olmuştur. Boyama bölümünde kullanılan reaktif boyarmadde girdisinin, kurutma ve bitim işlemlerinde gerçekleşen elektrik tüketimi kadar HTP değerini etkilediği görülmüştür. Buradan yola çıkarak, girdilerin hangi çevresel etkiye göre değerlendirileceğini seçmek kadar, girdilerin seçilen çevresel etki kategorisine doğrudan katkıları da iyileştirme aşamasında dikkate alınması gereken bir etmen olarak dikkate alınmalıdır. Boyama bölümündeki fosil enerjiden elde edilen buhar tüketimleri, uçucu organik bileşiklerin partikül madde ve ağır metal salımlarının artışı nedeniyle HTP değerini dikkate değer bir oranda artırmıştır. Boyahanede viskon numune, pamuk numunelerden farklı olarak yüksek miktardaki soda tüketimleri nedeniyle tek başına kumaş hazırlama, kalite kontrol ve paketlenme, sanforizasyon ve may kesme adımlarının toplamından 3 katı kadar HTP değeri oluşturmuştur. Ayrıca baskı numunelerinde ağartma ve merserizasyon işlemlerinin NaOH, H₂O₂ tüketimleri ile rotasyon baskı işlemindeki kıvamlaştırıcı, buharlama ve fiksaj işlemindeki buhar tüketimleri, HTP değerleri iyileştirmeleri için öncelikli alanlar olarak öngörülmelidir.

Baskı işletmesinde bazı numunelerin POCP değerleri negatif sonuç vermiştir. Kurutma ve egalizasyon işlemlerinde, bu numunelerin geçtiği makinelerin ısı enerjisi doğalgaz ile sağlanmaktadır. Ayrıca, bu numunelerin envanterinde, diğerlerinden farklı olarak, azot monoksit, azot oksitler ve karbon monoksit çıktıları oldukça yüksektir. POCP değerlerindeki değişim, uçucu organik bileşik oluşturma potansiyeli yüksek kirletici kaynakları ile enerji tüketimlerinden kaynaklanan (NO_x) artışının karşılıklı etkileşimine bağlı ve oldukça karmaşıktır. VOC, NO ve (NO_x)'lerin zamana bağlı, zincirleme reaksiyonları temel alınarak gerçekleştirilen hesaplamalarda NO'lerin negatif katsayı ile hesaplanması, özellikle ürün bazlı karşılaştırmalar gibi bazı durumlarda yanıltıcı sonuçlar elde edilmesine neden olabilir. Negatif ve pozitif POCP değerlerinin arasındaki farklılık bu nedenden kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlara göre çevresel etkilerin çok yönlü değerlendirilmesi gerekliliği bir kez daha açığa çıkmış, karşılaştırmalı ve numune bazlı çalışmalarda POCP değerlerinin kullanılması için ileri çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmüştür.

Bilindiği üzere YDD değerlendirme yöntemleri arasında, etki kategorilerinin nihai etki alanı ve etki büyüklüğünün hesaplanması tartışmalı bir alandır. Bu nedenle, farklı metodolojilerin sonuçları itibariyle karşılaştırması çoğu kez sağlıklı ve tutarlı bir sonuç vermemektedir. Bu çalışmada kullanılan CML 2001 metodolojisi, son noktadaki etkileri değil, orta nokta etkilerini belirlemeye odaklıdır. Çevresel etkileri 12 farklı etki kategorisi üzerinden karakterize eden bu metodolojinin, 6 etki kategorisi bu çalışmada analiz edilmiştir. Bu karakteristik etki kategorilerinin son noktada zarara yol açtığı alanlar ve bu etkilerin, bölgesel ya da küresel, hangi ölçekte gerçekleştiğini özetleyen bir çalışma yapılmıştır. Etki kategorilerini analiz eden çeşitli çalışmalardan yararlanarak (Joliet vd., 2004; Menoufi, 2011; European Commission, 2010; Nieuwlaar, 2013; Bulle vd., 2019), bu çalışma kapsamında öne çıkan 6 etki kategorisi ve ana kirletici kaynakları ile nihai aşamada nerelerde zarara yol açtığı Şekil 5.2’de özetlenmiştir. Şekilde sürekli çizgiler küresel, kesikli çizgiler bölgesel etkiye işaret etmektedir. Şekilde genel olarak tüm numunelerde açığa çıkarılan kirletici kaynakları verilmiştir. Burada NO kirletici kaynağı, doğalgaz kaynaklı emisyon çıktısı olarak algılanmalıdır. Görüldüğü üzere; doğal çevreye 6 etki kategorisinin 5’i, insan yapımı çevre ve doğal kaynaklara ise 4 adeti, olumsuz etkilere yol açmaktadır. Etki kategorilerinin sayısal çokluğu, oluşan zararın büyüklüğü ile doğrudan ilişkili olmasa da; tekstil yaş işlemlerinin genel olarak çevreye ve insan sağlığına zarar verme potansiyelinin kayda değer olduğu; ve bu çalışmada ve benzer çalışmalarda ortaya çıkarılan iyileştirme adımlarıyla bu zararların azaltılmasının sürdürülebilir üretim açısından gerekli ve kaçınılmaz olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 5.2. Tekstil boyama ve baskı işlemlerinde incelenen çevresel etki kategorilerinin zarar verme potansiyeli olan alanlar ve bu etkiye yol açan kirletici kaynaklarının şematik gösterimi

İklim krizinin varlığının günümüzde büyük oranda kabul edilmesi, devletlerin ve birliklerin bu konudaki zorunlu veya tavsiye niteliğindeki düzenlemeleri beraberinde uluslararası ticarete, tüketicilerin satın alma davranışlarında, üreticilerin pazarlama ve üretim stratejilerinde büyük değişimler getirmiştir. Bu alanda bilim insanlarının çalışmaları birlikler, şirketler ve bağımsız kaynaklarca desteklenmekte ve hızlı bir şekilde birçok çalışma yürütülmektedir. Bu alanda yapılan çalışmaların özgün verilerin yanı sıra literatür veya yayınlanmış açık raporlar vasıtasıyla da yürütülebilmesi, YDD'nin eksik yanlarından birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde farklı kaynaklardan elde edilen ikincil verilerin YDE çalışmalarının ana çatısını oluşturduğu birçok yayınlara karşılaşılabilmektedir. Yapılan farklı çalışmalarda ürünlerin ya da süreçlerin karbon ayak izi değerleriyle ilgili genel bir kanı oluşmuşsa da işletmelerin alışkanlıkları, üretimde kullanılan renk skalası, hammaddenin işlemler öncesi kondisyonu, kimyasal maddelerin markaları, kimyasal özellikleri, verimleri, üretim şekilleri, renklendirilecek malzemenin boyama veya baskı işlemi öncesi gördüğü işlemler, makine parkuru, makine özellikleri gibi değişkenlerden kaynaklı ürünlerin/süreçlerin genel kanının aksi yönünde çevresel zarara yol açabileceği bilinmelidir. Bu sebeplerle çeşitli parametrelere göre üretilen ürünlerin çevreye ne derece zararlı veya daha tercih edilebilir olduğuna dair genellemelerin dikkatli yapılması gerekir. Bu tip kesin değerlendirmeler son derece karmaşık ve henüz gelişmeye açık olan bu alanda yanıltıcı yönlendirmelere neden olabilir.

5.2 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Bu tez kapsamında oluşturulan modeller her yönüyle ayrıntılı olarak incelenmiş ve üretimde iyileştirmelere yönelik çeşitli çıkarımlar yapılmıştır. Bu çıkarımların dışında, kumaş örgü yapısından kaynaklı önemli bir farklılık bulunamamıştır ancak gelecek çalışmalarda enerji tüketimlerini ve işlem parametrelerini doğrudan etkileyebilecek bu konu daha ayrıntılı parametrelerle oluşturulacak modellerde yeniden test edilebilir. Viskon kumaşın boyahane işletmesindeki çevresel etkilerini düşürmeye yönelik işlem parametreleri ve özellikle soda tüketiminin azaltılmasına yönelik ek optimizasyon çalışmaları yapılabilir. Kalite kontrol ve paketleme işlemlerinde kullanılan polietilen film kullanımını ortadan kaldırmanın en az enerji kullanımı ile ilgili çalışmalar kadar değerli olabileceği gözlenmiştir. Bu kapsamda etki değeri daha düşük paketleme malzemelerinin kullanımına yönelik çalışmalar yapılabilir. Baskı işlemlerinde önemli bir kirletici kaynağı olan üre kullanımına alternatif kimyasalların araştırılması ve kullanılmasına yönelik çalışmalar çevresel etkilerin azaltılmasına katkı

sağlayacaktır. Çevresel etki değerlerini kritik düzeyde arttıran, fosil yakıt tüketimine bağlı buhar enerjisi kullanımının minimuma indirilmesi gerekmektedir. Ağartma işlemlerinde özellikle koyu renklendirme yapılacak malzemeler için H_2O_2 , NaOH ve iyon tutucu konsantrasyonları yeniden değerlendirilmesine yönelik reçete optimizasyonları için ek çalışmalar yürütülebilir. Sonuç olarak iyileştirilme yapılacak tüm çalışmalarda daha objektif sonuçlar elde edebilmek için yerel verilerin oluşturulması, küresel verilerin iyileştirilmesi, ayrıtılandırılması, normalizasyon faktörlerinin gözden geçirilmesi ve özgün verilerle çalışmaların her defasında yeniden değerlendirilmesi gerekir.



KAYNAKLAR

- Adamkiewicz, J., Kochanska, E., Adamkiewicz, I. ve Łukasik, R. M. (2022). Greenwashing and sustainable fashion industry. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 38, 100710.
- Alkaya, E. ve Demirer, G. N. (2014). Sustainable textile production: a case study from a woven fabric manufacturing mill in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 65, 595-603.
- Allwood, J.M., Laursen, S.E., Malvido de Rodríguez, C. ve Bocken, N.M.P. (2006). Well dressed? The present and future sustainability of clothing and textiles in the United Kingdom Institute for Manufacturing, University of Cambridge, ISBN 1-902546-52-0; 2006.
- Altenstedt, J. ve Pleijel, K. (1998). POCP for individual VOC under European conditions. Goteborg: IVL Svenska Miljöinstitutet. Erişim adresi: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?dswid=9447&pid=diva2%3A1551388>
- Altun, Ş. (2012). Prediction of textile waste profile and recycling opportunities in Turkey, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 20, 5 (94), 16-20.
- Andersson-Sköld, Y., Grennfelt, P. ve Pleijel, K. (1992). Photochemical ozone creation potentials: a study of different concepts. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 42(9), 1152-1158.
- Balpetek, F. G. ve Gülümser, T. (2014). Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Ekolojik Etiketler, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8 (2), 48-62.
- Bartl, A., Hackl, A., Mihalyı, B., Wıstuba, M. ve Marını, I. (2005). Recycling of fibre materials, *Process Safety And Environmental Protection*, 83(B4), 351–358.
- Baydar, G., Ciliz, N. ve Mammadov, A. (2015). Life cycle assessment of cotton textile products in Turkey. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 213-223.
- Bayraktar, T. (2005). *Tekstil ve konfeksiyon sektöründe ekoloji ve ekolojik etiketler*. 2 Aralık 2022, Erişim adresi <https://www.yumpu.com/tr/document/read/23582613/tekstilde-ekoloji-uenco>
- Bulle, C., Margni, M., Patouillard, L., Boulay, A.M., Bourgault, G., De Bruille, V., Cao V., Hauschild M., Henderson A., Humbert S., Haghghi, S.K., Kounina A., Laurent, A., Levasseur, A., Liard, G., Rosenbaum, R.K., Roy, P.O., Shaked, S., Fantke, P., Jolliet, O. (2019). IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24, 1653-1674.
- Cherrett, N., Barrett, J., Clemett, A., Chadwick, M. ve Chadwick, M.J. (2005). Ecological footprint and water analysis of cotton, hemp and polyester. Londra, İngiltere: Stockholm Environment Institute. Erişim adresi <https://www.sei.org/publications/ecological-footprint-water-analysis-cotton-hemp-polyester/>
- Cılız, N., Daylan, B. ve Baydar, G. (2017). *Sürdürülebilir üretim ve tüketim yayınları-II temiz üretim*. 2 Aralık 2022, Erişim adresi <https://rec.org.tr/wp-content/uploads/2017/02/temiz-c3bcretim.pdf>

- Citak, D., Silici, S., Tuzen, M. ve Soylak, M. (2012). Determination of toxic and essential elements in sunflower honey from Thrace Region, Turkey. *International journal of food science and technology*, 47(1), 107-113.
- Conca, J. (2015). Making climate change fashionable-the garment industry takes on global warming. Erişim adresi <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2015/12/03/making-climate-change-fashionable-the-garment-industry-takes-on-global-warming/#74da294d79e4>
- Demirer, G.N. (2017). *Sürdürülebilir üretim ve tüketim yayınları-I yaşam döngüsü analizi*. 2 Aralık 2022, Erişim adresi <https://rec.org.tr/wp-content/uploads/2017/02/yda.pdf>
- De Saxce, M., Pesnel, S. ve Perwuelz, A. (2012). LCA of bed sheets e some relevant parameters for lifetime assessment. *Journal of Cleaner Production*, 37, 221-228.
- DNFI, 2022. *The global markets of natural fibres 2022*. 2 Aralık 2022, Erişim adresi <https://dnfi.org/dnfi-at-icc-bremen-2022>
- Elamri A., Lallam A., Harzallah O. ve Bencheikh L. (2007). Mechanical characterization of melt spun fibers from recycled and virgin PET blends. *Journal of Materials Science*, 42, 8271-8278.
- EPA (2019). Advancing sustainable materials management: 2017 fact sheet assessing trends in material generation, recycling, composting, combustion with energy recovery and landfilling in the United States. ABD: EPA. Erişim adresi https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-11/documents/2017_facts_and_figures_fact_sheet_final.pdf
- European Commission, (Temmuz 2003) *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry*. 2 Aralık 2022, Erişim adresi https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/txt_bref_0703.pdf
- European Commission-Joint Research Centre-Institute for Environment and Sustainability (2010a). *International reference life cycle data system (ILCD) handbook-general guide for life cycle assessment-detailed guidance* (birinci baskı). Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Commission-Joint Research Centre-Institute for Environment and Sustainability (2010b). *ILCD handbook: Analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment*. (birinci baskı). İtalya.
- Fernandez, L. (2022). *Production volume of chemical and textile fibers worldwide from 1975 to 2021*. 2 Aralık 2022, Erişim adresi <https://www.statista.com/statistics/263154/worldwide-production-volume-of-textile-fibers-since-1975/#statisticContainer>
- Grose, L. (2009). Sustainable cotton production. *Sustainable textiles life cycle and environmental impact* (birinci baskı) (33-62). Cornwall, UK: Woodhead Publishing.
- Guinée, J.B., Gorée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. (2001). LCA-an operational guide to the ISO-standards final report. Erişim adresi <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-projects/science/cml-new-dutch-lca-guide>

- Gülümser, T., Akça, C. ve Bahtiyari, M.İ. (2009). Yün terbiyesinde ozonla işlemin beyazlık derecesine etkisinin araştırılması. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 19 (1), 52-55.
- Hasanbeigi, A. (2010). Energy-efficiency improvement opportunities for the textile industry. ABD: Berkeley National Laboratory. Erişim adresi <https://www.osti.gov/biblio/991751>
- Held, M. ve Schücking, M. (2019). Utilization effects on battery electric vehicle life-cycle assessment: A case-driven analysis of two commercial mobility applications. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 75, 87-105.
- Hischier, R., Weidema, B., Althaus, H.J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Frischknecht, R., Hellweg, S., Humbert, S., Jungbluth, N., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M. ve Nemecek, T. (2010). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.2. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Höcker, H. (2002). Plasma treatment of textile fibers. *Pure and Applied Chemistry*, 74(3), 423-427.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. İsviçre: Intergovernmental Panel on Climate Change. Erişim adresi https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf
- IWTO (2016). Guidelines for conducting a life cycle assessment of the environmental performance of wool textiles. Belçika: International Wool Textile Organisation Wool LCA Technical Advisory Group. Erişim adresi <https://iwto.org/wp-content/uploads/2020/04/IWTO-Guidelines-for-Wool-LCA.pdf>
- Jolliet, O., Müller-Wenk, R., Bare, J., Brent, A., Goedkoop, M., Heijungs, R., Itsubo N, Pefia C., Pennington D., Potting J., Rebitzer, G., Stewart, M., Udo de Haes H. ve Weidema, B. (2004). The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC life cycle initiative. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9, 394-404.
- Jungmichel, N. (2010). The Carbon Footprint of Textiles. Germany: Systain Consulting. Erişim adresi: <https://docplayer.net/14238935-Thekey-to-academy-the-carbon-footprint-of-textiles.html>
- Kabir, S.M.F., Chakraborty, S., Hoque, S.M.A. ve Mathur, K. (2019). Sustainability assessment of cotton-based textile wet processing. *Clean Technologies*, 1(1), 232-246.
- Kalliala, E.M. ve Nousiainen, P. (1999). Life cycle assessment environmental profile of cotton and polyester-cotton fabrics. *AUTEX Research Journal*, 1 (1), 8-20.
- Kara, H. (2011). *Sürdürülebilir üretim ve tüketim yayınları-III eko etiketler*. 2 Aralık 2022, Erişim adresi: <https://rec.org.tr/wp-content/uploads/2017/02/eko-etiket.pdf>
- Kujanpää, M. ve Nors, M. (2014). Environmental performance of future digital textile printing. Finlandiya: VTT Technical Research Centre of Finland, Erişim adresi <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-CR-04462-14.pdf>
- Masanet, E. ve Chang, Y. (2015). *How green is that product? an introduction to life cycle environmental assessment*. 2 Aralık 2022, Erişim adresi

- Menoufi, K.A.I. (2011). *Life cycle analysis and life cycle impact assessment methodologies: a state of the art*, (Yüksek lisans tezi), Lleida Üniversitesi, Üstün Politeknik Okulu, İspanya.
- Modak, P. (1996). *Cleaner Production in Textile Wet Processing A Workbook for Trainers* (Birinci baskı). Fransa: United Nations Publications.
- Muruges, K.B. ve Selvadass, M. (2013). Life cycle assessment for the dyeing and finishing process of organic cotton knitted fabrics. *Journal of Textile and Apparel Technology and Management*, 8 (2/Summer), 1-16.
- Nieminen, E., Linke, M., Tobler, M., Beke, B.V. (2007). EU COST Action 628: life cycle assessment (LCA) of textile products, eco-efficiency and definition of best available technology (BAT) of textile processing. *Journal of Cleaner Production*, 15, 1259-1270.
- Nieuwlaar, E. (2013). Life cycle assessment and energy systems. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Mart, 1-7.
- Ozek, H.Z. (2017). Sustainability: increasing impact on textile and apparel industry. *Journal of Textile Engineering Fashion Technology*, 2(5):506-509.
- Öner, E., Büyükakinci, Y. ve Sökmen, N. (2013). Microwave-assisted dyeing of poly(butylene terephthalate) fabrics with disperse dyes. *Coloration Technology*, 129(2), April, 125–130.
- Prado, V., Wender, B.A. ve Seager, T.P. (2017). Interpretation of comparative LCAs: external normalization and a method of mutual differences. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(12), 2018-2029.
- Ramos, A., Teixeira, C. A. ve Rouboa, A. (2019). Environmental assessment of municipal solid waste by two-stage plasma gasification. *Energies*. 12(1), 137.
- RESYNTEX (2019). A new circular economy concept: from textile waste towards chemical and textile industries feedstock. Germany: Soex Textil-Vermarktungsgesellschaft MBH. Erişim adresi <https://cordis.europa.eu/project/id/641942>
- Sankauskaitė, A., Stygienė, L., Tumėnienė, M.D., Krauledas, S., Jovaišienė, L. ve Puodžiūnienė, R. (2014). Investigation of cotton component destruction in cotton/polyester blended textile waste materials. *Materials Science*, 20(2),189-192.
- Sefer, O. (2009). *Çevre dostu organik denim terbiyesinin klasik denim terbiyesiyle karşılaştırılması* (Yüksek lisans tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Şener Fidan, F., Kızılkaya Aydoğan, E. ve Uzal, N. (2022). The impact of organic cotton use and consumer habits in the sustainability of jean production using the LCA approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.
- Shaikh, I.A. ve Ahmad, I. (2014). Recycling of washing and rinsing textile waste water in cotton dyeing following an O₃ treatment. *Pakistan Journal of Science*, 66, 4 (December), 372-375.

- Shen, L., Worrell, E. ve Patel, M.K. (2010). Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. *Resources Conservation and Recycling*, 55, 260-274.
- Shen, L., Worrell, E. ve Patel M.K. (2012). Comparing life cycle energy and GHG emissions of bio-based PET, recycled PET, PLA, and man-made cellulose. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6, 625-639.
- Smith, G.G. ve Barker, R.H. (1995). Life cycle analysis of a polyester garment. *Resources, Conservation and Recycling*, 14, 233-249.
- Sonaje, N.P. ve Chougule, M.B. (2015). Municipal wastewater recycling in cotton textile wet processing-a review. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 3 (3), 992-1000.
- Sphera (2022). *GaBi datasets*. 1 Kasım 2022, Erişim adresi <https://gabi.sphera.com/america/databases/gabi-data-search/>.
- Sweeny, G. (2015). It's the second dirtiest thing in the world-and you're wearing it. Erişim adresi <https://www.alternet.org/2015/08/its-second-dirtiest-thing-world-and-youre-wearing-it/>
- Thylmann, D., Deimling, S. ve D'Souza F. (2014). *The life cycle assessment (LCA) of organic cotton fiber-a global average*. 2 Aralık 2022, Erişim adresi <https://www.readkong.com/page/the-life-cycle-assessment-of-organic-cotton-fiber-1975888>
- Tokatli, C. ve Ustaoglu, F. (2020). Health risk assessment of toxicants in Meriç river delta wetland, Thrace region, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 79(18), 1-12.
- TTGV (2014). Sürdürülebilir rekabetçilik için temiz üretim. Türkiye: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı. Erişim adresi <https://www.ttgiv.org.tr/tur/images/publications/6005b4b919718.pdf>
- Tüm Cebeci, D. (2013). *Ekolojik tekstillerin moda tasarımı üzerine etkileri* (Doktora tezi), Marmara Üniversitesi, Türkiye.
- Ulutaş, F. (2011). *Sürdürülebilir üretim ve tüketim yayınları VI endüstriyel ekoloji*. 2 Aralık 2022, Erişim adresi: https://rec.org.tr/wp-content/uploads/2017/02/endc3bcstriyel_ekoloji.pdf
- UNECE (1988). Protocol to the 1979 convention on long-range transboundary air pollution concerning the control of emissions of nitrogen oxides or their transboundary fluxes. Sofia: United Nations Economic Commission for Europe. Erişim adresi: https://unece.org/sites/default/files/2021-10/1988.NOX_e.pdf
- UNECE (2017). Transparency in textile value chains in relation to the environmental, social and human health impacts of parts, components and production processes. İsviçre: United Nations Economic Commission for Europe. Erişim adresi <https://unece.org/fileadmin/DAM/trade/Publications/ECE-TRADE-439E-TEXTILE4SDG12.pdf>

- UNIDO (2011). Industrial development report 2011, industrial energy efficiency for sustainable wealth creation, capturing environmental, economic and social dividends. Avusturya: United Nations Industrial Development Organization. Erişim adresi https://www.unido.org/sites/default/files/2012-01/UNIDO_FULL_REPORT_EBOOK_0.pdf
- Van der Velden, N.M., Patel, M.K. ve Vogtländer, J.G. (2014). LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 331-356.
- Vigon, B.W., Tolle D.A., Cornaby, B.W., Latham, H.C., Harrison, C.L., Boguski, T.L., Hunt R.G. ve Sellers, J.D. (1993). Life-cycle assessment: Inventory guidelines and principles. Ohio: EPA. Erişim adresi: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=322840d20a4b1c5c90009d26375add6c26a045cd>
- WTO (2014). International Trade Statistics 2014. İsviçre: The World Trade Organization. Erişim adresi: https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2014_e/its14_toc_e.htm
- WTO (2019). World Trade Statistical Review 2019. İsviçre: The World Trade Organization. Erişim adresi: https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2019_e/wts19_toc_e.htm
- Woolridge, A.C., Ward, G.D., Phillips, P.S., Collins, M. ve Gandy, S. (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material: an UK energy saving perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 46, 94–103.
- World Commission on Environment and Development (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. *Medicine, Conflict and Survival*, 4(1), 1-300.
- Yacout, D.M.M., Abd El-Kawi, M.A. ve Hassouna, M.S. (2016). Cradle to gate environmental impact assessment of acrylic fiber manufacturing. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21:326-336.
- Yuan, Z.W., Zhu, Y.N., Shi, J.K., Liu, X. ve Huang, L. (2013). Life-cycle assessment of continuous pad-dyeing technology for cotton fabrics. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, 659-672.
- Yurdakul, A. ve Atav, R. (2006). Boya Baskı Esasları. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bornova-İzmir.
- Zampori, L., Saouter, E., Schau, E., Cristobal, J., Castellani, V. ve Sala, S. (2016). Guide for interpreting life cycle assessment result. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Erişim adresi <https://data.europa.eu/doi/10.2788/171315>
- Zhang, Y., Liu, X., Xiao, R. ve Yuan, Z. (2015). Life cycle assessment of cotton t-shirts in China. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 994-1004.
- Zhang, Y., Guo, S., Gong, Y. ve Wang, L. (2022). Potential trade-off between water consumption and water quality: life cycle assessment of nonaqueous solvent dyeing. *Water Research*, 215, (118222), 1-13.

Zhang, Y., Shao, S., Yu, W., Yang, F. ve Xu, X. (2014). Study on recycling alkali from the wastewater of textile mercerization process by nanofiltration. *International Conference on Environment Systems Science and Engineering*, 9, 71-76.

Zhu, J., Yang, Y., Li, Y., Xu, P. ve Wang, L. (2020). Water footprint calculation and assessment of viscose textile. *Industria Textila*, 71(1), 33-40.



EK-1. MODEL-1 YAŞAM DÖNGÜSÜ ENVANTERİ

İşlem	Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
Kumaş Hazırlama Bölümü							
Elektrik		kWh	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/kumaş ağırlığı	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
Kumaş		kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric), Textiles (viscose fabric)	1/3/2022
Atık Kumaş		%g	İşletmeden alınan ortalama değerler	veri/kumaş ağırlığı	kg	Textiles (unspecific) [Waste for recovery]	1/2/2021
Boyama Bölümü							
Boyama bölümü toplam	Elektrik	kWh	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/kumaş ağırlığı	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
	Su	l	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/kumaş ağırlığı	kg	Water (deionised) [Operating materials]-production mix, at plant/from surface water/reverse osmosis	1/2/2021
	Buhar	kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler	(veri/kumaş ağırlığı)*10 ³ *1*(100-20)+(veri/kumaş ağırlığı)*10 ³ *540	cal	Process steam from natural gas [Thermal energy]-consumption mix, at plant/MJ/heat plant	1/2/2021
	Kumaş	kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric) [Textile] , Textiles (viscose fabric) [Textile]	1/3/2022
Ön işlem ve Ağartma İşlemi	İyon Tutucu	g/l	Reçete hesaplama	[Flotte hacmi*reçete değeri/1000]/kumaş ağırlığı	kg	Sequestering agent [Operating materials]	1/3/2022
	Yağ Sökücü	kg	Reçete hesaplama	[kumaş ağırlığı*100/reçete değeri] /kumaş ağırlığı	kg	Degreasing agent [Operating materials]	1/3/2022
	Kostik (%50)	g/l	Reçete hesaplama	[Flotte hacmi*reçete değeri/1000]/kumaş ağırlığı	kg	Sodium hydroxide (50%; caustic soda) [Inorganic intermediate products]	1/3/2022
	Hidrojen Peroksit (%50)	g/l	Reçete hesaplama	[Flotte hacmi*reçete değeri/1000]/kumaş ağırlığı	kg	Hydrogen peroxide (50%) [Inorganic intermediate products]	1/3/2022
	Asetik Asit	g/l	Reçete hesaplama	[Flotte hacmi*reçete değeri/1000]/kumaş ağırlığı	kg	Acetic acid [Organic intermediate products]	1/3/2022

İşlem	Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
Boyama Bölümü							
Boyama İşlemi	Egalizatör	g/l	Reçete hesaplama	[Flotte hacmi*reçete değeri/1000]/kumaş ağırlığı	kg	Equalizing agent [Operating materials]	1/3/2022
	Tuz (Sodyum klorür)	g/l	Reçete hesaplama	[Flotte hacmi*reçete değeri/1000]/kumaş ağırlığı/3.3	kg	Sodium chloride (rock salt) [Inorganic intermediate products]	1/3/2022
	Selüloz	%g	Reçete hesaplama	[kumaş ağırlığı*100/reçete değeri] /kumaş ağırlığı	kg	Enzymes, saccharification [Operating materials]	1/3/2022
	İyon Tutucu	g/l	Reçete hesaplama	[Flotte hacmi*reçete değeri/1000]/kumaş ağırlığı	kg	Sequestering agent [Operating materials]	1/3/2022
	Reaktif Boya	%g	Reçete hesaplama	[kumaş ağırlığı*100/reçete değeri] /kumaş ağırlığı	kg	Reactive dye [Textile]	1/3/2022
	Soda (Sodyum Karbonat)	%g	Reçete hesaplama	[kumaş ağırlığı*100/reçete değeri] /kumaş ağırlığı	kg	Soda (sodium carbonate) [Inorganic intermediate products]	1/3/2022
	Kostik (%50)	%g	Reçete hesaplama	[kumaş ağırlığı*100/reçete değeri] /kumaş ağırlığı	kg	Sodium hydroxide (50%; caustic soda) [Inorganic intermediate products]	1/3/2022
Yıkama İşlemi	Yıkama Sabunu	%g	Reçete hesaplama	[kumaş ağırlığı*100/reçete değeri] /kumaş ağırlığı	kg	Soaping agent [Operating materials]	1/3/2022
	Asetik Asit	%g	Reçete hesaplama	[kumaş ağırlığı*100/reçete değeri] /kumaş ağırlığı	kg	Acetic acid [Organic intermediate products]	1/3/2022
Boyama bölümü toplam	Atık su	l	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/kumaş ağırlığı	kg	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	1/2/2021
	Askıda Katı Madde	mg/l	SM 2540 D Test metodu	Atık su miktarı*AKM değeri/10 ⁶	kg	TSS in waste water to external WWTP [Production residues in life cycle]	1/2/2021
	KOİ	mg/l	SM 5220 B Test Metodu	Atık su miktarı*KOİ değeri/10 ⁶	kg	Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water]	1/7/2021
May Kesme Bölümü							
Elektrik		kWh	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/kumaş ağırlığı	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022

Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
May Kesme Bölümü						
Kumaş	kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric) [Textile] Textiles (viscose fabric) [Textile]	1/3/2022
Kurutma ve Bitim İşlemleri Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/kumaş ağırlığı	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
Doğalgaz	m ³	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)*0.67	kg	Natural gas Turkey [Natural gas, at production]	1/3/2022
Kumaş	kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric) [Textile] , Textiles (viscose fabric) [Textile]	1/3/2022
Yumuşatıcı	g/l	Reçete hesaplama	[Flotte hacmi*reçete değeri/1000]/kumaş ağırlığı	kg	Softener [Operating materials]	1/3/2022
Fiksator	g/l	Reçete hesaplama	[Flotte hacmi*reçete değeri/1000]/kumaş ağırlığı	kg	Quaternary ammonium compounds [Organic intermediate products]	1/3/2022
Su	l	Katalog verisi		kg	Water (deionised) [Operating materials]-production mix, at plant/from surface water/reverse osmosis	1/2/2021
Atık su	l	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/kumaş ağırlığı	kg	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Askıda Katı Madde	mg/l	SM 2540 D Test metodu	Atık su miktarı*AKM değeri/10 ⁶	kg	TSS in waste water to external WWTP [Production residues in life cycle]	1/2/2021
KOİ	mg/l	SM 5220 B Test Metodu	Atık su miktarı*KOİ değeri/10 ⁶	kg	Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water]	1/7/2021
Toz	kg/sa	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	kütleli debi*işlem süresi/kumaş ağırlığı	kg	Dust (PM2.5 - PM10) [Particles to air]	1/3/2022
Karbon Monoksit (CO)	kg/sa	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	kütleli debi*işlem süresi/kumaş ağırlığı	kg	Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	1/3/2022
Sanforizasyon Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/kumaş ağırlığı	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022

Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
Sanforizasyon Bölümü						
Buhar	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	$(\text{veri/kumaş ağırlığı}) * 10^3 * 1 * (100-20) + (\text{veri/kumaş ağırlığı}) * 10^3 * 540$	cal	Process steam from natural gas [Thermal energy]-consumption mix, at plant/MJ/heat plant	1/2/2021
Kumaş	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric) [Textile] , Textiles (viscose fabric) [Textile]	1/3/2022
Kalite Kontrol ve Paketleme Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyondan alınan birincil veriler	veri/kumaş ağırlığı	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
Kumaş	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric) [Textile] , Textiles (viscose fabric) [Textile]	1/3/2022
Polietilen film	kg	İşletmenin verdiği ortalama değerler	ortalama değer*kumaş ağırlığı	kg	Polyethylene (Packaging) [Packaging]	1/2/2021

EK-2. MODEL-2 YAŞAM DÖNGÜSÜ ENVANTERİ

Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
Yakma ve Haşıl Sökme Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyondan alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
Su	t	Otomasyondan alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	t	Water (deionised) [Operating materials]-production mix, at plant/from surface water/reverse osmosis	1/2/2021
Buhar	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	$[\text{veri}/(\text{kumaş alanı} * \text{gramaj}/1000)] * 10^3 * 1 * (100 - 20) + [\text{veri}/(\text{kumaş alanı} * \text{gramaj}/1000)] * 10^3 * 540$	cal	Process steam from natural gas [Thermal energy]-consumption mix, at plant/MJ/heat plant	1/2/2021
Doğalgaz	m ³	Otomasyondan alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)*0.67	kg	Natural gas Turkey [Natural gas, at production]	1/3/2022
Kumaş	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric), Textiles (viscose fabric)	1/3/2022
Enzim	g/kg	Reçete hesaplama	kumaş uzunluğu/(kumaş alanı*gramaj)*3*reçete değeri*10 ⁻⁶	kg	Enzymes, saccharification [Operating materials]	1/3/2022
Yağ Sökücü	g/kg	Reçete hesaplama	kumaş uzunluğu/(kumaş alanı*gramaj)*3*reçete değeri*10 ⁻⁶	kg	Degreasing agent [Operating materials]	1/3/2022
Kompleks yapıcı-sertlik giderici	g/kg	Reçete hesaplama	kumaş uzunluğu/(kumaş alanı*gramaj)*3*reçete değeri*10 ⁻⁶	kg	Complexing agent [Operating materials]	1/2/2021
Karbon monoksit	ppm	Emisyon Raporu (SKHKK'ye göre)	Baca debisi*işlem süresi*karbon monoksit ölçüm değeri*1000*10 ⁻⁶ /kumaş ağırlığı	kg	Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	1/3/2022
KOİ	mg/l	SM 5220 B Test Metodu	Atık su miktarı*1000*KOİ değeri/10 ⁶	kg	Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water]	1/7/2021
Toplam Krom	mg/l	EPA 200.7 Test Metodu	Atık su miktarı*1000*Toplam krom değeri/10 ⁶	kg	Chromium [Heavy metals to fresh water]	1/3/2022
Toz	mg/m ³	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	Baca debisi*işlem süresi*toz ölçüm değeri*10 ⁻⁶ /kumaş ağırlığı	kg	Dust (PM2.5 - PM10) [Particles to air]	1/3/2022

Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
Fenol	mg/l	SM 5530 B,C Test Metodu	Atık su miktarı*1000*Fenol değeri/10 ⁶	kg	Phenol [ecoinvent long-term to fresh water]	1/3/2022
Askıda Katı Madde	mg/l	SM 2540 D Test metodu	Atık su miktarı*1000*AKM değeri/10 ⁶	kg	TSS in waste water to external WWTP [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Atık su	t	Otomasyondan alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	t	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Ağartma Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyondan alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
Su	t	Otomasyondan alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	t	Water (deionised) [Operating materials]-production mix, at plant/from surface water/reverse osmosis	1/2/2021
Buhar	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	[veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)]*10 ³ *1*(100-20)+[veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)]*10 ³ *540	cal	Process steam from natural gas [Thermal energy]-consumption mix, at plant/MJ/heat plant	1/2/2021
Kumaş	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric), Textiles (viscose fabric)	1/3/2022
Hidrojen Peroksit (%50)	ml/kg	Reçete hesaplama	[flotte hacmi*1000*reçete değeri/1000]/(kumaş alanı*gramaj)*1.197	kg	Hydrogen peroxide (50%) [Inorganic intermediate products]	1/3/2022
Sodyum Hidroksit	ml/kg	Reçete hesaplama	[flotte hacmi*1000*reçete değeri/1000]/(kumaş alanı*gramaj)*1.2889	kg	Sodium hydroxide (50%; caustic soda) [Inorganic intermediate products]	1/3/2022
Stabilizatör	g/kg	Reçete hesaplama	[flotte hacmi*1000*reçete değeri/1000]/(kumaş alanı*gramaj)	kg	Stabilizing agent [Operating materials]	1/3/2022
İyon tutucu	g/kg	Reçete hesaplama	[flotte hacmi*1000*reçete değeri/1000]/(kumaş alanı*gramaj)	kg	Sequestering agent [Operating materials]	1/3/2022
KOİ	mg/l	SM 5220 B Test Metodu	Atık su miktarı*1000*KOİ değeri/10 ⁶	kg	Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water]	1/7/2021

Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
Toplam Krom	mg/l	EPA 200.7 Test Metodu	Atık su miktarı*1000*Toplam krom değeri/10 ⁶	kg	Chromium [Heavy metals to fresh water]	1/3/2022
Toz	mg/m ³	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	Baca debisi*işlem süresi*toz ölçüm değeri*10 ⁻⁶ /kumaş ağırlığı	kg	Dust (PM2.5 - PM10) [Particles to air]	1/3/2022
Fenol	mg/l	SM 5530 B,C Test Metodu	Atık su miktarı*1000*Fenol değeri/10 ⁶	kg	Phenol [ecoinvent long-term to fresh water]	1/3/2022
Askıda Katı Madde	mg/l	SM 2540 D Test metodu	Atık su miktarı*1000*AKM değeri/10 ⁶	kg	TSS in waste water to external WWTP [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Atık su	t	Otomasyondan alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	t	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Merserizasyon Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyondan alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
Su	t	Otomasyondan alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	t	Water (deionised) [Operating materials]-production mix, at plant/from surface water/reverse osmosis	1/2/2021
Buhar	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	[veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)]*10 ³ *1*(100-20)+[veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)]*10 ³ *540	cal	Process steam from natural gas [Thermal energy]-consumption mix, at plant/MJ/heat plant	1/2/2021
Kumaş	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric), Textiles (viscose fabric)	1/3/2022
Sodyum Hidroksit (48 Bome)	kg	Tüm örneklerde max. tüketim verileri dikkate alındı	[flotte hacmi*1000*reçete değeri/1000]/(kumaş alanı*gramaj)*1.2889	kg	Sodium hydroxide (50%; caustic soda) [Inorganic intermediate products]	1/3/2022
KOİ	mg/l	SM 5220 B Test Metodu	Atık su miktarı*1000*KOİ değeri/10 ⁶	kg	Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water]	1/7/2021
Toplam Krom	mg/l	EPA 200.7 Test Metodu	Atık su miktarı*1000*Toplam krom değeri/10 ⁶	kg	Chromium [Heavy metals to fresh water]	1/3/2022
Toz	mg/m ³	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	Baca debisi*işlem süresi*toz ölçüm değeri*10 ⁻⁶ /kumaş ağırlığı	kg	Dust (PM2.5 - PM10) [Particles to air]	1/3/2022

Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
Fenol	mg/l	SM 5530 B,C Test Metodu	Atık su miktarı*1000*Fenol değeri/10 ⁶	kg	Phenol [ecoinvent long-term to fresh water]	1/3/2022
Askıda Katı Madde	mg/l	SM 2540 D Test metodu	Atık su miktarı*1000*AKM değeri/10 ⁶	kg	TSS in waste water to external WWTP [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Atık su	t	Otomasyonda alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	t	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Kurutma ve Egalizasyon Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyonda alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
Buhar	kg	Otomasyonda alınan birincil veriler	[veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)]*10 ³ *1*(100-20)+[veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)]*10 ³ *540	cal	Process steam from natural gas [Thermal energy]-consumption mix, at plant/MJ/heat plant	1/2/2021
Doğalgaz	m ³	Otomasyonda alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)*0.67	kg	Natural gas Turkey [Natural gas, at production]	1/3/2022
Kumaş	kg	Otomasyonda alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric), Textiles (viscose fabric)	1/3/2022
Karbon monoksit (CO)	ppm	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	Baca debisi*işlem süresi*karbon monoksit ölçüm değeri*1000*10 ⁻⁶ /kumaş ağırlığı	kg	Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	1/3/2022
Toz	mg/m ³	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	Baca debisi*işlem süresi*toz ölçüm değeri*10 ⁻⁶ /kumaş ağırlığı	kg	Dust (PM2.5 - PM10) [Particles to air]	1/3/2022
Azot Dioksit (NO _x)*	mg/m ³	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	Baca debisi*işlem süresi*azot dinoksit ölçüm değeri*10 ⁻⁶ /kumaş ağırlığı	kg	Nitrogen dioxide [Inorganic emissions to air]	1/3/2022
Azot Monoksit (NO)	ppm	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	Baca debisi*işlem süresi*azot monoksit ölçüm değeri*1000*10 ⁻⁶ /kumaş ağırlığı	kg	Nitrogen monoxide [Inorganic emissions to air]	1/3/2022
Rotasyon Baskı Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyonda alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
Su	t	Otomasyonda alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	t	Water (deionised) [Operating materials]-production mix, at plant/from surface water/reverse osmosis	1/2/2021

Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
Buhar	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	$[\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)] \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot (100 - 20) + [\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)] \cdot 10^3 \cdot 540$	cal	Process steam from natural gas [Thermal energy]-consumption mix, at plant/MJ/heat plant	1/2/2021
Doğalgaz	m ³	Otomasyondan alınan birincil veriler	$\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000) \cdot 0.67$	kg	Natural gas Turkey [Natural gas, at production]	1/3/2022
Kumaş	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric), Textiles (viscose fabric)	1/3/2022
Sodyum karbonat	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	$\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)$	kg	Soda (sodium carbonate) [Inorganic intermediate products]	1/3/2022
Zayıf oksidant	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	$\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)$	kg	Antireducing agent [Operating materials]	1/3/2022
Üre	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	$\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)$	kg	Carbamide (urea) [Organic intermediate products]	1/3/2022
Kıvamlaştırıcı	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	$\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)$	kg	Thickening agent [Operating materials]	1/3/2022
Reaktif boyarmadde	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	$\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)$	kg	Reactive dye [Textile]	1/3/2022
KOİ	mg/l	SM 5220 B Test Metodu	$\text{Atık su miktarı} \cdot 1000 \cdot \text{KOİ değeri}/10^6$	kg	Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water]	1/7/2021
Toplam Krom	mg/l	EPA 200.7 Test Metodu	$\text{Atık su miktarı} \cdot 1000 \cdot \text{Toplam krom değeri}/10^6$	kg	Chromium [Heavy metals to fresh water]	1/3/2022
Toz	mg/m ³	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	$\text{Baca debisi} \cdot \text{işlem süresi} \cdot \text{toz ölçüm değeri} \cdot 10^{-6} / \text{kumaş ağırlığı}$	kg	Dust (PM2.5 - PM10) [Particles to air]	1/3/2022
Fenol	mg/l	SM 5530 B,C Test Metodu	$\text{Atık su miktarı} \cdot 1000 \cdot \text{Fenol değeri}/10^6$	kg	Phenol [ecoinvent long-term to fresh water]	1/3/2022
Askıda Katı Madde	mg/l	SM 2540 D Test metodu	$\text{Atık su miktarı} \cdot 1000 \cdot \text{AKM değeri}/10^6$	kg	TSS in waste water to external WWTP [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Atık su	t	Otomasyondan alınan birincil veriler	$\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)$	t	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Buharlama ve Fiksaj Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyondan alınan birincil veriler	$\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)$	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022

Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
Buhar	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	$[\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)] \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot (100-20) + [\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)] \cdot 10^3 \cdot 540$	cal	Process steam from natural gas [Thermal energy]-consumption mix, at plant/MJ/heat plant	1/2/2021
Kumaş	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric), Textiles (viscose fabric)	1/3/2022
Toz	mg/m ³	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	Baca debisi*işlem süresi*toz ölçüm değeri*10 ⁻⁶ /kumaş ağırlığı	kg	Dust (PM2.5 - PM10) [Particles to air]	1/3/2022
Reaktif Yıkama Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyondan alınan birincil veriler	$\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)$	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
Su	t	Otomasyondan alınan birincil veriler	$\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)$	t	Water (deionised) [Operating materials]-production mix, at plant/from surface water/reverse osmosis	1/2/2021
Buhar	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler	$[\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)] \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot (100-20) + [\text{veri}/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj}/1000)] \cdot 10^3 \cdot 540$	cal	Process steam from natural gas [Thermal energy]-consumption mix, at plant/MJ/heat plant	1/2/2021
Kumaş	kg	Otomasyondan alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric), Textiles (viscose fabric)	1/3/2022
Asetik asit	g/l	Reçete hesaplama	$[\text{flotte hacmi} \cdot 1000 \cdot \text{reçete değeri}/1000]/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj})$	kg	Acetic acid [Organic intermediate products]	1/3/2022
Sabun	g/l	Reçete hesaplama	$[\text{flotte hacmi} \cdot 1000 \cdot \text{reçete değeri}/1000]/(\text{kumaş alanı} \cdot \text{gramaj})$	kg	Soaping agent [Operating materials]	1/3/2022
KOİ	mg/l	SM 5220 B Test Metodu	Atık su miktarı*1000*KOİ değeri/10 ⁶	kg	Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water]	1/7/2021
Toplam Krom	mg/l	EPA 200.7 Test Metodu	Atık su miktarı*1000*Toplam krom değeri/10 ⁶	kg	Chromium [Heavy metals to fresh water]	1/3/2022
Toz	mg/m ³	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	Baca debisi*işlem süresi*toz ölçüm değeri*10 ⁻⁶ /kumaş ağırlığı	kg	Dust (PM2.5 - PM10) [Particles to air]	1/3/2022
Fenol	mg/l	SM 5530 B,C Test Metodu	Atık su miktarı*1000*Fenol değeri/10 ⁶	kg	Phenol [ecoinvent long-term to fresh water]	1/3/2022

Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
Askıda Katı Madde	mg/l	SM 2540 D Test metodu	Atık su miktarı*1000*AK M değeri/10 ⁶	kg	TSS in waste water to external WWTP [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Atık su	t	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	t	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Kurutma ve Bitim İşlemleri Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
Su	t	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	t	Water (deionised) [Operating materials]-production mix, at plant/from surface water/reverse osmosis	1/2/2021
Buhar	kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler	[veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)]*10 ³ *1*(100-20)+[veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)]*10 ³ *540	cal	Process steam from natural gas [Thermal energy]-consumption mix, at plant/MJ/heat plant	1/2/2021
Kumaş	kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric), Textiles (viscose fabric)	1/3/2022
Fiksator	kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	kg	Quaternary ammonium compounds [Organic intermediate products]	1/3/2022
Yumuşatıcı	kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	kg	Softener [Operating materials]	1/3/2022
Optik	kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	kg	RER: optical brighteners, in paper production, at plant [organics]	1/2/2021
KOİ	mg/l	SM 5220 B Test Metodu	Atık su miktarı*1000*KOİ değeri/10 ⁶	kg	Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water]	1/7/2021
Toplam Krom	mg/l	EPA 200.7 Test Metodu	Atık su miktarı*1000*Toplam krom değeri/10 ⁶	kg	Chromium [Heavy metals to fresh water]	1/3/2022
Toz	mg/m ³	Emisyon Raporu (SKHKKY'ye göre)	Baca debisi*işlem süresi*toz ölçüm değeri*10 ⁻⁶ /kumaş ağırlığı	kg	Dust (PM2.5 - PM10) [Particles to air]	1/3/2022
Fenol	mg/l	SM 5530 B,C Test Metodu	Atık su miktarı*1000*Fenol değeri/10 ⁶	kg	Phenol [ecoinvent long-term to fresh water]	1/3/2022

Envanter	Veri birim	Veri toplama yöntemi	Veri hesaplama yöntemi	GaBi birim	GaBi akış seçimi	Akış güncelleme tarihi
Askıda Katı Madde	mg/l	SM 2540 D Test metodu	Atık su miktarı*1000*AK M değeri/10 ⁶	kg	TSS in waste water to external WWTP [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Atık su	t	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	t	Water (waste water, treated) [Production residues in life cycle]	1/2/2021
Sanforizasyon Bölümü						
Elektrik	kWh	Otomasyonda n alınan birincil veriler	veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)	kWh	Electricity [Electric power]-consumption mix, at consumer/AC	1/3/2022
Buhar	kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler	[veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)]*10 ³ *1*(100-20)+[veri/(kumaş alanı*gramaj/1000)]*10 ³ *540	cal	Process steam from natural gas [Thermal energy]-consumption mix, at plant/MJ/heat plant	1/2/2021
Kumaş	kg	Otomasyonda n alınan birincil veriler		kg	Textiles (cotton fabric), Textiles (viscose fabric)	1/3/2022

TEZDEN ÜRETİLMİŞ ESERLER

A. Uluslararası Hakemli Makaleler

B. Uluslararası Makaleler

C. Ulusal Hakemli Makaleler

D. Ulusal Makaleler

E. Uluslararası Konferans Bildirileri

H. Oktay ve H. Z. Özek, Environmental Impact Of Wool and Silk, International Congress on Wool and Luxury Fibres Iconwoolf Proceedings, 19 Nisan 2019, ISBN: 978-605-4265-61-9, Vol. 2: 978-605-4265-63-3, 219-229.

Hayal Oktay, H Ziya Özek, Certifications In Sustainable and Ecologic Textile Production, 16th International the Recent Progress Symposium on Textile Technology and Chemistry, Symposium Poster Abstracts, 4-6 Mayıs 2017, ISBN: 978-605-01-1023-4, PB 44.

F. Ulusal Konferans Bildirileri

G. Projeler

H. Ödüller