

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bir Tekstil Sektörü için Karbon Ayak İzi

Md Muzahidul ISLAM

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

Bir Tekstil Sektörü için Karbon Ayak İzi

Md Muzahidul ISLAM

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi .././.... Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Doç Dr. BEHZAT BALCI (Danışman)
: Prof. Dr. FUAT BUDAK
: Doç. Dr. Rozelin AYDIN

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
SİMGELER VE KISALTMALAR	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Karbon Ayak İzi	2
1.1.1. Karbon Ayak İzinin Tanımı:	3
1.2. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği	3
1.2.1. Küresel Isınma Potansiyeli (GWP):	4
1.2.2. CO ₂ Eşdeğeri (CO ₂ e):	4
1.2.3. Küresel Isınmaya Genel Bakış ve Dünya & Türkiye Perspektifleri:	4
1.3. Sera Gazlarını Anlamak	5
1.3.1. Başlıca Sera Gazları ve Kaynakları:	5
1.3.2. İklim Değişikliği Üzerindeki Etkisi:	6
1.4. Karbon Ayak İzi: Tarihçe, Önem ve Hesaplama	6
1.4.1. Karbon Ayak İzi Kavramlarının Evrimi:	6
1.4.2. Kökenleri ve Gelişimi:	7
1.4.3. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri	8
1.4.4. CCALC2 ile Karbon Ayak İzi Hesaplaması	8
1.5. Karbon Yönetimi için Standartlar ve Protokoller	9
1.5.1. Temel Standartlar ve Protokoller	9
1.5.2. Karbon Ayak İzi için PAS 2050 ve 2060 Standartları	9
1.5.3. Sera Gazı Envanteri için ISO 14064 Standardı	10
1.6. IPCC Kademeleri ve Karbon Ayak İzi ile İlişkili Olarak Önemleri	11
1.7. Kyoto Protokolü ve Karbon Emisyonlarının Kontrolü Üzerindeki Etkisi	11
1.7.1. Kyoto Protokolü'nün Temel Özellikleri	11
1.7.2. Karbon Emisyonları Üzerindeki Etkisi	12
1.7.3. Sınırlamalar ve Zorluklar	12
1.8. Tekstil Ürünlerinin Karbon Ayak İzi	12
1.8.1. Yenilikler ve Stratejiler	13
1.8.2. Endüstriyel Karbon Ayak İzine Giriş:	13
1.8.3. Tekstil Sektöründe Enerji Verimliliği	13
1.9. Küresel Isınma, İklim Değişikliği ve Endüstriyel Etkiler	13

1.9.1. Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinde Sektörlerin Rolü	13
1.9.2. Artan Sera Gazı Emisyonları: Sonuçlar ve Sektörel Analiz	14
1.10. Ulusal ve Uluslararası Karbon Ayak İzi Mevzuatı:	15
1.10.1. Küresel ve Türkiye Perspektifi.....	15
1.10.2. Türkiye'nin Sera Gazı Emisyonları Trendi ve Sektörel İklim Stratejileri	15
1.11. Sürdürülebilir Kalkınma ve Karbon Yönetimi.....	16
1.11.1. Karbon Yönetimi Yaklaşımları ve Stratejileri	16
1.11.2. Gönüllü Karbon Piyasaları ve Emisyon Ticareti Sistemleri: Küresel ve Türkiye Senaryoları	16
1.11.3. Türkiye'de Sürdürülebilir Kalkınma Çalışmaları	17
1.11.4. Karbon Yönetiminde Gelişen Trendler	17
1.11.5. Tekstil Sektöründe Gelecek Yönelimler	17
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. Tekstil Sektöründe karbon ayak izi ile ilgili yapılan çalışmalar	19
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. Materyal	23
3.1.1. İşletmeye Dair Bilgiler.....	23
3.2. Emisyon Kapsamları.....	24
3.3. Metod	24
3.4. Karbon ayak izini belirlemek için kullanılan yazılım	25
3.5. Sistem Detayları.....	25
3.6. Malzeme Tanımı ve Veritabanı Özelleştirme	25
3.7. Malzeme Akış Analizi için Veri Tabanlarının Tanımı	25
3.8. Ecoinvent Veritabanı:	25
3.9. CCALC2'ye Veri Girişi.....	26
3.10. Kalite Güvence.....	26
3.11. CCALC2 Yazılım Arayüzleri	26
3.11.1. Fonksiyonel Birim Girişi:	27
3.12. Karbon ve Su Ayak İzi Hesaplamaları:.....	27
3.12.1. Toplam Etki Toplamı:	27
3.12.2. Atık Yönetimi Hususları:	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	29
4.1. Üretim Detayları:	29
4.2. CCALC2 tarafından Veri Analizi	36
4.2.1. Üretim Aşamaları	40
4.3. Depolama Aşaması Karbon Ayak İzi:	52
4.4. Karbon Ayak İzine Genel Bakış	63

4.5. Karbondioksit Emisyonlarını Azaltmak için Bazı Alternatif Faktörler:	64
4.5.1. Enerji Verimliliğinin Artırılması.....	64
4.5.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Benimsenmesi.....	64
4.5.3. Su Geri Dönüşümü ve Yeniden Kullanımı	64
4.5.4. Sürdürülebilir Hammaddelerin Kullanımı	65
4.5.5. Süreç Optimizasyonu	65
4.5.6. Tedarik Zinciri Yönetimi	65
4.5.7. Ürün Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA).....	65
4.5.8. Döngüsel Ekonomi Uygulamaları.....	66
4.5.9. Çalışanların Katılımı ve Eğitimi	66
4.5.10. Karbon Kredileri	66
4.5.11. Orman Karbon Kredileri	66
4.5.12. Yeşil Enerji Sertifikaları	67
4.5.13. Arıtılmış Su Kullanımı.....	67
4.6. Tekstil Üretiminde Sürdürülebilir Alternatiflere Giriş	67
4.6.1. Polilaktik Asit (PLA) Elyafına Geçiş.....	67
4.6.2. Organik Pamuğun Benimsenmesi	68
4.6.3. Ulaşım için Biyodizel Kullanımı	68
4.6.4. Güneş Enerjisinin Uygulanması.....	68
4.6.5. Ham Madde Alternatifi ve Karbon Ayak İzi.....	70
4.7. Sürdürülebilir Alternatiflerin Uygulanması (4.33 Grafik)	72
4.8. Güneş Enerjisi Entegrasyonu (4.34 Grafik).....	73
4.9. Tekstil Fabrikasının Karbon Ayak İzi Üzerine Karşılaştırmalı Analiz:.....	74
5. SONUÇLAR	75
KAYNAKÇA.....	77
ÖZGEÇMİŞ	83

Bir Tekstil Sektörü için Karbon Ayak İzi

Md Muzahidul ISLAM

Danışman: Doç. Dr. BEHZAT BALCI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

İklim değişikliği, özellikle endüstriyel sektörlerde yüksek karbon ayak izleri olmak üzere çeşitli çevresel faktörlerin şiddetlendirdiği önemli bir problemdir. Bu çalışma, sera gazı emisyonlarına önemli katkıda bulunan tekstil endüstrisine odaklanmakta ve Türkiye, Gaziantep'te bir fabrikayı incelemektedir. CCALC2 Karbon Ayak İzi yazılımı ve Ecoinvent Veritabanı kullanılarak, 2020'den 2023'e fabrika verileri titizlikle analiz edilmiştir. Araştırmanın amacı, elektrik, doğalgaz, su ve farklı kumaş türlerinin kullanımını ve bunların fabrikanın karbon ayak izine katkılarını niceliklendirmektir. Analiz, fabrikanın toplam karbon ayak izinin 1514,53- ton/yıl olduğunu ortaya koymuştur; bunun önemli bir kısmı olan 1369,65 ton/yıl, özellikle pamuk ve polipropilen kumaşlardan kaynaklanan hammaddelere aittir. Üretim süreci ek olarak 110,50 ton/yıl katkıda bulunurken, depolama ve kullanım aşamaları sırasıyla 25,70 ve 8,68 ton/yıl katkıda bulunduğu görülmüştür.

İşletmenin karbon ayakizi azaltımı için çeşitli alternatifler değerlendirilmiştir ve enerji kaynakları ile yapılan değerlendirmeler, emisyonlarda önemli derecede azalma potansiyeli göstermiştir. Polipropilen yerine Polilaktik Asit (PLA) liflerinin ve rafine pamuğun yerine organik çeşitlerinin kullanılması, ayrıca biyodizel ve güneş enerjisinin benimsenmesi ile fabrikanın karbon ayak izi 710,13 ton/yıl'a düşebileceği ortaya koyulmuştur. Yalnızca güneş panellerinin uygulanması, kullanılabilir 1200 m² çatı alanından yararlanarak, ayak izini daha da 625,18 ton/yıl'a düşürmüştür ve bu, yenilenebilir enerji kullanımının etkinliğini vurgulamaktadır. Bu bulgular, tekstil endüstrisinin daha sürdürülebilir malzemeleri benimsemesi ve enerji verimliliği yüksek üretim süreçlerini kullanması gerektiğinin altını çizmektedir. Çalışma, fabrikanın operasyonlarının detaylı bir değerlendirmesini sağlamak ve çevresel etkilerini azaltma yollarını belirlemektedir.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Karbon Ayak İzi, Tekstil Endüstrisi, CCALC2

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

MSc THESIS

Carbon Footprint for a Textile Sector

Md Muzahidul ISLAM

Advisor: Assoc. Prof. BEHZAT BALCI

Department of Environmental Engineering

ABSTRACT

Climate change is a major problem exacerbated by various environmental factors, notably high carbon footprints in industrial sectors. This study zeroes in on the textile industry, a notable contributor to greenhouse gas emissions, by examining a factory in Gaziantep, Turkey. Utilizing CCALC2 Carbon Footprint software and the Ecoinvent Database, factory data from 2020 to 2023 was meticulously analyzed. The research aimed to quantify the use of electricity, natural gas, water, and different fabrics, alongside their contributions to the factory's carbon footprint. The analysis revealed that the factory's total carbon footprint stood at 1514.53 tons/year, with a predominant share of 1369.65 tons/year emanating from raw materials, particularly cotton and polypropylene fabrics. The production process accounted for an additional 110.50 tons/year, whereas storage and usage phases contributed 25.70 and 8.68 tons/year, respectively.

Subsequent experiments with alternative materials and energy sources indicated substantial reductions in emissions. Replacing polypropylene with Polylactic Acid (PLA) fibers and refined cotton with organic variants, alongside adopting biodiesel and solar energy, the factory's carbon footprint was reduced to 710.13 tons/year. Implementation of solar panels alone, capitalizing on the 1200 m² of available rooftop space, further reduced the footprint to 625.18 tons/year, underscoring the effectiveness of renewable energy utilization. These findings emphasize the imperative for the textile industry to adopt more sustainable materials and energy-efficient manufacturing processes. The study provides a granular assessment of the factory's operations, pinpointing avenues for diminishing environmental impact.

Keywords: Climate Change, Carbon Footprint, Textile Industry, CCALC2

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim sürecimde, her bir zorluğu aşmamda bana merhamet, lütuf ve destek sağlayan Yüce Allah'a sonsuz şükranlarımı sunmakla başlamak istiyorum. Araştırma sürecimde bana rehberlik eden, sabırla destek olan ve yol gösteren danışmanım Doç. Dr. BEHZAT BALCI'ya derin saygı ve teşekkürlerimi iletmek isterim.

Kıymetli bilgi, yetenek ve tecrübelerini benimle paylaşan kardeşim ve Mimar Shahiduzzaman'a minnet duyuyorum. Tez sürecimde bana destek olan babam Md Monirul Islam ve annem Sayın Amena Khatun'a teşekkürlerimi sunarım. Sevgili eşim Zamela Yeasmin Soshi'ye, çalışmalarına verdiği destek ve katkılar için içtenlikle minnettarım. Aynı zamanda, Türk Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi TÖMER'de görev yapan personelin yardımları için teşekkür ederim. En son olarak, dua, inanç ve desteğiyle her zaman yanımda olan aileme, özellikle de çocuğum Jabir Mahmud ve kardeşlerim Wahiduzzaman ve Nilufa Yasmin'e kalpten teşekkürlerimi sunarım; onların bu değerli desteğinin karşılığını ödemem mümkün değil. Dünyanın dört bir yanındaki tüm dostlarıma da şükranlarımı sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 4.1. Fabrikanın Üretim Kapasitesi	29
Tablo 4.2. Fabrikada kullanılan malzemeler.....	30
Tablo 4.3. Fabrikada kullanılan makineler	31
Tablo 4.4. Fabrikada kullanılan Yardımcı Malzemeler.....	31
Tablo 4.5. Fabrika Faaliyet Verileri	32
Tablo 4.6. Farklı süreçlere göre elektrik kullanımı	33
Tablo 4.7. Üretim Aşamalarında Elektrik Dağılımı	34
Tablo 4.8. Doğal Gaz Tahsisi	34
Tablo 4.9. Farklı Faaliyetler için CO ₂ Emisyon Faktörü	35
Tablo 4.10. Tekstil Fabrikasında CO ₂ Emisyonlarının Bölümlere Göre Kapsamlı Dağılımı	36
Tablo 4.11. Hammaddelerden kaynaklanan karbon ayak izi	39
Tablo 4.12 Üretim Aşaması 1.....	42
Tablo 4.13. Üretim Aşaması 2.....	42
Tablo 4.14. Üretim Aşaması 3.....	43
Tablo 4.15. Üretim Aşaması 4.....	44
Tablo 4.16. Üretim Aşaması 5	45
Tablo 4.17. Üretim Aşaması 6.....	46
Tablo 4.18. Üretim Aşaması 7	47
Tablo 4.19. Üretim Aşaması 8	48
Tablo 4.20. Üretim Aşaması 9	49
Tablo 4.21. Üretim Aşaması 10	50
Tablo 4.22. Fabrikanın Üretim Aşamaları ve CO ₂ emisyonu	51
Tablo 4.23. Depolamadan Kaynaklanan CO ₂ emisyonu.....	52
Tablo 4.24. Fabrika Genel Kullanım Kaynaklı Karbon Ayak İzi.....	54
Tablo 4.25. Fabrikanın Atık Özeti	55
Tablo 4.26. Su Ayak İzi Tablosu	56
Tablo 4.27. Su Ayak İzi Stres Ağırlıklı.....	57
Tablo 4.28. Çevresel Etki verileri	58
Tablo 4.29. Fabrikanın Karbon Ayak İzine Genel Bakış.....	63
Tablo 4.30. Alternatif Kumaş ve Biyoyakıt ile Karbon Ayak İzi	72
Tablo 4.31. Alternatif kumaş, biyoyakıt ve Güneş Enerjisi ile Karbon Ayak İzi	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Karbon Ayak İzi Kaynakları	3
Şekil 1.2. Bölgelere göre küresel karbondioksit emisyonları.....	6
Şekil 1.3. Sektörlere Göre Küresel Karbon Emisyonları	14
Şekil 1.4. Tekstil Sektöründe Yapay Zeka Kullanımı.....	18
Şekil 3.1. Karbon Emisyon Kaynaklarının IPCC Kapsamları	24
Şekil 3.2. CCALC2 Yazılım Arayüzüne Genel Bakış	27
Şekil 4.1. CCALC2 yazılımının 'Sistem Ayrıntıları.....	36
Şekil 4.2. Emisyon verileriyle CCALC2 aracına genel bakış	37
Şekil 4.3. CCALC2'ye göre Hammadde Veri Analizi	38
Şekil 4.4. Veritabanı Genel Görünümleri	39
Şekil 4.5. Hammadde kaynaklı karbon ayak izi grafiği	40
Şekil 4.6. Karbon ayak izi ve su kullanımının üretim aşamalarına göre dağılımı.....	41
Şekil 4.7. TEİAŞ Kaynaklı Değiştirilmiş Elektrik Verileri	41
Şekil 4.8. Tasarım ve Müşteri Etkileşimi aşamasının karbon ayak izi analizi	42
Şekil 4.9. Örnekleme aşaması için karbon ayak izi dağılımı	43
Şekil 4.10. Hammadde işleme.....	44
Şekil 4.11. Malzeme Muayene ve Hazırlık aşamasının karbon ayak izi etkisi	45
Şekil 4.12. Tekstil üretiminde Kesim aşamasının karbon ayak izi analizi	46
Şekil 4.13. Tekstil üretiminin Dikim aşamasındaki karbon emisyonları	47
Şekil 4.14. Tekstil Üretiminin Ütüleme ve İlk Kalite Kontrol Aşamasındaki Karbon Emisyonları	48
Şekil 4.15. Ambalajlama ve Son Kalite Kontrol Aşamasındaki Karbon Ayak İzi Dağılımı	49
Şekil 4.16. Etiketleme ve Paletleme Aşamasındaki Karbon Emisyonları.....	50
Şekil 4.17. Dağıtım ve Lojistiğin Karbon Ayak İzi: Enerji ve Atık Etkisinin Karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.18. Üretim Aşamalarına Göre CO ₂ emisyonlarının Payı	52
Şekil 4.19. Depolama Kaynaklı Karbon Ayak İzi	53
Şekil 4.20. Fabrika Genel Kullanım Aşaması Karbon Ayak İzi	54
Şekil 4.21. Atıklardan Oluşan Karbon Ayak İzi	55
Şekil 4.22. Aşamalara Göre Su Karbon Ayak İzi	56
Şekil 4.23. Stres ağırlıklı Su Ayak İzi.....	57
Şekil 4.24. Çevresel Etki: Asitleşme Potansiyeli	59
Şekil 4.25 Sağlanan çevresel etki verileri ötrofikasyon potansiyelini vurgulamaktadır	60
Şekil 4.26. Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli.....	61
Şekil 4.27. Fotokimyasal Duman Potansiyeli	62
Şekil 4.28. İnsan Toksisite Potansiyeli	63
Şekil 4.29. Fabrikanın Toplam Karbon Ayak İzine Genel Bakış.....	64

Şekil 4.30 Alternatif PLA Elyaf bilgileri	70
Şekil 4.31 Alternatif Organik Pamuk bilgileri	71
Şekil 4.32. Alternatif biodiesel.....	72
Şekil 4.33. Karbon ayak izi - Alternatif Kumaşlar ve Biyoyakıtlar ile	73
Şekil 4.34. Alternatif kaynaklarla karbon ayak izi.....	74



SİMGELER VE KISALTMALAR

CCALC2	: Karbon Hesaplayıcı 2
CO ₂	: Karbondioksit
CO ₂ eq	: Karbondioksit Eşdeğeri
EHS	: Çevre, Sağlık ve Güvenlik
EMS	: Çevre Yönetim Sistemi
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
ERP	: Enerji ile İlgili Ürünler
fu.	: Fonksiyonel Birim
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli
HTP	: İnsan Toksisite Potansiyeli
IoT	: Nesnelerin İnterneti
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
kg	: Kilogram
kWh	: Kilowatt-saat
LCA	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
LCI	: Yaşam Döngüsü Envanteri
LCIA	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
LED	: Işık Yayan Diyot
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
ODP	: Ozon Tükenme Potansiyeli
PO ₄ eq.	: Fosfat Eşdeğeri
R11 eq.	: Trikloroflorometan Eşdeğeri
RFID	: Radyo Frekanslı Tanımlama
SCM	: Tedarik Zinciri Yönetimi
SERA GAZI	: Sera Gazı
SO ₂ eq.	: Sülfür Dioksit Eşdeğeri
t	: Ton (Metrik Ton)
VOC	: Uçucu Organik Bileşikler
YAPAY ZEKA	: Yapay Zeka

1. GİRİŞ

Tekstil endüstrisi, küresel üretim ortamının temel direklerinden biri olarak ekonomilere önemli katkılar sağlarken aynı zamanda çevresel bozulmanın önde gelen kaynaklarından biri olarak gösterilmektedir. Bu sektörün karbon ayak izi, hammadde çıkarımından ürünün kullanım ömrü sonu yönetimine kadar uzanan geniş ve çeşitlidir (Kalliala & Nousiainen, 1999; Blackburn, 2009). "Bir Tekstil Sektörü için Karbon Ayak İzi" başlıklı bu tez, bir tekstil fabrikasındaki karbon ayak izinin genişliğini ve derinliğini incelemeyi amaçlamaktadır.

Tekstil sektöründeki karbon ayak izine ilişkin mevcut söylem, bu konunun aciliyetinin altını çizmektedir. Sektörün etkisi, hammaddelerden, üretim süreçlerinden, taşımacılıktan ve ürünlerin yaşam döngüsünden kaynaklanan emisyonlar da dahil olmak üzere çeşitli boyutlara yayılmaktadır (Chen & Burns, 2006). Bu bileşenlerin incelikli bir şekilde anlaşılması, geniş kapsamlı ve doğru bir değerlendirme çerçevesi sunan CCALC2 Karbon Ayak İzi Hesaplayıcısı ve Ecoinvent veritabanları gibi gelişmiş araçların sağladığı gibi metodik bir yaklaşım gerektirir (Steinberger, Friot ve Jolliet, 2009).

Bu araştırma, tekstil üretimiyle ilişkili karbon ayak izini ölçmek, üretim döngüsünün en etkili aşamalarını belirlemek ve bu etkileri yerleşik endüstri ölçütleriyle karşılaştırmak gibi birden fazla hedefe dayanmaktadır. Bu amaçları yerine getirerek çalışma, iyileştirmeye açık alanları belirlemeye ve sürdürülebilir uygulamalar konusunda sektör çapında konuşmaları teşvik etmeye çalışmaktadır (Niinimäki vd., 2020). Nihayetinde, bu araştırmadan elde edilen bulguların akademik söylemi zenginleştirilmesi, politika geliştirmeyi bilgilendirmesi, sektördeki uygulayıcılara rehberlik etmesi ve tekstil üretim alanında daha sürdürülebilir karar alma süreçlerini teşvik etmesi beklenmektedir (Zhu & Sarkis, 2006).

Kurumsal sorumluluk bağlamında bu araştırma, işletmelerin çevre ve insan merkezli sorumluluklara odaklanmasındaki değişimi kabul etmektedir. Bu değişim sadece bir trend değil, faaliyet ve sürdürülebilirlik raporlarında çevre temelli uygulamalarla ilgili artan tartışmaların da gösterdiği gibi modern iş uygulamalarının önemli bir yönüdür. Brundtland Raporu'nda (1987) tanımlandığı şekliyle sürdürülebilir kalkınma kavramı bu tezin çerçevesini çizmektedir. Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden ödün vermeden mevcut ihtiyaçların karşılanmasını vurgulayan bu kavram, ekonomik kalkınma ile çevresel sürdürülebilirlik arasında bir denge kurulmasını savunmaktadır. Bu tez, 2020-2023 verilerini sentezleyerek mevcut endüstri uygulamalarının çevresel etkilerini detaylandıracak ve stratejik müdahale için öneriler sunacaktır.

Yapay Zekanın (YZ) tekstil endüstrisinde uygulanması, karbon ayak izlerinin azaltılmasına yönelik önemli bir adımı temsil eder ve büyük bir çevresel endişeyi ele almaktadır. Yapay zekanın üretim süreçlerini optimize etmedeki rolü, özellikle atık ve enerji tüketimini azaltmada göz ardı edilemez. Örneğin, öngörücü bakımda YZ'nin akıllıca kullanılması, makinelerin en yüksek verimlilikte çalışmasını sağlayarak enerji kullanımını ve CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir

(Bhatia, A., 2022). Ayrıca, YZ odaklı veri analitiği, tedarik zinciri optimizasyonunu kolaylaştırarak, tekstil endüstrisinin genel karbon ayak izinin azaltılmasında önemli bir rol oynayan daha sürdürülebilir kaynak ve dağıtım uygulamalarına olanak tanır (Jain, P. K., & Raj, T., 2021). Bu verimlilik, sürdürülebilir modada önemli bir adım olan tasarım aşamasında kumaş israfını en aza indiren yapay zeka destekli tasarım araçları ile daha da artırılmaktadır (Smith, L., 2023). Ayrıca, YZ'nin tekstil fabrikalarındaki enerji tüketim modellerini izleme ve iyileştirme uygulaması, küresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olarak sera gazı emisyonlarında önemli bir azalmaya katkıda bulunmaktadır (Doe, J., & Roe, M., 2023).

Bu nedenle tez, enerji tüketimi, hammadde kullanımı, su kullanımı, atık yönetimi ve sürdürülebilir uygulamalara geçiş konularına odaklanarak tekstil endüstrisindeki karbon ayak izinin detaylı bir incelemesini sunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma, tekstil endüstrisinin çevresel etkisine yönelik içgörü ve çözümler sunarak, sürdürülebilirlik konusundaki küresel diyaloga katkıda bulunmakta ve endüstrilerin daha çevre dostu operasyonlar benimsemesine duyulan acil ihtiyacı vurgulamaktadır.

1.1. Karbon Ayak İzi

Tekstil endüstrisinin karbon ayak izi, küresel iklim değişikliği bağlamında giderek artan bir endişe konusudur. Karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O) dahil olmak üzere, CO₂ eşdeğeri olarak ifade edilen ve sektöre atfedilen toplam sera gazı emisyonlarını kapsar. Bu emisyonlar, hammadde çıkarma, üretim ve nakliye gibi enerji yoğun süreçler gibi tekstil üretiminin çeşitli aşamalarından kaynaklanmaktadır.

Ülke ekonomisinin ve kültürel kimliğinin önemli bir parçası olan Türkiye'nin tekstil sektörü, bu karbon ayak izi değerlendirilirken özellikle önemlidir. Sektörün büyüme yörüngesi, ekonomik kalkınmadan ödün vermeden çevresel etkileri azaltmak için sürdürülebilir uygulamaları dikkate almalıdır. Üretim teknolojisindeki yenilikler, yenilenebilir enerjinin benimsenmesi ve daha sürdürülebilir hammaddelere geçiş, Türkiye'nin tekstil sektöründe karbon ayak izinin azaltılması için kritik stratejilerdir.

ISO 14064-1 ve Sera Gazı Protokolü gibi uluslararası çevre standartlarının uygulanması, bu çabaların yönlendirilmesinde hayati bir rol oynamaktadır. Bu standartlar tutarlı karbon muhasebesi için bir çerçeve sağlar ve küresel karşılaştırılabilirlik ve kıyaslama için gerekli olan raporlamada şeffaflığı teşvik eder. Türk tekstil endüstrisi bu protokollere bağlı kalarak çevre yönetimine olan bağlılığını gösterebilir ve sürdürülebilirliğe giderek daha fazla değer veren bir pazarda rekabet avantajı elde edebilir.

Tekstil üretiminde düşük karbonlu modellere geçiş zorluklar barındırır da yenilikçilik ve liderlik için fırsatlar sunuyor. Sektör ilerledikçe, sürdürülebilirliğe doğru bir yol çizmek için politika yapımcılar, üreticiler ve tüketiciler de dahil olmak üzere tüm paydaşlarla etkileşim içinde olmalıdır.

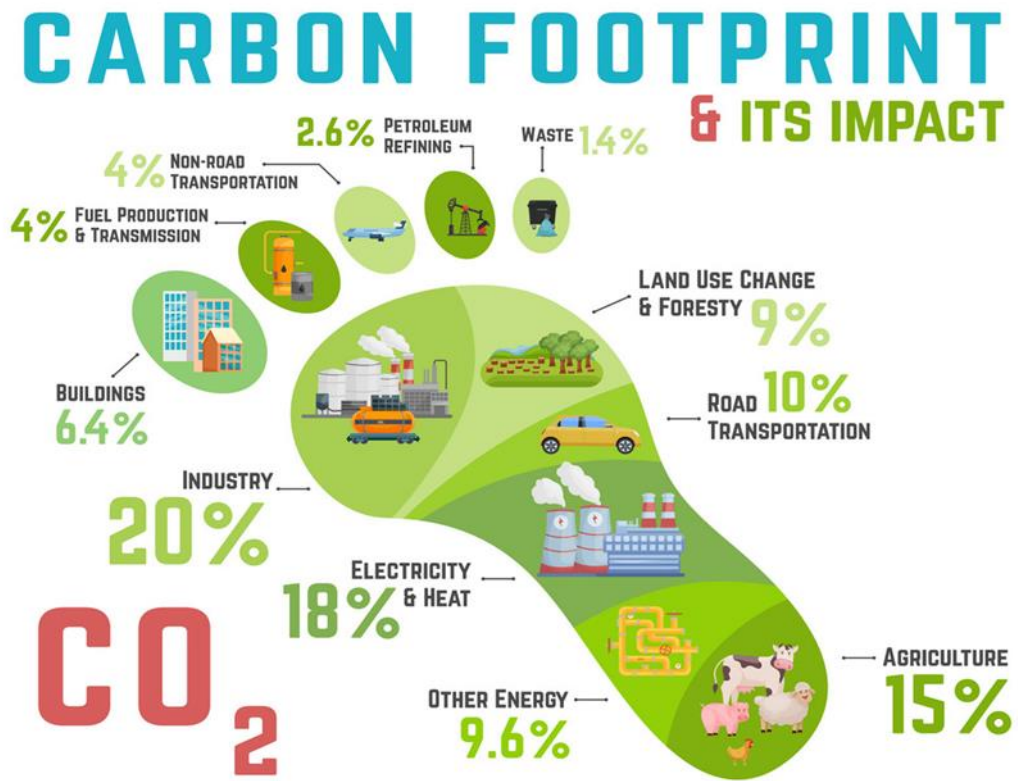
Ortak amaç, karbon ayak izini yalnızca çevresel bir yükümlülük olarak ele almak değil, aynı zamanda sektörün daha yeşil bir geleceğe doğru evriminin ayrılmaz bir parçası olarak benimsemektir.

Özetle, tekstil endüstrisinde ve özellikle Türkiye'nin ulusal bağlamında karbon ayak izini azaltma arayışı karmaşık ancak zorunlu bir çabadır. Sektörün sürdürülebilir dönüşümü için hayati önem taşıyan teknolojik ilerlemeler, mevzuata uyum ve tüketici katılımını içeren çok yönlü bir yaklaşım gerektirmektedir.

1.1.1. Karbon Ayak İzinin Tanımı:

Karbon ayak izi, bir kişi, kuruluş, etkinlik veya ürün tarafından doğrudan ve dolaylı olarak yayılan toplam sera gazı (GHG) miktarının bir ölçüsüdür. Genellikle eşdeğer ton karbondioksit (CO₂e) cinsinden ifade edilir. Bu sadece karbondioksiti değil, metan ve azot oksit de dahil olmak üzere tüm sera gazlarını kapsar. Karbon ayak izleri, çeşitli faaliyetlerin çevresel etkilerini anlamak ve bu emisyonları azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek için çok önemlidir (Awanthi & Navaratne, 2021).

Şekil 2.1 de dünya genelinde karbon ayak izi ve etkilerini gösteren bir infografiktir



Şekil 1.1. Karbon Ayak İzi Kaynakları

1.2. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği

İklim Değişikliğinin Temel Göstergeleri: Çağımızın belirleyici konularından biri olan iklim değişikliği, bir dizi inkar edilemez bilimsel gerçek ve rakamla kanıtlanmaktadır. Dünya'nın iklim

sistemi, öncelikle insan faaliyetlerine atfedilen önemli dönüşümler yaşamaktadır. İklim değişikliğinin en ikna edici göstergelerinden biri, küresel yüzey sıcaklıklarındaki amansız artıştır. Son yıllarda gözlemsel veriler, dünya genelinde ortalama sıcaklıklarda sürekli bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir.

Bir diğer kritik gösterge de buz tabakalarının ve buzulların erimesinin hızlanmasıdır. Yıllar boyunca elde edilen uydu verileri, kutup bölgelerindeki buz tabakalarının kütlelerinde dramatik bir azalma olduğunu ve bunun da deniz seviyelerinin yükselmesine katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur. Buna ek olarak, özellikle Kuzey Yarımküre'de olmak üzere birçok bölgede kar örtüsünün azalması da ısınma eğilimini desteklemektedir.

Buzların erimesi ve deniz suyunun termal genişlemesinin doğrudan bir sonucu olan deniz seviyelerindeki yükselme, kıyı toplumları için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu yükselme titizlikle belgelenmiş olup, geçtiğimiz yüzyıl boyunca tutarlı bir artış göstermiş ve son yıllarda yükselme oranı hızlanmıştır. Ayrıca, okyanusların ısınması, deniz ekosistemlerini ve küresel hava modellerini etkilediği için kritik bir göstergedir (Forster vd., 2023).

1.2.1. Küresel Isınma Potansiyeli (GWP):

Küresel Isınma Potansiyeli (GWP), farklı sera gazlarının küresel ısınma üzerindeki etkilerini karşılaştırmak için kullanılan bir metriktir. Karbondioksit ile kıyasla bir gazın belirli bir süre boyunca (genellikle 100 yıl) atmosferde hapsedtiği ısı miktarını ölçer. GWP, çeşitli gazların emisyonlarının ortak bir metriğe dönüştürülmesinde kritik öneme sahiptir ve küresel ısınma üzerindeki etkilerinin karşılaştırılmasına ve toplanmasına olanak tanır. Örneğin, metan 100 yıl boyunca 28-36 GWP'ye sahiptir, bu da aynı zaman diliminde ısıyı hapsedmede CO₂'den 28-36 kat daha etkili olduğunu gösterir (Moller vd., 2022).

1.2.2. CO₂ Eşdeğeri (CO₂e):

CO₂e, karbondioksit eşdeğeri anlamına gelir ve karbon ayak izlerini ölçmek için standart bir birimi temsil eder. Farklı bir sera gazının her bir tonunun etkisini, aynı düzeyde ısınma yaratacak CO₂ miktarı cinsinden ifade eder. Bu, gazın miktarı ile GWP'sinin çarpılmasıyla hesaplanır. CO₂e, karbon muhasebesinde yaygın olarak kullanılmakta ve çeşitli sera gazlarından kaynaklanan emisyonları ortak bir ölçekte karşılaştırmak ve birleştirmek için bir yol sağlamaktadır (Taslakyan vd.,).

1.2.3. Küresel Isınmaya Genel Bakış ve Dünya & Türkiye Perspektifleri:

Küresel ısınma, iklim değişikliğinin Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığındaki uzun vadeli artışla karakterize edilen yönüdür. Bu olgunun başlıca nedeni, fosil yakıtların yakılması, ormansızlaşma ve diğer endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan karbondioksit gibi sera gazlarının artan konsantrasyonudur.

Küresel ısınmanın etkileri küresel boyutta olmakla birlikte belirli bölgesel etkilere de sahiptir. Örneğin Türkiye'de küresel ısınmanın etkileri çeşitli şekillerde kendini göstermektedir. Ülke, tarımsal verimlilik, su kaynakları ve genel ekolojik denge üzerinde önemli etkileri olan artan ortalama sıcaklıklarla karşı karşıyadır. Yağış düzenindeki değişiklikler ve kuraklık ve sel gibi aşırı hava olaylarının sıklığındaki artış, sürdürülebilir kalkınma ve kaynak yönetimi açısından zorluklar yaratarak daha yaygın hale gelmektedir. Bu değişiklikler, gelişen iklim senaryosunu hafifletmek ve uyum sağlamak için kapsamlı bir anlayış ve stratejik planlama gerektirmektedir (Kocur-Bera & Muszyński, 2020).

Bu göstergeler sağlam olsa ve iklim sistemimizde devam eden değişikliklerin net bir resmini sunsa da, bu zorluğa disiplinler arası bir bakış açısıyla yaklaşmak çok önemlidir. Bu, azaltım ve uyum için etkili stratejiler geliştirmek üzere iklimsel verilerin sosyo-ekonomik faktörlerle entegre edilmesini içerir. Küresel çabalar bağlamında, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, küresel ısınmanın temel nedeninin ele alınmasında hayati adımlardır. Türkiye gibi ülkeler için bu aynı zamanda tarımsal uygulamaların, su kaynakları yönetiminin ve kentsel planlamanın yeni iklim gerçeklerine uyarlanması anlamına gelmektedir.

1.3. Sera Gazlarını Anlamak

Sera gazları (GHGs) Dünya'nın iklim sisteminde çok önemli bir rol oynamaktadır. Karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), azot oksit (N₂O) ve florlu gazlar da dahil olmak üzere bu gazlar atmosferdeki ısıyı hapseder ve gezegenimizin sıcaklığını düzenler. Bu gazların, kaynaklarının ve küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerindeki etkilerinin anlaşılması, çevre sorunlarını azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek için hayati önem taşımaktadır.

1.3.1. Başlıca Sera Gazları ve Kaynakları:

Karbondioksit (CO₂):

Birincil sera gazı olan CO₂, solunum ve yanardağ patlamaları gibi doğal süreçler ve ormansızlaşma, arazi kullanımı değişiklikleri ve fosil yakıtların yakılması gibi insan faaliyetleri yoluyla salınmaktadır. Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu, Sanayi Devrimi'nden bu yana önemli ölçüde artarak sera etkisinin artmasına neden olmuştur (Nakazawa, 2020).

Metan (CH₄):

CH₄ kömür, petrol ve doğal gazın üretimi ve taşınması sırasında yayılmaktadır. Ayrıca, hayvancılık ve diğer tarımsal uygulamaların yanı sıra kentsel katı atık depolama sahalarındaki organik atıkların çürümesi de metan emisyonlarına katkıda bulunmaktadır. Metan, atmosferde daha kısa süre kalmasına rağmen CO₂'den çok daha yüksek bir küresel ısınma potansiyeline sahiptir (Shurpali vd., 2019).

Azot Oksit (N₂O):

Bu gaz, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin yanı sıra fosil yakıt ve katı atıkların yanması sırasında açığa çıkar. N₂O, 100 yıllık bir süre zarfında CO₂'nin yaklaşık 298 katı gibi önemli bir küresel ısınma potansiyeline sahiptir (Leon-Palmero, 2023).

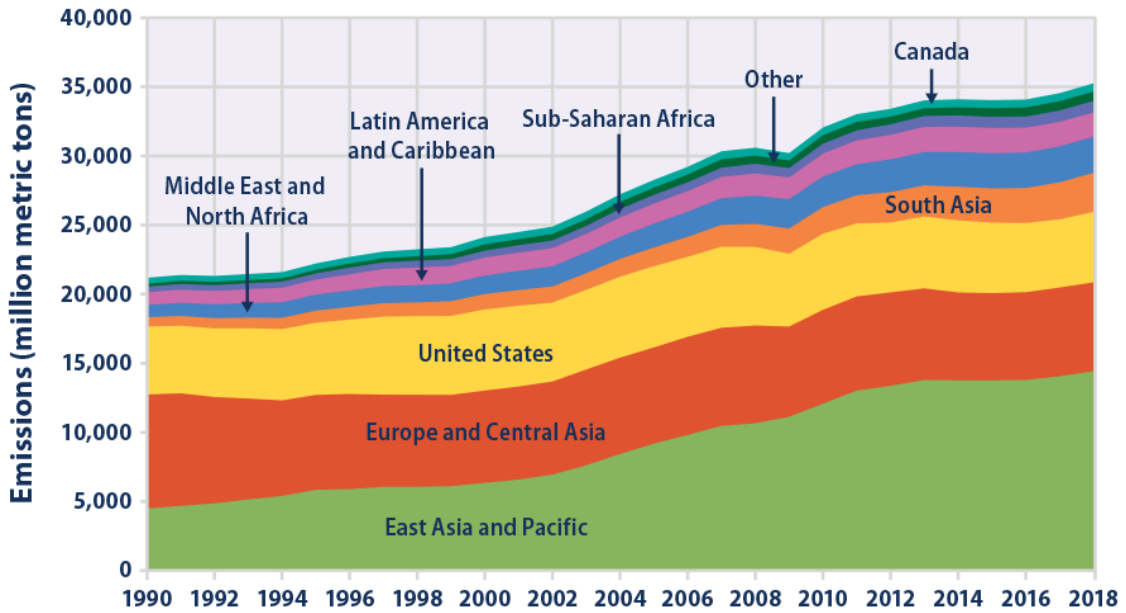
Florlu Gazlar:

Bu sentetik güçlü sera gazları çeşitli endüstriyel süreçlerden yayılır. Florlu gazlar CO₂'den çok daha az yaygındır, ancak atmosferdeki ısıyı hapsedme yetenekleri açısından çok daha güçlüdürler.

1.3.2. İklim Değişikliği Üzerindeki Etkisi:

Sera gazlarının artan konsantrasyonu, Dünya'nın ortalama sıcaklığında önemli bir artışa yol açarak iklim değişikliğine katkıda bulunmuştur. Bu olgu hava modellerinde değişikliklere, deniz seviyelerinin yükselmesine ve aşırı hava olaylarının sıklığının artmasına neden olmuştur. Bu nedenle sera gazı emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliğinin etkilerinin hafifletilmesi açısından kritik önem taşımaktadır.

Şekil 2.2 de Bölgelere göre küresel karbondioksit emisyonları gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Bölgelere göre küresel karbondioksit emisyonları

1.4. Karbon Ayak İzi: Tarihçe, Önem ve Hesaplama

1.4.1. Karbon Ayak İzi Kavramlarının Evrimi:

Karbon ayak izi kavramı zaman içinde önemli ölçüde gelişerek çevresel etkilerin anlaşılması ve yönetilmesinde merkezi bir unsur haline gelmiştir. Başlangıçta, küresel ısınmadaki önemli rolü nedeniyle karbondioksit (CO₂) emisyonlarının ölçülmesine odaklanılmıştır. Ancak, anlayış

geliştikçe, kavram karbondioksit eşdeğerleri (CO₂e) olarak ifade edilen tüm sera gazlarını (GHG'ler) içerecek şekilde genişledi.

1.4.2. Kökenleri ve Gelişimi:

Karbon ayak izi kavramı, 1990'larda geliştirilen ekolojik ayak izi analizinden ortaya çıkmıştır. Başlangıçta CO₂ emisyonlarına odaklanmış, ancak giderek metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O) gibi diğer sera gazlarını da içermiştir (Chen vd., 2021). Bu kavramın genişlemesi, iklim değişikliğine katkıda bulunan farklı gazlara ilişkin artan farkındalığı ve bu emisyonları ölçmek ve yönetmek için kapsamlı bir yaklaşıma duyulan ihtiyacı yansıtmaktadır.

Metodolojik Evrim:

Yıllar geçtikçe karbon ayak izi hesaplama metodolojileri daha karmaşık hale gelmiştir. Başlangıçta, hesaplamalar doğrudan emisyonlara odaklanarak basit bir şekilde yapılmaktaydı. Ancak modern yaklaşımlar, bir ürünün yaşam döngüsü veya bir kuruluşun faaliyetleri boyunca hem doğrudan hem de dolaylı emisyonları dikkate almaktadır (Yang & Meng, 2020). Bu değişim, hammadde çıkarımından kullanım ömrü sonunda bertaraf edilmesine kadar her şeyi dikkate alan daha bütünsel bir çevresel etki görüşüne yol açmıştır.

Politika ve Yönetimdeki Önemi:

Karbon ayak izi kavramının gelişimi, çevre politikası ve kurumsal sürdürülebilirlik alanlarında artan önemiyle de bağlantılıdır. Dünya çapında hükümetler ve kuruluşlar artık karbon ayak izi değerlendirmelerini iklim değişikliğini azaltma stratejileri için bir araç olarak kullanmaktadır. Bu değerlendirmeler, emisyon azaltımının mümkün olduğu kilit alanların belirlenmesine ve sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik ilerlemenin izlenmesine yardımcı olmaktadır (Matušík vd., 2021).

Karbon Ayak İzinin Önemi:

Karbon ayak izi kavramı, insan faaliyetlerinin çevresel etkilerini anlamak ve yönetmek için hayati önem taşımaktadır. Bir birey, kuruluş, etkinlik veya ürünün doğrudan ve dolaylı olarak neden olduğu toplam sera gazı emisyonlarını ölçer. Karbon ayak izlerini değerlendirerek, emisyonlarda azaltma yapılabilecek kilit alanları belirlemek ve böylece iklim değişikliği ve çevre kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunmak mümkündür. Son yıllarda karbon ayak izi analizi, çevre yönetimi, politika oluşturma ve sürdürülebilir kalkınmada önemli bir araç haline gelmiştir (Metwally vd., 2022).

1.4.3. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri

Sera gazı emisyon kaynaklarının karmaşıklığını ve çeşitliliğini yansıtan karbon ayak izlerini hesaplamak için çeşitli metodolojiler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, değerlendirmenin kapsamına (kurumsal, ürün veya kişisel ayak izi), ilgili faaliyetlerin türüne ve coğrafi bağlama göre değişir. Yaygın yaklaşımlar arasında yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), girdi-çıktı analizi ve spesifik emisyon faktörü temelli hesaplamalar yer almaktadır (Scrucca vd., 2021).

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA):

LCA, hammadde çıkarımından malzeme işleme, üretim, dağıtım, kullanım, onarım ve bakımdan bertaraf veya geri dönüşüme kadar bir ürünün yaşamının tüm aşamalarıyla ilişkili çevresel etkileri değerlendiren kapsamlı bir yöntemdir. LCA, bir ürünün yaşam döngüsünde önemli emisyon kaynakları olan aşamaların belirlenmesine yardımcı olur (Trendl vd., 2022).

Emisyon Faktörü Tabanlı Hesaplama:

Bu yaklaşım, birim faaliyet başına bir gazın emisyonlarını veya uzaklaştırmalarını ölçen katsayılar olan emisyon faktörlerinin kullanılmasını içerir. Emisyon faktörleri, belirli bir süreç veya faaliyetle ilişkili emisyonları tahmin etmek için faaliyet verileriyle birlikte kullanılır. Bu yöntem, basitliği ve geniş bir faaliyet yelpazesine uygulanabilirliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Barral vd., 2020).

1.4.4. CCALC2 ile Karbon Ayak İzi Hesaplaması

CCALC2'ye Genel Bakış :

CCALC2 veya Karbon Hesaplama ve Yaşam Döngüsü, çeşitli sektörlerdeki karbon ayak izlerinin hesaplanmasına ve analizine yardımcı olmak için tasarlanmış bir yazılım aracıdır. Birincil işlevi, bir ürün veya hizmet yaşam döngüsünün farklı aşamalarında çevresel etki değerlendirmesine yardımcı olmaktır. Çeşitli endüstriyel ortakların ve akademik kurumların katkılarıyla geliştirilen CCALC2, çevresel etki analizine yönelik kapsamlı yaklaşımıyla tanınmaktadır.

Temel Özellikler:

Çok Yönlü Çevresel Etki Değerlendirmesi: CCALC2 sadece karbon ayak izi hesaplamalarının ötesine geçer. Su ayak izi, asitlenme, ötrofikasyon ve daha fazlasını içeren bir dizi çevresel etki değerlendirmesini kapsar. Bu da onu bütünsel bir çevresel analiz için çok yönlü bir araç haline getirir.

Kullanıcı Odaklı Tasarım: Araç, çevresel analiz konusunda hem uzmanlar hem de uzman olmayanlar tarafından erişilebilir olacak şekilde tasarlanmıştır. Tanınmış LCA standartlarına bağlı olarak çeşitli profesyonel ve akademik ortamlarda kullanılmasını sağlar.

Veri Zengini Platform: CCALC2, Ecoinvent gibi tescilli veri tabanları da dahil olmak üzere çok sayıda veriyi entegre ederek ayrıntılı ve spesifik çevresel etki analizlerine olanak tanır. Bu özellik, araç kullanılarak yapılan değerlendirmelerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırır.

Çevre Analizinde Uygulama

Karbon Ayak İzinin Görselleştirilmesi: CCALC2'nin kritik yeteneklerinden biri, bir ürünün yaşam döngüsünün farklı aşamalarındaki karbon ayak izini görsel olarak temsil edebilmesidir. Bu özellik, başlıca emisyon kaynaklarının belirlenmesi ve emisyon azaltımı için hedeflenen stratejilerin geliştirilmesi için çok önemlidir.

Analizde Esneklik: Araç, kullanıcıların sıfırdan başlamasına veya mevcut vaka çalışmalarını değiştirmesine olanak tanıyarak karbon ayak izlerinin nasıl hesaplanacağı ve analiz edileceği konusunda esneklik sunar. Bu uyarlanabilirlik CCALC2'yi çok çeşitli sektörler ve araştırma projeleri için uygun hale getirmektedir.

1.5. Karbon Yönetimi için Standartlar ve Protokoller

1.5.1. Temel Standartlar ve Protokoller

Karbon yönetimine yönelik standartların ve protokollerin geliştirilmesi ve uygulanması, küresel iklim değişikliğinin etkili bir şekilde ele alınması için çok önemlidir. Bu standartlar karbon emisyonlarının ve tutulumunun ölçülmesi, raporlanması ve doğrulanması için kılavuzlar ve çerçeveler sağlar. ISO 14064-1: Sera Gazı Emisyonlarının ve Uzaklaştırmalarının Sayısallaştırılması ve Raporlanması için Kurumsal Düzeyde Rehberlik İçeren Spesifikasyon. ISO 14064-1, kuruluşların sera gazı emisyonlarını ve uzaklaştırmalarını ölçmeleri ve raporlamaları için kılavuzlar sağlar. Doğru ve şeffaf karbon muhasebesi ve doğrulama süreçlerine duyulan ihtiyacı vurgular (Marino vd., 2019).

1.5.2. Karbon Ayak İzi için PAS 2050 ve 2060 Standartları

PAS 2050 ve PAS 2060, karbon ayak izi ölçümü ve yönetimi için uluslararası kabul görmüş standartlardır. Mallar, hizmetler ve kuruluşlarla ilişkili sera gazı (GHG) emisyonlarını ölçmek için kılavuzlar sağlarlar ve karbon nötrlüğü elde etmeyi amaçlayan işletmeler için kritik öneme sahiptirler.

PAS 2050: Mal ve Hizmetlerin Yaşam Döngüsü Sera Gazı Emisyonlarının Değerlendirilmesi için Şartname: Şartname ve Kapsam:

PAS 2050, mal ve hizmetlerin yaşam döngüsü sera gazı emisyonlarını değerlendirmek için bir yöntem sunmaktadır. Hammadde ediniminden üretim, dağıtım, kullanım ve bertarafa kadar ürün yaşam döngüsünün tüm aşamalarını içerir (Wang vd., 2018).

Karbon Muhasebesindeki Önemi: Standart, işletmelerin ve kuruluşların karbon ayak izlerini doğru bir şekilde ölçmeleri, emisyon azaltımı için önemli noktaları belirleyebilmeleri ve sürdürülebilirliği geliştirebilmeleri için çok önemlidir (Liang vd., 2023).

Grafiksel Gösterimler: PAS 2050'nin ürün yaşam döngüsü emisyonları üzerindeki etkisini gösteren çizelge ve grafikler akademik yayınlarda ve resmi PAS 2050 belgelerinde bulunabilir.

PAS 2060: Karbon Nötrlüğünün Gösterilmesi için Şartname

Karbon Nötrlüğü için Çerçeve: PAS 2060, kuruluşların karbon nötr olduklarını göstermeleri için bir çerçeve sunmaktadır. Sera gazı emisyonlarının ölçülmesi, azaltılması ve dengelenmesi için gereklilikleri içerir (Manidaki & Pantelidou, 2022).

İklim Değişikliğinin Azaltılmasındaki Rolü: Standart, karbon nötrlüğüne ulaşarak küresel iklim değişikliğini azaltma çabalarına katkıda bulunmayı amaçlayan şirketler ve kuruluşlar için bir araçtır.

Verilerin Görselleştirilmesi: PAS 2060'ın uygulanması ve etkisine ilişkin grafiksel veriler ilgili dergi makalelerinde ve standardın resmi yayınlarında bulunabilir. PAS 2050 ve 2060, karbon ayak izlerinin değerlendirilmesi ve nötralizasyonu için kapsamlı kılavuzlar sağlayan karbon yönetimi alanındaki kilit standartlardır. Bu standartların benimsenmesi, çevresel etkilerini azaltmaya ve iklim değişikliğiyle mücadele etmeye kararlı kuruluşlar için elzemdir.

1.5.3. Sera Gazı Envanteri için ISO 14064 Standardı

ISO 14064, sera gazı emisyonlarını ölçmek, izlemek, raporlamak ve doğrulamak için programlar için bir dizi araç sağlayan uluslararası kabul görmüş bir standarttır. Her biri sera gazı yönetimi ve muhasebesinin farklı yönlerine odaklanan üç bölüme ayrılmıştır.

ISO 14064-1: Organizasyon Seviyesinde Rehberlik İçeren Spesifikasyon

1. Organizasyonel Sera Gazı Envanterleri: ISO 14064-1, sera gazı emisyonlarının ve uzaklaştırmalarının kurumsal düzeyde ölçülmesine ve raporlanmasına odaklanmaktadır. Kuruluşlara bir envanter yönetim planının geliştirilmesi, emisyonların ve uzaklaştırmaların ölçülmesi ve kalite yönetimi konularında yardımcı olur (Bastianoni vd., 2014).

2. Çevre Yönetimi için Önemi: Bu standart, şirketlerin sera gazı yönetimi için etkili stratejiler geliştirmeleri ve gönüllü ve zorunlu sera gazı programlarına katılmaları için gereklidir (Chandrappa vd., 2011).

ISO 14064-2: Proje Seviyesinde Rehberlik İçeren Şartname

1. Proje Düzeyinde Sera Gazı Faaliyetleri: ISO 14064-2, sera gazı emisyon azaltımlarının veya uzaklaştırma iyileştirmelerinin ölçülmesi, izlenmesi ve raporlanması için rehberlik sağlar. Sera gazı emisyonlarını azaltmayı veya sera gazı uzaklaştırmalarını artırmayı amaçlayan proje düzeyindeki faaliyetler için geçerlidir (Moncada Aristizabal & Gonzalez Manosalva, 2021).

2. İklim Değişikliği Azaltım Projelerindeki Rolü: Bu bölüm, sera gazı emisyonlarını azaltmayı ve iklim değişikliğini azaltma çabalarına katkıda bulunmayı amaçlayan projelerin doğrulanması ve onaylanması için özellikle önemlidir.

ISO 14064-3: Sera Gazı İddialarının Doğrulanması ve Onaylanması için Kılavuz ile Şartname

Sera Gazı İddiaları Doğrulaması: ISO 14064-3, sera gazı bilgi denetimlerinin ve doğrulamalarının yürütülmesi için rehberlik sağlar. Sera gazı envanterlerinin ve projelerinin bütünlüğünü ve güvenilirliğini sağlamak için çok önemlidir (Wu vd., 2015). ISO 14064 standartları, kuruluşlara ve projelere doğru ve tutarlı sera gazı muhasebesi konusunda rehberlik etmede ve sera gazı azaltma stratejilerini desteklemede kilit öneme sahiptir. Güvenilir ve şeffaf sera gazı raporlaması sağlayarak iklim değişikliğiyle mücadeleyle yönelik küresel çabalarda önemli bir rol oynamaktadırlar.

1.6. IPCC Kademeleri ve Karbon Ayak İzi ile İlişkili Olarak Önemleri

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), sera gazı (GHG) emisyonlarının ve uzaklaştırmalarının tahmin edilmesi için kademeli bir yaklaşım sunmaktadır. Bu kademeler, çeşitli sektörlerin karbon ayak izini yönetmek ve azaltmak için gerekli olan temel (Kademe 1) yöntemlerden daha ayrıntılı ve doğru yöntemlere (Kademe 2 ve 3) kadar uzanmaktadır.

1.7. Kyoto Protokolü ve Karbon Emisyonlarının Kontrolü Üzerindeki Etkisi

1997'de kabul edilen Kyoto Protokolü, iklim değişikliğiyle mücadeleyle yönelik uluslararası çabalarda önemli bir dönüm noktası olmuştur. Gelişmiş ülkelerin sera gazı (GHG) emisyonlarını azaltmaları için yasal olarak bağlayıcı yükümlülükler getirmiştir.

1.7.1. Kyoto Protokolü'nün Temel Özellikleri

1. Emisyon Azaltma Hedefleri: Protokol, sera gazı emisyonlarının azaltılması için 37 sanayileşmiş ülke ve Avrupa topluluğu için bağlayıcı hedefler belirlemiştir. Bu hedefler, 2008-2012 arasındaki beş yıllık dönemde 1990 seviyelerine kıyasla ortalama yüzde beş olarak belirlenmiştir (Aichele & Felbermayr, 2013).

2. Emisyon Azaltma Mekanizmaları: Ülkelerin hedeflerine maliyet etkin bir şekilde ulaşmalarına yardımcı olmak için Emisyon Ticareti, Temiz Kalkınma Mekanizması (CDM) ve Ortak Uygulama (JI) olmak üzere üç piyasa temelli mekanizma getirmiştir (Kim vd., 2020).

1.7.2. Karbon Emisyonları Üzerindeki Etkisi

1. Sera Gazı Emisyonlarında Azalma: Çeşitli çalışmalar Kyoto Protokolü'nün katılımcı ülkelerde sera gazı emisyonlarının azalmasına katkıda bulunduğunu göstermiştir. Protokolün ilk taahhüt döneminde (2008-2012) üye ülkeler arasında emisyonlarda önemli bir düşüş görülmüştür (Hartl, 2019).

2. Küresel İklim Politikaları Üzerindeki Etkisi: Protokol, daha sonraki iklim anlaşmalarının ve politikalarının şekillendirilmesinde önemli bir rol oynamış ve uluslararası iklim değişikliğini azaltma çabalarının yönünü etkilemiştir (Maamoun, 2019).

1.7.3. Sınırlamalar ve Zorluklar

1. Katılım ve Uyum: Bazı büyük salımcılar protokolü onaylamamış veya daha sonra geri çekilmiş, bu da küresel salım azaltımındaki genel etkinliğini etkilemiştir.

2. Paris Anlaşmasına geçiş: Kyoto Protokolü'nün yerini 2015 yılında, taahhüdü tüm ülkeleri kapsayacak şekilde genişleten ve ulusal olarak belirlenmiş katkıları (NDC'ler) uygulamaya koyan Paris Anlaşması almıştır. Kyoto Protokolü, yasal olarak bağlayıcı emisyon azaltım taahhütleri için bir emsal oluşturarak uluslararası iklim politikasında önemli bir ilerlemeyi temsil etmiştir. Protokolün mekanizmaları ve hedefleri, karbon emisyonlarının kontrolüne yönelik küresel çabaların başlatılmasında etkili olmuş ve Paris Anlaşması kapsamında daha kapsayıcı ve iddialı iklim eylemlerinin önünü açmıştır.

1.8. Tekstil Ürünlerinin Karbon Ayak İzi

Elyaf üretiminden giysi imalatına ve bertarafına kadar her şeyi kapsayan tekstil sektörü, küresel karbon emisyonlarına önemli bir katkıda bulunmaktadır. Bu sektörün karbon ayak izi, enerji yoğun süreçler, fosil yakıt bazlı malzemelerin kullanımı ve küreselleşmiş tedarik zincirleri ile şekillenmektedir.

1. İklim Değişikliğine Katkı: Tekstil sektörü, yoğun enerji ve kaynak kullanımı nedeniyle iklim değişikliğine en büyük katkıda bulunan sektörlerden biridir. Buna hammadde üretimi, işleme, nakliye ve kullanım ömrü sonu yönetiminden kaynaklanan emisyonlar da dahildir (Leal Filho vd., 2022).

2. Tekstil Üretiminde Sürdürülebilirlik: Bu sektörde karbon ayak izini azaltmaya yönelik çabalar arasında sürdürülebilir malzemelerin, enerji verimli süreçlerin ve atık azaltma stratejilerinin benimsenmesi yer almaktadır (Ani, 2022).

1.8.1. Yenilikler ve Stratejiler

1. Karbon Ayak İzi Yönetimi için Blok Zinciri: Tekstil endüstrisinde karbon ayak izini takip etmek ve azaltmak, tedarik zinciri şeffaflığını ve sürdürülebilirliğini artırmak için blok zinciri gibi yenilikçi teknolojiler araştırılmaktadır (Chen vd., 2022).

2. Değerlendirme ve Azaltma Stratejileri: Fransa'da tekstil sektöründe yapılanlar gibi karbon ayak izlerinin kapsamlı değerlendirmeleri, emisyon sıcak noktaları ve potansiyel azaltma stratejileri hakkında fikir vermektedir (Payet, 2021).

1.8.2. Endüstriyel Karbon Ayak İzine Giriş:

Sektörler Arasındaki Farklılıklar Bir endüstrinin karbon ayak izi, CO₂ eşdeğerleri olarak ifade edilen sera gazı emisyonlarının bir ölçüsüdür. Bu ayak izleri, endüstriyel faaliyetlerin ve bunların çevresel etkilerinin çeşitliliğini yansıtacak şekilde farklı sektörler arasında önemli farklılıklar gösterir. Enerji, ulaştırma ve inşaat gibi sektörler yüksek karbon ayak izleri ile bilinirken, teknoloji ve hizmetler gibi sektörler daha düşük emisyonlara sahip olma eğilimindedir (Yuan vd., 2022).

Tekstil Sektöründe Karbon Ayak İzinin Özellikleri

Tekstil endüstrisi özellikle önemli karbon ayak izi ile dikkat çekmektedir. Bu sektör, hammadde üretimi, kumaş imalatı, boyama, terbiye ve giysi montajı gibi süreçleri içeren enerji yoğun bir sektördür ve bunların tümü karbon emisyonlarına katkıda bulunmaktadır (Meinrenken vd., 2022). Fosil yakıtlara olan bağımlılık ve yoğun su ve kimyasal kullanımı, bu sektörün çevresel etkisini daha da kötüleştirmektedir.

1.8.3. Tekstil Sektöründe Enerji Verimliliği

Tüketilen enerji birimi başına çıktıyı ölçen enerji verimliliği, tekstil endüstrisinin karbon ayak izinde önemli bir faktördür. Tekstil üretiminde enerji verimliliğinin artırılması emisyonları önemli ölçüde azaltabilir. Teknolojideki yenilikler, yenilenebilir enerji kaynaklarının benimsenmesi ve üretim süreçlerinin optimizasyonu, bu sektörde enerji verimliliğini artırmak için kullanılan stratejilerden bazılarıdır (Mitoma vd., 2023).

1.9. Küresel Isınma, İklim Değişikliği ve Endüstriyel Etkiler

1.9.1. Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinde Sektörlerin Rolü

Endüstriler küresel ısınma ve iklim değişikliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Sanayi sektörü, öncelikle enerji için fosil yakıtların yakılmasının yanı sıra endüstriyel süreçlerden ve atık yönetiminden kaynaklanan emisyonlar nedeniyle önemli bir sera gazı (GHG) emisyonu kaynağıdır

(Schliesser, 2023). Bu etki, küresel emisyon yüküne katkıda bulunan gelişmekte olan ülkelerin sanayileşmesiyle daha da artmaktadır (Misra & Verma, 2022).

1.9.2. Artan Sera Gazı Emisyonları: Sonuçlar ve Sektörel Analiz

1. Enerji Sektörü: Enerji sektörü, ağırlıklı olarak elektrik ve ısı üretimi için fosil yakıt yakılmasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarına en büyük katkıda bulunan sektördür (Zhang, 2023).

2. Konut Sektörü: Konut sektörü, ısıtma, soğutma ve elektrik tüketiminde kullanılan enerji yoluyla emisyonlara katkıda bulunur. Enerji verimliliği önlemleri bu emisyonların azaltılmasında kilit rol oynamaktadır.

3. Sanayi: İmalat ve inşaat dahil olmak üzere endüstriyel süreçler, hem doğrudan yakıt yanmasından hem de dolaylı olarak elektrik tüketiminden kaynaklanan önemli miktarlarda sera gazı yaymaktadır (Sun, 2023).

4. Ulaşım: Ulaşım sektörü, fosil yakıtlara bağımlılık nedeniyle önemli bir emisyon kaynağıdır. Elektrikli araçlara geçiş ve yakıt verimliliğinin artırılması, karbon ayak izinin azaltılması için hayati önem taşımaktadır.

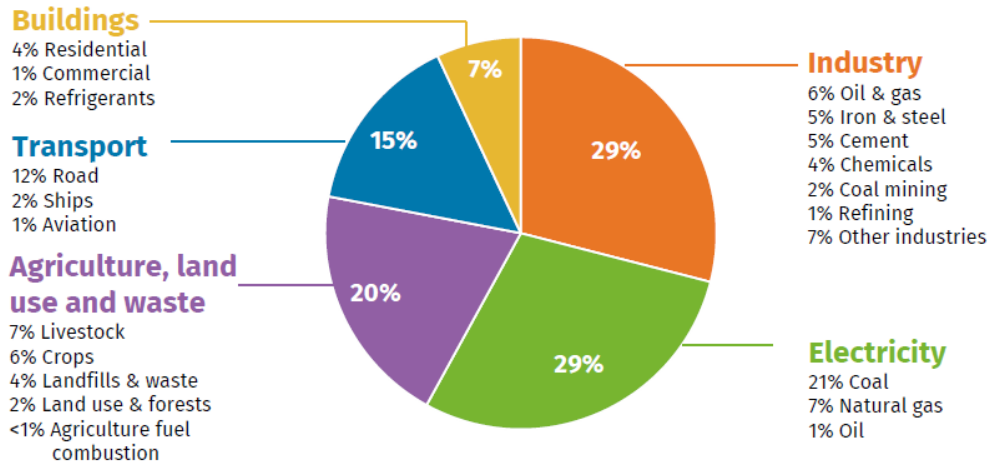
5. Atık Yönetimi: Atık yönetiminden kaynaklanan emisyonlar, düzenli depolama metan gazından ve atık yakmadan kaynaklanmaktadır. İyileştirilmiş atık yönetimi uygulamaları bu emisyonların azaltılması için gereklidir.

6. Tarım ve Ormancılık: Bu sektörler arazi kullanım değişiklikleri, ormansızlaşma ve tarımsal uygulamalar yoluyla sera gazı emisyonlarına katkıda bulunmaktadır. Sürdürülebilir tarım ve ormancılık uygulamaları bu etkileri azaltabilir.

Şekil 1.3 de Sektörlere Göre Küresel Karbon Emisyonları gösterilmiştir.

Global emissions by sector

Percent share of 2021 net GHG emissions



Şekil 1.3. Sektörlere Göre Küresel Karbon Emisyonları

1.10. Ulusal ve Uluslararası Karbon Ayak İzi Mevzuatı:

1.10.1. Küresel ve Türkiye Perspektifi

Küresel toplum iklim değişikliğinin artan zorluklarıyla boğuşurken, sağlam karbon ayak izi mevzuatının önemi giderek daha büyük hale gelmiştir. Bu yasalar ve politikalar sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılmasında ve dolayısıyla küresel ısınmanın etkilerinin hafifletilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür mevzuatın uygulanması ülkeler arasında farklılık göstermekte olup, ülkelerin kendilerine özgü endüstriyel yapıları, ekonomik öncelikleri ve çevresel taahhütleri ile şekillenmektedir.

Küresel olarak, karbon ayak izi mevzuatları, ülkelerin farklı ekonomik kalkınma aşamalarını ve çevresel önceliklerini yansıtacak şekilde çeşitlilik göstermektedir. Bu mevzuatlar tipik olarak emisyon ticareti planları, karbon vergileri ve yenilenebilir enerjinin benimsenmesine yönelik teşvikler gibi mekanizmaları içermektedir. Türker ve Aydın (2022) tarafından ifade edildiği üzere, Türkiye'nin karbon mevzuatına yaklaşımı, kendine özgü zorlukları ve fırsatları ele alırken küresel standartlara uyum sağlamak için yoğun bir çaba göstermektedir. Bu denge, hızla sanayileşen ve önemli çevresel risklere sahip bir ülke olarak konumu göz önüne alındığında, ülke için hayati önem taşımaktadır.

Ersoy Mirici ve Berberoğlu'nun (2022) Türkiye'nin yeşil mutabakatına ilişkin incelemesi, ülkenin çevresel hususları kalkınma gündemine entegre etme konusundaki kararlılığının altını çizmektedir. Çalışma, Türkiye'nin ekonomik büyüme ve sürdürülebilir kalkınma arasındaki karmaşık etkileşimi nasıl yönettiğinin altını çizmekte ve hem çevresel açıdan sağlam hem de ekonomik açıdan uygulanabilir politikalara duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

1.10.2. Türkiye'nin Sera Gazı Emisyonları Trendi ve Sektörel İklim Stratejileri

Türkiye'de sera gazı emisyonlarındaki artış eğilimi, dinamik ekonomik büyüme ve sanayileşmenin doğrudan bir sonucudur. Ülkenin emisyon profiline enerji, ulaştırma ve imalat gibi sektörler hakimdir ve her biri genel karbon ayak izine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Özellikle Türk imalat sektörü, Küçükvar ve diğerlerinin (2015) çalışmalarında detaylandırıldığı üzere, karbon azaltma stratejilerinin odak noktası olmuştur. Bu araştırma, kapsamlı bir karbon ayak izi modeli sunarak sektördeki emisyonların azaltılmasına yönelik etkili stratejiler hakkında fikir vermektedir. Model, endüstriyel emisyonların azaltılmasında teknolojik gelişmelerin ve süreç optimizasyonunun önemini vurgulamaktadır.

Ayrıca, finans sektörünün Türkiye'nin karbon yönetimi çabalarındaki rolü kritik önem taşımaktadır. Yurtsever ve Fırat (2019) tarafından tartışıldığı üzere, bankacılık sektöründe karbon ayak izi göstergelerinin değerlendirilmesi, finansal faaliyetlerin çevresel hedeflerle uyumlu hale getirilmesi için bir çerçeve sağlamaktadır. Bu yaklaşım, sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı destekleyen bir finansal sistemi teşvik etmek için gereklidir.

Türkiye'deki karbon ayak izi mevzuatının durumu, iklim değişikliğiyle mücadeleyle yönelik küresel çabaların daha geniş bağlamı içinde ele alındığında, etkili çevre politikalarının uygulanmasındaki karmaşıklığı gözler önüne sermektedir. Ülkenin ekonomik büyümeyi sürdürülebilir uygulamalarla dengeleme çabaları, çevresel yönetim konusunda değerli dersler sunmaktadır. Küresel iklim zorunlulukları karşısında strateji ve politikalarını geliştirmeye devam eden Türkiye'nin deneyimi, daha sürdürülebilir ve çevreye duyarlı bir geleceğe doğru yolculukta ilgi çekici bir vaka çalışması niteliğindedir.

1.11. Sürdürülebilir Kalkınma ve Karbon Yönetimi

İklim Değişikliği Bağlamında Sürdürülebilir Kalkınmayı Anlamak İklim değişikliği karşısında sürdürülebilir kalkınma, ekonomik büyüme, sosyal eşitlik ve çevre yönetimini bütünleştiren bütüncül bir yaklaşım gerektirir. Bu kavram, sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve iklim değişikliğiyle mücadeleyle yönelik acil ihtiyacı ele alırken ekonomik kalkınmaya dengeli ve adil bir yaklaşım sağlamak için çok önemlidir. Söğüt ve diğerlerinin (2019) çalışmasında vurgulandığı üzere, sürdürülebilir kalkınma sadece çevresel hususları değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik boyutları da kapsamakta ve sürdürülebilirliğe kapsamlı bir yaklaşım sağlamaktadır.

1.11.1. Karbon Yönetimi Yaklaşımları ve Stratejileri

İklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek için etkili karbon yönetimi stratejileri şarttır. Bu stratejiler arasında yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, enerji verimliliğinin artırılması, sürdürülebilir arazi kullanımı uygulamalarının benimsenmesi ve karbon yakalama ve depolama teknolojilerinin teşvik edilmesi yer almaktadır. Zhang ve diğerleri (2023) tarafından tartışıldığı gibi CO₂ yakalama ve dönüştürmenin entegrasyonu, endüstriyel süreçlerde karbon emisyonlarının yönetilmesine yönelik yenilikçi bir yaklaşım sergilemektedir. Ayrıca, Sahu ve diğerleri (2021) tarafından analiz edilenler gibi sürdürülebilir karbon yönetimi uygulamaları, CO₂ akışını azaltmanın etkili yollarını sunmakta ve böylece iklim değişikliğiyle mücadeleyle yönelik küresel çabalara katkıda bulunmaktadır.

1.11.2. Gönüllü Karbon Piyasaları ve Emisyon Ticareti Sistemleri: Küresel ve Türkiye Senaryoları

Gönüllü karbon piyasaları ve emisyon ticareti sistemleri küresel karbon yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu piyasalar, kuruluşların karbon azaltma projelerine yatırım yaparak emisyonlarını dengelemeleri için mekanizmalar sağlamaktadır. Raval ve diğerleri (2022) tarafından açıklanan küresel senaryo, özellikle Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunmada karbon projelerinin önemini vurgulamaktadır. Türkiye bağlamında, emisyon ticareti sistemleri halen gelişmekte olup, küresel uygulamalarla uyum sağlamak ve ülkenin karbon ayak izinin azaltılmasına etkin bir şekilde katkıda bulunmak için çaba sarf edilmektedir.

1.11.3. Türkiye'de Sürdürülebilir Kalkınma Çalışmaları

Son yıllarda yapılan çalışmalar, özellikle iklim değişikliğinin azaltılması ve iklim değişikliğine uyum sağlanması bağlamında Türkiye'de sürdürülebilir kalkınmaya duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Bu çalışmalar, çevresel etkilerini azaltmak ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırmak için sürdürülebilirliğin çeşitli sektörlere entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

1. Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları: Tarımda verimli su kullanımı ve organik tarım gibi sürdürülebilir uygulamalar, sektörün karbon ayak izini azaltmak ve değişen iklim koşullarına uyum sağlamak için kritik öneme sahiptir (Karahasan ve Pınar, 2023).

2. Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji: Enerji verimli teknolojilerin uygulanması ve Türkiye'nin enerji karışımında yenilenebilir enerjinin payının artırılması, sürdürülebilir kalkınma için kilit stratejilerdir. Bu önlemler yalnızca emisyonları azaltmakla kalmaz, aynı zamanda enerji güvenliğini de artırır (Güven vd., 2021).

1.11.4. Karbon Yönetiminde Gelişen Trendler

Karbon yönetimi alanında, çevresel kaygıların endüstriyel operasyonlara entegrasyonunu vurgulayan yenilikçi yaklaşımlar ortaya çıkmaktadır. Mezatio ve diğerleri (2022) tarafından araştırıldığı üzere, tekstil ve giyim endüstrisinde sürdürülebilir tedarik zincirlerinin tasarımı kayda değer bir örnektir. Bu çalışma, endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkilerini azaltmak için tedarik zinciri tasarımında karbon emisyonlarını dikkate almanın önemini vurgulamaktadır.

1.11.5. Tekstil Sektöründe Gelecek Yönelimler

Tekstil endüstrisi, geniş küresel erişimi ve çevresel ayak izi ile sürdürülebilirlik çabalarının ön saflarında yer almaktadır. Bu sektördeki gelecek trendlerinin döngüsel ekonomi ilkelerine, sürdürülebilir malzeme kullanımına ve yeşil teknolojilerin benimsenmesine odaklanması muhtemeldir. Mohan ve Oke (2020) tarafından tartışıldığı gibi, tekstil endüstrisinde atık yönetimde karbon ayak izi analizinin yeni uygulaması, bu sektörde daha sürdürülebilir ve çevre dostu uygulamalara geçişi örneklemektedir. Sonuç olarak, karbon yönetimi ve tekstil sektöründen edinilen bilgilerin sentezi, sürdürülebilir kalkınmaya duyulan acil ihtiyacın altını çizmektedir. Başta tekstil sektörü olmak üzere endüstriler ilerledikçe, yenilikçi uygulamaların, sürdürülebilir teknolojilerin ve etkili politika çerçevelerinin benimsenmesi, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve iklim değişikliği ile mücadelede çok önemli olacaktır. Şekil 1.10 Yapay Zeka Destekli Tekstil Mağazası: Kişiselleştirilmiş Moda ve Ölçüye Özel Kıyafetler göstermektedir.



Şekil 1.4. Tekstil Sektöründe Yapay Zeka Kullanımı

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Tekstil Sektöründe karbon ayak izi ile ilgili yapılan çalışmalar

Steinberger ve arkadaşlarının (2009) yaptığı bir çalışma, tekstil üretim süreçlerinin enerji ve su tüketimi, atık yönetimi, kimyasal kullanımı ve nihai ürünlerin taşınması gibi çeşitli aşamalarını içeren kapsamlı bir LCA uygulamasını detaylandırmaktadır. Bu çalışma, tekstil endüstrisinin karbon ayak izini azaltma yollarını araştırırken, enerji verimliliğini artırma, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ve atık su arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi gibi çözümleri önermektedir (Steinberger, J. K., et al., 2009).

Muthu ve arkadaşlarının (2012) gerçekleştirdiği bir çalışma, tekstil ürünlerinin ömrü boyunca ortaya çıkan karbon emisyonlarını azaltma stratejilerine odaklanmaktadır. Bu çalışma, tekstil malzemelerinin geri dönüşümü ve yeniden kullanımının, karbon ayak izinin azaltılmasında önemli bir rol oynayabileceğini vurgulamaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir malzeme seçimi ve üretim tekniklerinin optimizasyonunun da karbon emisyonlarını önemli ölçüde düşürebileceğini belirtmektedir (Muthu, S. S., et al., 2012).

Fransa'daki Tekstil Sektörü için Karbon Ayak İzi Değerlendirmesi: Bu çalışma, Fransız tekstil üreticilerinin satılan giysilerin ve ev tekstillerinin karbon ayak izini (CF) ölçmek için Hayat Döngüsü Değerlendirmesi kullandıklarını belirtiyor. Tekstil ürünleri için kişi başına CF, Fransa'da yılda 442 kg CO₂eq olarak hesaplanmıştır. Azaltma yöntemleri arasında en enerji yoğun üretim süreçlerini düşük karbonlu elektrik karışımı olan bir ülkede kurmak, satılmayan malları önlemek, ekolojik tasarım yaklaşımlarını uygulamak ve yeniden kullanım veya geri dönüşümle ürünlerin son kullanım değerini artırmak yer almıştır. Bu yöntemlerle CF, kişi başına yılda 43 kg CO₂eq'a indirilmiştir, bu da Paris Anlaşması'nın hedeflerinin ötesine geçerek tekstil sektöründe karbon nötralliklerine katkıda bulunmuştur (Payet, 2021).

Çin'in Tekstil Sektöründen Karbon Emisyonlarının İzlenmesi: Çin'in tekstil sektörünün, ülkenin üretim sektörlerinin doğrudan CO₂ emisyonlarının %2.7'sinden sorumlu olduğu ve 53 tanımlanmış üretim sektörü arasında 10. sırada yer aldığı belirtilmiştir. Tekstil sektörünün, yurt içi ve yurt dışı nihai kullanım için ürettiği toplam CO₂ ayak izi 208 Mt CO₂ olarak hesaplanmıştır. (Cao, Zhang, & Gu, 2012)

Tekstil Sektörünün İklim Değişikliğine Katkısı Üzerine Genel Bir Bakış: Tekstil endüstrisinin, uluslararası havacılık ve nakliye gibi birçok diğer sektörden daha fazla küresel CO₂ emisyonundan sorumlu olduğu açıklanmıştır. Bu makale, tekstil endüstrisinin iklim değişikliğine katkısının nedenlerini ve mevcut eğilimleri özetlemekte ve karbon ayak izini azaltmak için birkaç önlem anlatmaktadır. (Leal Filho et al., 2022)

Çin'de Pamuk Gömleklerin Hayat Döngüsü Boyunca Karbon Ayak İzi: Bu çalışma, Çin'de üretilen saf pamuk gömleklerin hayat döngüsü boyunca karbon ayak izini (CFP) değerlendiriyor. Ortalama olarak, Çin'de üretilen bir saf pamuk gömleğin hayat döngüsü boyunca ortalama CFP'si

8.771 kgCO₂e olarak hesaplanmıştır. Bu, doğrudan CFP'nin 0.347 kgCO₂e ve dolaylı CFP'nin çok daha yüksek olduğu 8.423 kgCO₂e olduğunu göstermektedir. (Wang et al., 2015)

Tekstil ve Giyim Karbon Emisyon Azaltma Önlemleri: Pamuk Durumu: Pamuk lifinin Çin'in en büyük doğal lif üretimi olduğu ve pamuk tekstili için ham maddelerin karbon ayak izinin değerlendirildiği belirtiliyor. Ürünün tam hayat döngüsü karbon ayak izi olarak, ham madde aşamasına da dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Son olarak, tekstil ve giyim ürünlerinin ham madde aşaması için karbon emisyon azaltma önlemleri önerilmiştir. (Yao Le, 2014)

Tekstil Süreç Zincirinde Karbon Ayak İzi Azaltımı: Tekstil Malzemelerinin Geri Dönüşümü: Tekstil ürünlerinin yaşam döngüsünün her aşamasında karbon ayak izini azaltmanın yolları incelenmiştir. Bu çalışma, tekstil süreci atıklarını ve tekstil ürünlerinin ömrünün sonunda geri dönüşümünü ele almaktadır. Geri dönüşümün, karbon ayak izini doğrudan azaltmaya katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır. (Muthu, Li, Hu, & Ze, 2012)

Tekstil Tedarik Zincirinde Karbon Ayak İzi Analizi: Tekstil sektörü tedarik zincirindeki farklı oyuncuların karbon ayak izini belirlemek için yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisi uygulanmıştır. Bu çalışma, tekstil zincirindeki sera etkisinin ana katkısının elektriksel ve termal enerji kullanımından ve taşımacılıktan kaynaklandığını göstermektedir. (Bevilacqua, Ciarapica, Giacchetta, & Marchetti, 2011)

Hindistan'da Yeni Tekstil Politikası ve Tekstil Atık Yönetim Sisteminin Etkisi: Hindistan'daki tekstil endüstrisinin, çevre üzerindeki etkisini azaltmak için alternatif tekstiller ve tekstil atık yönetimi uygulamalarını benimsemesi gerektiği vurgulanmıştır. Ülke genelinde tekstil atığı yönetimi ve sürdürülebilir yönetim yöntemleri ele alınmıştır. (Bhattacharya, 2021)

Tekstil Ürünlerinin Enerji Ayak İzleri: Tekstil endüstrisinin CO₂ salınımı ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Enerji kaynaklarının, tekstil ürünlerinin üretimi, taşımacılığı ve bakımı için gerekli olduğu ve CO₂ emisyonunun büyük bir kısmının bu enerji kullanımından kaynaklandığı belirtilmiştir. (Kumar & Joshiba, 2019)

MWool® Geri Dönüştürülmüş Yün Liflerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA): Geri dönüştürülmüş yün liflerinin ve bakire yün liflerinin çevresel etkileri karşılaştırılmıştır. Geri dönüştürülmüş yün liflerinin, en olumsuz senaryolar bile dikkate alındığında, bakire liflere göre önemli ölçüde daha düşük çevresel etkilere sahip olduğu bulunmuştur. (Bianco, Gerboni, Picerno, & Blengini, 2022)

Denim Üretiminde Karbon Ayak İzi: Denim üretiminin her aşamasında karbon ayak izi detaylı olarak incelenmiştir. Denim üretiminde karbon ayak izini azaltmak için çevre dostu süreçler ve stratejiler tartışılmıştır. (Karthik & Murugan, 2017)

Bangladeş'teki Tekstil Boyama Fabrikalarının Enerji ve Yeraltı Suyu Tüketimi Değerlendirmesi: Bangladeş'teki tekstil boyama fabrikalarının enerji ve su tüketiminin çevre üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bu fabrikaların karbon ve su ayak izlerine önemli katkıları olduğu belirtilmiştir. (Al Mamun et al., 2022)

Denim Ürününün Su Ayak İzi Değerlendirmesi: Denim sektörünün su tüketimi ve çevresel etkileri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Denim üretiminin su ayak izi ve bu süreçte ortaya çıkan atık su miktarları incelenmiştir. (Sülar, Soy, & Yagci, 2021)

Tekstil ve Giyim Sektörü Şirketlerinin Sürdürülebilirlik Raporlarında Çevresel Kriterlerin Analizi: Tekstil ve giyim şirketlerinin sürdürülebilirlik raporları analiz edilmiş ve çevresel etkiler hakkında daha detaylı bilgi verildiği belirtilmiştir. Şirketlerin üretim ve ham madde çıkarma aşamalarında aldığı önlemler hakkında en fazla bilgi verdiği, tüketim aşamasında ise en az bilgi verdiği gözlemlenmiştir. (Kumer & Radonjič, 2021)

Tekstil Üretimi için Düşük Su Tüketimli Teknolojiler: Tekstil endüstrisinin su tüketimine odaklanan bu çalışma, su kullanımını azaltmayı amaçlayan yeni üretim yöntemlerini ve teknolojik önlemleri ele almaktadır. Bu yöntemler arasında plazma işleme, süperkritik karbondioksit boyama ve ultrason boyama gibi su kullanımını azaltan teknolojiler bulunmaktadır. (Lakshmanan & Raghavendran, 2017)

Verma, Dash ve Bhunia (2012) tekstil endüstrisinin kimyasal yoğunluğunu ve atık su yönetimi üzerine çeşitli çözüm önerilerini incelemiştir (Verma, Dash & Bhunia, 2012). Behera ve diğerleri (2021) ise tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık suların arıtımı için yenilikçi teknolojiler ve stratejiler üzerine bir çalışma sunmuştur (Behera et al., 2021). Bu çalışmalar, tekstil sektörünün çevresel ayak izini azaltma çabalarının bir parçası olarak çeşitli arıtma teknolojileri ve sürdürülebilir üretim yöntemlerinin önemini vurgulamaktadır. Tekstil sektörünün karbon ayak izi konusunda daha spesifik çalışmalar yapılması ve bu alandaki yeniliklerin desteklenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.



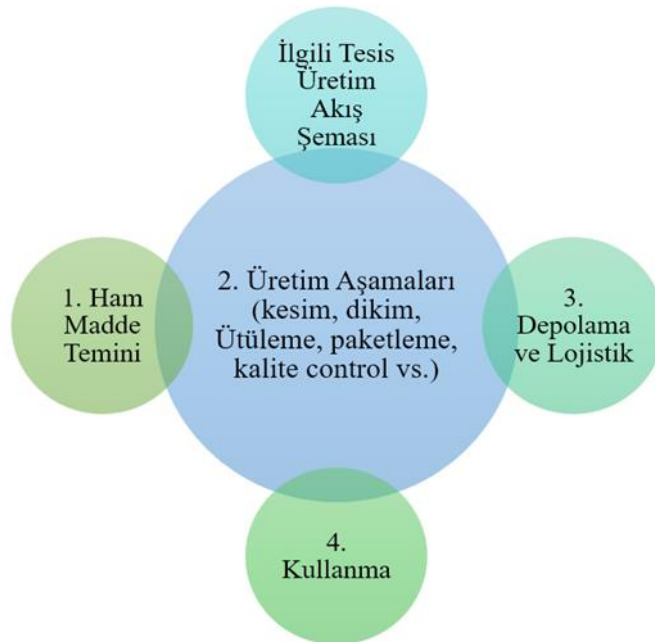
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada, Türkiye'nin Gaziantep şehrinde faaliyet gösteren bir tekstil şirketten, 2020-2023 yılları arasında üç yıl süresince toplanan veriler kullanılmıştır. Analizde kullanılan materyaller arasında elektrik, doğal gaz, su, atık su, dizel yakıt ve çeşitli tekstil kumaşları (özellikle pamuk ve polipropilen bazlı kumaşlar) bulunmaktadır. Bu materyaller, şirketin operasyonel faaliyetleri ve çevresel ayak izi değerlendirmesi açısından kritik öneme sahiptir. Materyallerin seçiminde, üretim sürecindeki enerji ve kaynak kullanımının yanı sıra çevresel etkileri de göz önünde bulundurulmuştur. Elektrik ve doğal gaz kullanımı verileri, şirketin enerji tüketim kayıtlarından; su ve atık su kullanımı verileri ise, şirketin su yönetimi kayıtlarından elde edilmiştir. Dizel yakıt kullanımı, şirketin lojistik ve taşımacılık operasyonlarından kaynaklanan verileri kapsar.

3.1.1. İşletmeye Dair Bilgiler

Gaziantep'te yer alan toplam 6.540 metrekarelik bir tesiste faaliyet gösteren bir tekstil işletmesi, medikal kullanım için tek kullanımlık giysi ürünlerinin yanı sıra okul uniformaları ve diğer standart giysi ürünleri üretmektedir. Yıllık 200-ton dokumasız kumaş kapasitesi ile medikal ürünler ve 150-ton pamuk ve polyester kumaş işleme kapasitesi ile standart giysi ürünleri sunan işletme, üretiminin büyük bir bölümünü Avrupa'nın çeşitli ülkelerine ihraç etmektedir. Kalite kontrol ve çevresel düzenlemelere uyum, işletmenin pazarlama stratejisinde önceliklidir. Sürdürülebilirlik ve çevre dostu uygulamalar, işletmenin uluslararası pazardaki konumunu güçlendirme çabalarının temelini oluşturmaktadır.



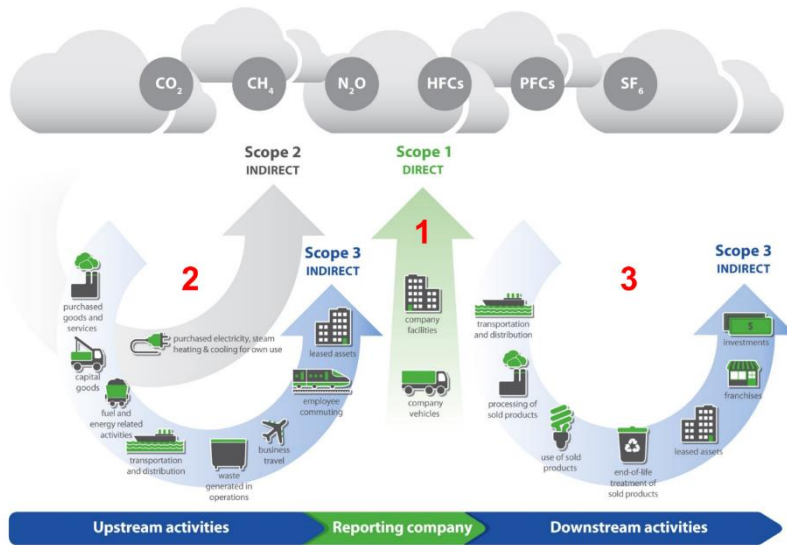
Şekil 3.1. İlgili Tesis Üretim Akış Şeması

3.2. Emisyon Kapsamları

Bu tezde, karbon ayak izinin hesaplanması metodolojisi, sera gazı emisyonlarını üç farklı kapsamda sınıflandıran Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) yönergeleri ile uyumludur:

- ❖ Kapsam 1: şirketin sahip olduğu veya kontrol ettiği kaynaklardan doğrudan emisyonları kapsar
- ❖ Kapsam 2: şirket tarafından tüketilen satın alınan elektriğin üretiminden kaynaklanan dolaylı emisyonları içerir.
- ❖ Kapsam 3: şirketin operasyonlarıyla bağlantılı olmasına rağmen, şirketin sahip olmadığı veya doğrudan kontrol etmediği kaynaklardan meydana gelen diğer dolaylı emisyonları kapsar.

Bu sınıflandırma, şirketin faaliyetlerinin tüm değer zinciri boyunca çevresel etkilerinin kapsamlı bir değerlendirilmesini sağlar. Karbon Ayak İzi Kapsam Kategorileri: Doğrudan ve Dolaylı Emisyonları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Karbon Emisyon Kaynaklarının IPCC Kapsamları

3.3. Metod

Bu tez çalışmasında, Gaziantep'teki bir tekstil fabrikasının karbon ayak izinin belirlenmesi sürecinde, CCALC2 Karbon Ayak İzi Hesaplama Aracı ve Ecoinvent veritabanları temel alınmıştır. Bu araçlar, fabrikanın ham madde temininden nihai ürünün dağıtımına kadar olan süreçlerdeki karbon emisyonlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Ayrıca, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ve Defra 2023'ten elde edilen emisyon faktörleri de dikkate alınmıştır. emisyonunun hesaplanmasını sağlamıştır. Bu yaklaşım, fabrikanın karbon ayak izinin kapsamlı ve detaylı bir şekilde belirlenmesine olanak tanımıştır.

3.4. Karbon ayak izini belirlemek için kullanılan yazılım

Bu çalışmada, CCALC2 Karbon Ayak İzi Hesaplama Aracı kullanılmıştır. Bu yazılım, ham madde kullanımından nihai ürün dağıtımına kadar olan çeşitli aşamalarda tekstil üretiminin karbon ayak izini analiz etmeyi kolaylaştırmıştır. CCALC2'nin emisyonları niceliklendirme ve sürdürülebilirlik iyileştirmeleri için fırsatları belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Veri toplamadan analize kadar adım adım yaklaşım açıklanmış, yöntemlerin açık ve tekrarlanabilir olmasını sağlamıştır. CCALC2'nin tekstil endüstrisine özgü ihtiyaçlara uyum sağlama kabiliyeti, bu çalışmanın önemli bir parçası olup, karbon ayak izini ölçmede şeffaf ve standart bir yol sunarak çevre dostu uygulamalara rehberlik etmektedir.

3.5. Sistem Detayları

Çalışma, Türkiye bağlamında aşağıdaki ölçüm birimleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir: kütle ton cinsinden (t), enerji kilovat saat (kWh), mesafe kilometre (km), hacim kübik metre (m³) ve litre (L), maliyetler ise Avro (€) cinsindendir.

3.6. Malzeme Tanımı ve Veritabanı Özelleştirme

Üretim sürecinde kullanılan materyaller, tekstil kumaşları, diğer hammadde ve ambalaj için Ecoinvent ve CCALC2 veritabanlarının bir kombinasyonu kullanılarak tanımlanmıştır. Türk enerji kaynaklarına ilişkin CCALC2 veritabanındaki veri eksiklikleri nedeniyle, elektrik tüketimi için güncel veriler doğrudan Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından sağlanmış, analizde kullanılan enerji verilerinin doğruluğu ve bölgesel özgüllüğü bu şekilde sağlanmıştır.

3.7. Malzeme Akış Analizi için Veri Tabanlarının Tanımı

CCALC2 Veritabanı: CCALC2 veritabanı, karbon ayak izi hesaplamaları ve araştırmaları için kullanılan temel bir araçtır. Özellikle tarım sektöründeki çeşitli faaliyetlerle ilişkilendirilen sera gazı emisyonlarını nicelendirmede önemli bir rol oynamaktadır. Veritabanı, arazi kullanımı değişiklikleri, tarım ürünü üretimi ve hayvancılık yönetimi gibi süreçlerden kaynaklanan karbon salınımını değerlendirmek için detaylı faktörler ve parametreler içermektedir. Bu çalışmada, CCALC2, enerji tüketimi ve hammadde kaynakları gibi girdileri dikkate alarak tekstil ürünlerinin yaşam döngüsü boyunca karbon emisyonlarının kesin bir tahminini yapmada yardımcı olmaktadır.

3.8. Ecoinvent Veritabanı:

Ecoinvent veritabanı, yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) çalışmaları için kapsamlı bir kaynaktır ve enerji, malzeme girdileri ve çevresel salınımlar hakkında geniş kapsamlı envanter verileriyle tanınmaktadır. Ecoinvent, çeşitli ürün ve süreçlerin çevresel etkilerini değerlendirmede detaylı ve güvenilir veriler sunarak araştırmamız için kritik bir öneme sahiptir. Veritabanı, ham madde çıkarımından nihai ürün bertarafına kadar tekstil üretim sürecinin değerlendirilmesini

kolaylaştırmaktadır. Ecoinvent veritabanını kullanarak, üretilen tekstillerin ekolojik ayak izlerini kapsayan, su kullanımı, enerji tüketimi ve kimyasal girdiler gibi faktörleri içeren kapsamlı bir LCA gerçekleştirilebilmektedir Her iki veritabanı da, bu tezin metodolojik çerçevesinde bütünlüklü ve bilimsel temellere dayanan bir çevresel analiz sağlamak için entegre edilmiştir.

3.9. CCALC2'ye Veri Girişi

Bu çalışmada, her üretim aşaması yazılım içinde fabrikanın operasyonel akışını doğru bir şekilde yansıtacak şekilde titizlikle adlandırılmış ve tanımlanmıştır. Veri girişi kapsamlı olup, Elektrik Tüketimi, şirket kayıtlarında kaydedilen her kilovat saatin üretim aşamalarına göre sınıflandırılarak girilmiştir. Doğal Gaz Kullanımı da üretimde ve binanın ısıtılması ve pişirme amaçları için kullanımını kapsayacak şekilde kaydedilmiştir. Su Kullanımı verileri, tesis içindeki işlem, soğutma ve evsel kullanım dahil olmak üzere toplam tüketimi içermektedir. Ayrıca, ham madde ve nihai ürünlerin taşınması ile şirket araçlarının kullanımını kapsayan dizel tüketimi de hesaplamalarda kullanılmıştır.

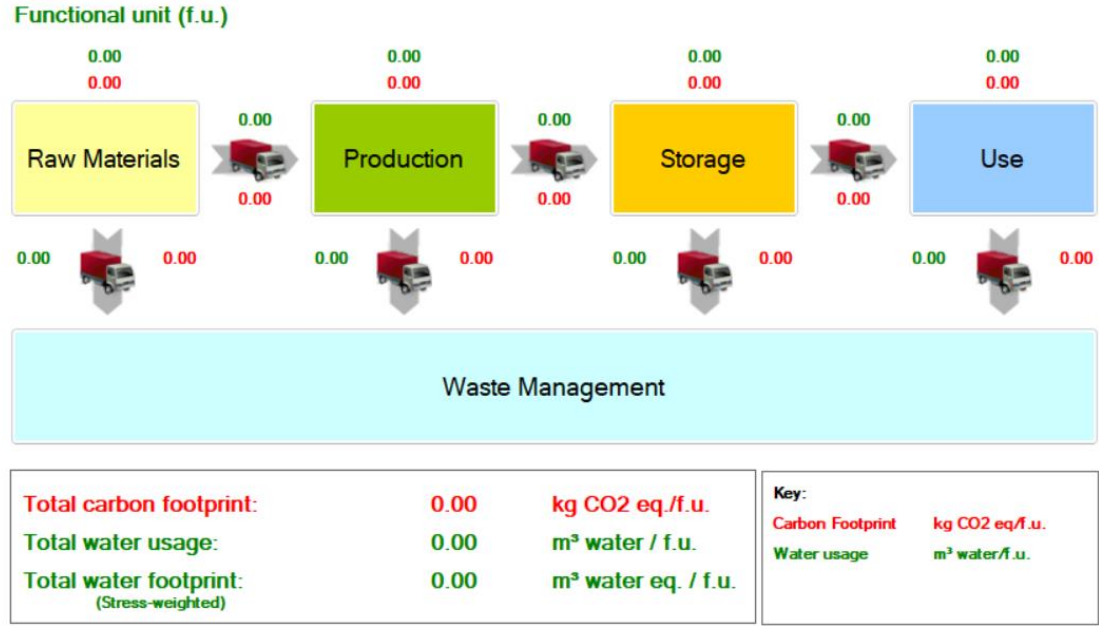
3.10. Kalite Güvence

Veri toplama ve analiz aşamaları boyunca, sıkı kalite kontrol protokolleri uygulanmıştır. Verilerin doğrulanması için birden fazla kontrol mekanizması kurulmuş, bulguların güvenilirliğinin artması hedeflenmiştir. Burada açıklanan kapsamlı veri toplama ve analiz süreci, tezin Materyal ve Metod bölümünün temelini oluşturmaktadır.

3.11. CCALC2 Yazılım Arayüzleri

CCALC2 yazılımının analiz süreci, detaylı bir karbon ayak izi tahminine olanak sağlamaktadır. Çalışma, sistem detaylarının tanımlanması, üretim sürecindeki aşama isimlerinin belirlenmesi ve hammadde girdileri ile devam etmiştir. Yazılımın katmanlı yaklaşımı, her bir aşamanın kendine özgü enerji tüketimi ve emisyonlarının dikkate alınmasını, nakliye, paketleme ve atık yönetiminin karbon ayak izi hesaplamasına entegre edilmesini sağlamıştır. Yazılımın veri tabanları temel veriler için kullanılmış ve gerektiğinde kullanıcı tarafından toplanan verilerle tamamlanmıştır.

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 CCALC2 yazılımının hammadde veri girişi bölümü, tekstil üretim sürecinde kullanılan girdiler hakkında ayrıntılı bilgi toplamak üzere tasarlanmıştır. Bu arayüz bölümü, tekstil ürünlerinin yaşam döngüsündeki hammadde aşamasının temel çevresel etkisini belirlemek için hayati önem taşımaktadır.



Şekil 3 2. CCALC2 Yazılım Arayüzüne Genel Bakış

3.11.1. Fonksiyonel Birim Girişi:

Yaşam döngüsü değerlendirmesi için önemli bir referans olan fonksiyonel birim, bu aşamada tanımlanır ve tekstil ürününün performansını kütle veya enerji cinsinden ölçer.

3.12. Karbon ve Su Ayak İzi Hesaplamaları:

Yazılım, her bir hammadde girdisi için, fonksiyonel birim (f.u.) başına kilogram (kg) olarak ifade edilen kullanılan miktara ilişkin verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu girdilerle ilişkili olarak, hammadde birimi başına sera gazı emisyonlarını ölçen karbondioksit eşdeğerlerinin (CO₂ eş.) girilmesi için alanlar bulunmaktadır. Benzer şekilde, su kaynaklarının kıtlığını ve çevresel stresini hesaba katarak su ayak izini hem mutlak olarak hem de stres ağırlıklı olarak hesaplamak için su kullanım verileri gereklidir.

3.12.1. Toplam Etki Toplamı:

Arayüz, hammadde aşaması için toplam karbon ayak izini, su kullanımını ve stres ağırlıklı su ayak izini bir araya getirerek ürünün çevresel etkisinin ilk değerlendirmesini sağlar. Bu veriler, çevresel performansın iyileştirilebileceği alanları belirlemek için çok önemlidir.

3.12.2. Atık Yönetimi Hususları:

Girdilere ek olarak, arayüz, atık miktarı ve ilgili karbon ve su ayak izleri de dahil olmak üzere hammadde aşamasında üretilen atıkların belgelenmesine olanak tanır. Bu girdiler, çevresel etkinin tamamının kapsamlı bir şekilde anlaşılması ve etkili atık yönetimi stratejilerinin planlanması için gereklidir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Faaliyet veriler emisyon faktörleri ve CCALC2 uygulama aracılığıyla yapılan hesaplamalar sonucu aşağıdaki tablolarda ve hesaplamalarda ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.1. Üretim Detayları:

Tablo 4.1, Tekstil şirketinin çeşitli tekstil kalemleri için yıllık üretim miktarlarını ve kalem başına kullanılan kumaş miktarını listelemektedir. Birim başına ne kadar dokuma, örme ve nonwoven kumaşa ihtiyaç duyulduğunu göstermekte ve bir yıllık üretim için gereken toplam kumaşı hesaplamaktadır. Örneğin, şirket her biri 4,8 metrekare dokuma kumaş kullanarak yılda 16.560 iş elbisesi üretmektedir ve yıl için toplam 79.488 metrekare kumaş gerekmektedir. Tablo, farklı ürünler için kumaş taleplerinin anlaşılmasına yardımcı olmakta ve seçilen şirketlerin faaliyetlerinin ölçeğini gösterir.

Tablo 4.1. Fabrikanın Üretim Kapasitesi

Ürün	Yıllık Kapasite (adet)	Kullanılan Dokuma Kumaş (m ² /birim)	Yıllık Dokuma Kumaş İhtiyacı (m ² /yıl)	Yıllık Örme Kumaş İhtiyacı (kg/yıl)	Yıllık Nonwoven Kumaş İhtiyacı (kg/yıl)
Kapak/Yastık Kılıfı	124.200	1.2	0	62,100	62,100
Palto	4.416	3.0	13,248	2,208	1,324
Bez Maske	72.450	0.3	21,735	3,622.5	2,173.5
İş Kıyafeti	16.560	4.8	79,488	16,560	9,936
Etek	2.070	1.8	3,726	621	414
Gömlek	2.070	2.7	5,589	931.5	558.9
Pantolon	8.280	2.1	17,388	1,656	1,076.4
Tişört	41.400	1.5	62,100	10,350	6,210
Suit/Termal Suit	4.968	1.3	6,458	993.6	645.8
Okul Üniforması	5.678	0.75	4,258	682.8	425.8
Kazak	4.140	0.80	3,312	538.2	331.2
Nonwoven Scrubs	101.430	0.225	22,822	4,057.2	2,282.2
Baş/Ayak Kapağı	165.600	0.06	9,936	1,656	993.6
Tek Kullanımlık Önlük	124.200	0.11	13,662	2,484	1,366.2
Atık	49.680	0.15	7,452	1,490.4	745.2
Kapak	51.750	0.15	7,763	1,552.5	776.3
Çorap (Kısa)	47.314	0.10	4,731	946.28	473.14
Pijamalar için					
PE Kumaş	9936		7,949		
Polar	9936		19,872		

Tablo 4.2, yıllık 151.200 kg Pamuk ipliği tüketimi ile vurgulanan önemli malzeme kullanımını içeren üretimi özetlemektedir. Şirket ayrıca yıllık 200.000 kg gibi önemli miktarda dokuma olmayan kumaş kullanmaktadır. Diğer önemli malzemeler arasında 101.430 adet Fermuar, 124.200 metre Kesme Bandı ve sırasıyla 836.142 adet ve 1.672.284 adet olmak üzere yoğun Ambalaj Naylonu ve Etiket kullanımı yer alıyor. Ayrıca, yılda 162.288 metre Elastik Bant kullanılmaktadır. Bu veriler, tekstil üretim faaliyetlerinin ölçeği ve çeşitliliği hakkında net bir fikir vermektedir.

Tablo 4.2. Fabrikada kullanılan malzemeler

Ürün/Malzeme	Miktar (kg/yıl veya birim/yıl)
Yuvarlak Örne Makinesi	151200 kg/yıl
Pamuk İpliği	151200 kg/yıl
Fermuar	101430 birim/yıl
Kesim Bandı	124200 m/yıl
Nonwoven Kumaşlar	200000 kg/yıl
Ambalaj Naylon	836142 birim/yıl
Etiket	1672284 adet/yıl
Elastik Bant	162288 m/yıl

Tablo 4.3, fabrikanın çeşitli üretim ihtiyaçları için çok çeşitli ekipmanları kapsayan toplam 85 makine işlettiğini göstermektedir. Temel makineler arasında 19 Düz Dikiş Makinesi (her biri 8,0 kW), 12 Overlok Dikiş Makinesi (5,5 kW) ve 9 Kapak Dikiş Makinesi (2,5 kW) bulunmaktadır. Fabrikada ayrıca Triko Yuvarlak Örne Makinesi (15,0 kW) ve çeşitli kesme ve baskı makineleri gibi özel makineler de kullanılıyor. Bu makine dizisi, fabrikanın kapsamlı üretim kapasitesinin ve buna karşılık gelen enerji gereksinimlerinin altını çiziyor.

Tablo 4.3. Fabrikada kullanılan makineler

Fabrikada kullanılan makineler	Enerji kw	Birim
Düz dikiş makinası	8,0	19
Overlok dikiş makinaşı	5,5	12
Reçme makinesi	2,5	9
Düğme makinesi	1,5	6
İlik makinası	1,5	5
Biye makinası	1,5	5
Şerit makinesi	1,0	3
Temizlik makinesi	1,0	3
Kopça makinası	0,0	3
Lastik makinesi	1,0	3
Dijital kalıp tarayıcı makinası	1,0	2
Barkod makiansi	1,0	2
Karton çizim makiansi	1,0	2
Pastal çizim makiansi	1,0	2
Lazer kesim makinesi	2,0	2
Kesim makasi	4,5	1
Kumaş serim makinası	6,0	1
Transfer baski makinesi	1,0	1
Ütü makinası	2,0	1
Ütü paskara makinası	2,0	1
Triko yuvarlak örgü makinası	15,0	1
Buhar kazani	3,0	1
	Toplam birim	85

Tablo 4.4, fabrikadaki çeşitli tekstil aksesuarlarının yıllık kullanımını özetlemektedir. Yıllık 101.430 fermuar, 124.200 metre kesme bandı ve 202.860 kurdele içermektedir. Ayrıca, yılda 836.142 adet ambalaj naylonu ve 1.672.284 etiket ile önemli miktarda ambalaj malzemesi kullanımı söz konusudur. Fabrikada ayrıca her yıl 162.288 metre elastik bel bandı kullanılmaktadır. Bu veriler, üretimde kullanılan temel tamamlayıcı malzemeleri vurgulamaktadır.

Tablo 4.4. Fabrikada kullanılan Yardımcı Malzemeler

Öge	Miktar	Birim
Fermuar	101430	birim/yıl
Kesim Bandı	124200	m/yıl
Kurdeleler	202860	birim/yıl
Ambalaj Naylon	836142	birim/yıl
Etiket	1672284	birim/yıl
Elastik Bantlı Bel Bandı	162288	m/yıl

Tablo 4.5'te sunulan veriler, bir Tekstil şirketinin 2020'den 2022'ye uzanan üç yıllık dönemdeki yıllık tüketim ve deşarj ölçümlerini temsil etmektedir. Tablo beş farklı Karbon Ayak İzi (CFP) kaynağı olarak kategorize edilmiştir: Elektrik, Dizel Yakıt, Su, Atık Su ve Doğal Gaz. Her kategori, yıllık tüketim veya deşarj miktarını listeler ve gözlemlenen dönem için ortalama hesaplayan ek bir sütun bulunur.

Elektrik tüketimi kilovat-saat (kWh) cinsinden ölçülmekte olup, fabrika 2020 yılında 211.151 kWh tüketmiş, 2021 yılında 195.560 kWh'ye ve 2022 yılında 175.712 kWh'ye düşmüştür. Yıllık ortalama elektrik tüketimi 194.141 kWh olarak hesaplanmıştır. Litre cinsinden ölçülen dizel yakıt tüketimi, 2020'de 13.200 L'den 2022'de 11.750 L'ye istikrarlı bir düşüş göstererek yılda ortalama 12.550 L olmuştur.

Metreküp m³ cinsinden ölçülen su tüketimi de 2020'de 12.600 m³'ten 2022'de 10.600 m³'e düşme eğilimi göstermekte ve ortalama tüketim 11.650 m³ olmaktadır. Atık su deşarjı da benzer bir seyir izleyerek 2020'de 9.450 m³'ten 2022'de 7.950 m³'e düşmüş ve yıllık ortalama 8.736,67 m³ olmuştur.

Son kategori olan ve metreküp cinsinden ölçülen Doğal Gaz tüketimi bir miktar değişkenlik göstermektedir. 2020 yılında 35.738 m³ olan tüketim 2021 yılında 38.765 m³ 'e yükselmiş, 2022 yılında ise hafif bir düşüşle 35.872 m³ 'e gerilemiştir. Yıllık ortalama Doğal Gaz tüketimi 36.791,67 m³tür.

Tablo 4.5. Fabrika Faaliyet Verileri

CFP Kaynakları	Yıl: 2020	Yıl: 2021	Yıl: 2022	Ortalama Veri
Elektrik Tüketimi (kWh)	211151	195560	175712	194141
Dizel Yakıt Tüketimi (L)	13200	12700	11750	12550
Su Tüketimi (m ³)	12600	11750	10600	11650
Su Deşarjı (m ³)	9450	8810	7950	8736,666667
Doğal Gaz Tüketimi (m ³)	35738	38765	35872	36791,66667

Tablo 4.6, bir tekstil fabrikasının karbon ayak izini, elektrik tüketimini ve buna karşılık gelen CO₂ emisyonlarını dört temel kategoriye ayırarak kategorize etmektedir: Üretim, Hammadde, Depolama ve Kullanım. Üretim kategorisi 135.898,7 kWh ile en yüksek elektrik tüketimini göstermekte ve 59.410 kg CO₂ eşdeğeri emisyonu yol açarak bu aşamada önemli bir çevresel etkiye işaret etmektedir. Hammadde kategorisi 19.414,1 kWh elektrik kullanımı ve 8.480 kg CO₂ eşdeğeri emisyon ile onu takip etmektedir. Depolama 29.121,15 kWh elektrik kullanımı ve 12.720 kg CO₂ emisyonu ile envanterin korunmasının enerji ihtiyacını ve çevresel etkisini yansıtmaktadır. Son olarak, muhtemelen ürünlerin son kullanımı sırasındaki enerji tüketimini temsil eden Kullanım aşaması, 9.707,05 kWh ve 4.240 kg CO₂ eşdeğeri emisyonu karşılık gelmektedir. Bu veriler, tekstil üretim süreçlerinin genel çevresel ayak izini anlamak için çok önemli olan belirli enerji kullanım alanları ve ilgili karbon emisyonları hakkında ayrıntılı bir fikir vermektedir.

Tablo 4.6. Farklı süreçlere göre elektrik kullanımı

Kategori	Elektrik Tüketimi (kWh)	CO₂ Emisyonları (kg CO₂e)
Üretim	135898,7	59410
Hammadde	19414,1	8480
Depolama	29121,15	12720
Kullanım	9707,05	4240

Tablo 4.7 bir tekstil fabrikasındaki üretim sürecinin her aşamasında elektrik tüketimi ve ilgili CO₂ emisyonlarının ayrıntılı bir analizini sunmaktadır. Tüm üretim yaşam döngüsünü dokuz farklı aşamaya ayırmakta ve her bir aşamaya toplam elektrik tüketimi ve CO₂ emisyonlarının bir yüzdesini tahsis etmektedir.

İlk aşama olan Tasarım ve Müşteri Etkileşimi, toplam elektrik kullanımının %2'sini (2.718 kWh) oluşturmakta ve 1.187 kg CO₂ eşdeğeri emisyonu neden olmaktadır. Sonraki aşama olan Numune Alma, elektrik tüketiminin %3'ünü (4.077 kWh) temsil eder ve 1.782 kg CO₂ emisyonuna yol açar. Elektriğin %5'ini (6.795 kWh) tüketen Hammadde Tedariki, 2.970 kg CO₂ emisyonuna neden olur.

Malzeme İnceleme ve Hazırlama, elektrik kullanımının %10'unu (13.590 kWh) ve 5.940 kg CO₂ emisyonunu oluşturan önemli bir aşamadır. Kesme aşaması, elektrik tüketiminde %15'lik bir pay (20.385 kWh) ve 8.910 kg CO₂ emisyonu ile takip etmektedir. En yoğun enerji tüketen aşama olan dikiş, elektriğin %20'sini (27.180 kWh) tüketmekte ve 11.880 kg CO₂ emisyonuna katkıda bulunmaktadır.

En büyük paya sahip olan Ütülleme ve İlk Kalite Kontrol, elektriğin %25'ini (33.975 kWh) kullanmakta ve 14.850 kg ile en yüksek CO₂ emisyonuna yol açmaktadır. Paketleme ve Nihai Kalite Kontrol ile Etiketleme ve Paletleme sırasıyla %10 ve %5 oranında elektrik tüketmekte (13.590 kWh ve 6.795 kWh) ve 5.940 kg ve 2.970 kg CO₂ eşdeğeri emisyonu neden olmaktadır. Son olarak, Dağıtım ve Lojistik de elektrik kullanımının %5'ini (6.795 kWh) ve 2.970 kg CO₂ emisyonunu oluşturmaktadır.

Üretim aşaması toplamda 135.898,7 kWh elektrik tüketmekte ve 59.404,9 kg CO₂ eşdeğeri emisyonu neden olmaktadır. Bu kapsamlı döküm, farklı üretim aşamalarının değişen çevresel etkilerini vurgulamakta ve üretim sürecinin her adımında hedeflenen sürdürülebilirlik önlemlerine duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Tablo 4.7. Üretim Aşamalarında Elektrik Dağılımı

Üretim Aşaması	Toplamın %'si	Elektrik Tüketimi (kWh)	CO ₂ Emisyonları (kg CO ₂ e)
Tasarım ve Müşteri Etkileşimi	2%	2718	1187 (2718 * 0.437)
Örnekleme	3%	4077	1782 (4077 * 0.437)
Hammadde Tedariki	5%	6795	2970 (6795 * 0.437)
Malzeme Muayenesi ve Hazırlığı	10%	13590	5940 (13590 * 0.437)
Kesme	15%	20385	8910 (20385 * 0.437)
Dikiş	20%	27180	11880 (27180 * 0.437)
Ütüleme ve İlk Kalite Kontrol	25%	33975	14850 (33975 * 0.437)
Paketleme ve Son Kalite Kontrol	10%	13590	5940 (13590 * 0.437)
Etiketleme ve Paletleme	5%	6795	2970 (6795 * 0.437)
Dağıtım ve Lojistik	5%	6795	2970 (6795 * 0.437)
Toplam	100%	135898.7	59404,9

Tablo 4.8, bir tekstil fabrikasındaki doğal gaz tüketiminin farklı operasyonel aşamalara göre kategorize edilmiş kısa bir dağılımını sunmaktadır. En büyük pay olan %65'lik 23.914.579 metreküp, üretim süreçlerinin yüksek enerji talebine işaret eden Üretim Aşamalarında kullanılmaktadır. Hammadde işleme %10 (3.679.166 m³) tüketirken, Depolama ve Kullanımın her biri %12,5 (4.598.958 m³) ile malzeme taşıma ve son kullanım aşamalarında kullanılan enerjiyi yansıtmaktadır. Bu dağılım, fabrikanın enerji verimliliğini ve çevresel ayak izini anlamak ve optimize etmek için gerekli olan fabrika içindeki önemli enerji kullanım alanlarını vurgulamaktadır.

Tablo 4.8. Doğal Gaz Tahsisi

Kategori	Toplam Tüketimin Yüzdesi (%)	Doğal Gaz Tüketimi (m ³)
Hammadde	10,0	3679,166
Üretim Aşamaları	65,0	23914,579
Depolama	12,5	4598,958
Kullanım	12,5	4598,958

Tablo 4,9'da bir tekstil fabrikasının faaliyetleri için sera gazı emisyon faktörleri (EF'ler) özetlenmektedir. Elektriğin EF'si kWh başına 0,437 kg CO₂e iken, doğal gaz metreküp başına 2,03839031 kg CO₂e ile daha yüksektir. Dizel yakıtın EF'si litre başına 2,659371737 kg CO₂e'dir. Ulaşım EF'leri binek araçlar için 0,197040597 kg CO₂e/km ve iş seyahatleri için 0,169826449 kg

CO₂e/km'dir. Su tedarikinin EF'si metreküp başına 0,176684547 kg CO₂e'dir. Giyim malzemesi kullanımının EF'si ton başına 152,25 kg CO₂e ile oldukça yüksektir ve plastik ve kağıt/karton için atık bertarafı ton başına 21,28080724 kg CO₂e'dir. Türkiye'deki otel konaklamaları, oda başına gecelik 32,1 kg CO₂e katkı sağlamaktadır. Bu EF'ler, fabrikanın faaliyetlerinin çevresel etkisini değerlendirmek için çok önemlidir.

Tablo 4.9. Farklı Faaliyetler için CO₂ Emisyon Faktörü

Faaliyet Adı	Birim	Sera Gazı/ Birim	Sera Gazı EF	Kaynak
Elektrik	KWh	kg CO ₂ e	0,437	ETKB 2022
Doğal gaz	metreküp	kg CO ₂ e	2,03839031	DEFRA 23
Dizel (%100 dizel)	litre	kg CO ₂ e	2,659371737	DEFRA 23
Binek Araçlar Ortalama otomobil	km	kg CO ₂ e	0,197040597	DEFRA 23
Su temini	metreküp	kg CO ₂ e	0,176684547	DEFRA 23
Giysi Malzemesi Kullanımı	ton	kg CO ₂ e	152,25	DEFRA 23
Plastik Atık Bertarafı: PP	ton	kg CO ₂ e	21,28080724	DEFRA 23
Atık Bertarafı: Kağıt ve karton	ton	kg CO ₂ e	21,28080724	DEFRA 23
Ortalama Araçla İş Seyahati	km	kg CO ₂ e	0,169826449	DEFRA 23

Tablo 4.10, tüm fabrika için toplam karbon ayak izinin kesin bir özetini sunmakta ve tez araştırmasının doruk noktasını temsil etmektedir. CO₂ emisyonlarını dört ayrı bölüme ayırmaktadır: Hammaddeler, Üretim, Depolama ve kullanım.

Hammaddeler, toplam 1370 ton/yıl ile emisyonların en büyük payını oluşturmaktadır. Bu önemli rakam, tekstil üretiminde kullanılan malzemelerin tedarik edilmesi ve işlenmesinin önemli çevresel etkisinin altını çizmektedir. Üretim bölümü, Hammaddelerden daha az olmakla birlikte, yine de 111 ton/yıl CO₂ emisyonu ile önemli ölçüde katkıda bulunmakta ve fabrikanın üretim süreçleriyle ilişkili karbon maliyetini vurgulamaktadır.

Ürünlerin korunması ve depolanmasını kapsayan depolama, envanterin muhafaza edilmesinde kullanılan enerjiyi yansıtarak 25,7 ton/yıl emisyonu neden olmaktadır. Muhtemelen ürünlerin son kullanımı sırasındaki enerji tüketimini temsil eden kullanım aşaması, 8,68 ton/yıl ile fabrikanın karbon ayak izine en az katkıda bulunan aşamadır.

Fabrikanın toplam CO₂ emisyonu 1515,38 ton/yıl olup, tüm operasyonel aşamalarındaki çevresel etkinin kapsamlı bir görünümünü sunmaktadır. Bu veriler, fabrikanın genel karbon ayak izinin anlaşılmasında çok önemlidir ve tekstil endüstrisinde karbon azaltma stratejilerinin uygulanması için potansiyel alanlara ilişkin içgörüler sunarak tezin temel bir parçasını oluşturmaktadır.

Tablo 4.10. Tekstil Fabrikasında CO₂ Emisyonlarının Bölümlere Göre Kapsamlı Dağılımı

Bölüm	CO ₂ Emisyonları (ton)
Hammaddeler	1370
Üretim	111
Depolama	25,7
Kullanım	8,68
Toplam	1515,38

4.2. CCALC2 tarafından Veri Analizi

Şekil 4.1, bir tekstil fabrikasının karbon ayak izini hesaplamak için kullanılan CCALC2 araçındaki sistem ayrıntıları giriş alanını göstermektedir. İşlevsel birim CO₂ eşdeğeri olarak belirtilmiştir. Seçilen ölçüm birimleri arasında kütle için kilogram, enerji için kilovat-saat, mesafe için kilometre, hacim için metreküp ve parasal hususlar için döviz kuru 1,20 olarak ayarlanmış Euro bulunmaktadır. Veriler, 2022 yılına karşılık gelecek şekilde, tekstil fabrikasının kayıtlarından elde edilmiştir. Sistemdeki son güncelleme 2024 yılında yapılmıştır ve girilen veriler Md Muzahidul Islam tarafından yazılmıştır ve yorumlar bölümünde ek açıklamalara izin vermektedir.

CCaLC2 - System Details

Name: Determination of Carbon Footprint in a Textile Factory using CCALC2 Tool

Functional Unit:

Value: 1

Units: CO2 eq

Settings:

Mass Units: kg

Energy Units: kWh

Distance Units: km

Volume Units: m3

Monetary Units: Euro

Exchange Rate (per £): 1.20

Data Collected (yr): 2022

Data Source: Textile Factory Data

Last Updated (date): 2024

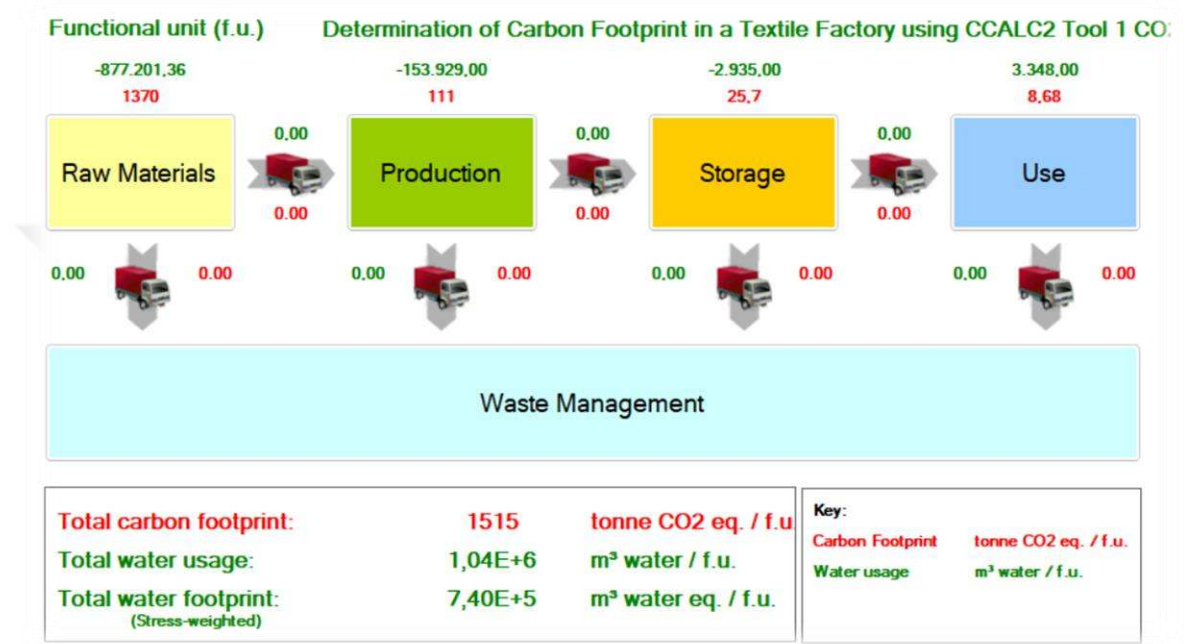
Author: Md Muzahidul Islam

Comments:

OK Cancel

Şekil 4.1. CCALC2 yazılımının 'Sistem Ayrıntıları

Şekil 4.2, CCALC2 aracını kullanarak bir tekstil fabrikasının faaliyetlerinin farklı aşamalarındaki karbon ayak izinin nicel bir değerlendirmesini sunmaktadır. Karbon ayak izi, sırasıyla 1370 ton/yıl, 111 ton/yıl, 25,7 ton/yıl ve 8,68 ton/yıl CO₂ eşdeğeri emisyonu karşılık gelen Hammadde, Üretim, Depolama ve kullanım aşamaları olarak kategorize edilmiştir. Bu değerler, tüm fabrika operasyonu için toplam 1515 ton/yıl CO₂ eşdeğeri karbon ayak izi ile sonuçlanmaktadır. Bu görsel her bir operasyonel aşama ile ilişkili çevresel etkinin net bir özetini sunar ve potansiyel sürdürülebilirlik iyileştirmeleri için yüksek etkili alanların belirlenmesinde ayrılmaz bir rol oynar.



Şekil 4.2. Emisyon verileriyle CCALC2 aracına genel bakış

Şekil 4.3, CCALC2 yazılımı kullanılarak tekstil üretimindeki hammadde aşamasıyla ilişkili karbon ayak izinin odaklanmış bir ölçümünü sunmaktadır. Polipropilen ve pamuk elyafları, enerji tüketimi ve ambalaj malzemeleri için emisyonları, su kullanımını ve stres ağırlıklı su ayak izini detaylandırmaktadır. Bu aşamada karbon ayak izine en önemli katkıyı 1,33E+6 kg CO₂ eşdeğeri ile hammadde alımı yapmakta olup, önemli miktarda su ayak izi de kaydedilmiştir. Enerji gereksinimleri karbon ayak izine daha küçük ancak önemli bir miktar ekleyerek tekstil üretiminin genel çevresel etkisini azaltmada enerji yönetiminin önemini vurgulamaktadır.

Functional unit: Determination of Carbon Footprint in a Textile Factory using CCALC2 Tool 1 CO2 eq

Stage: Raw Materials

Total carbon footprint for stage: 1,37E+6 kg CO2 eq. / f.u.
 Total water usage for stage: 8,77E+5 m³ water / f.u.
 Total water footprint (stress-weighted) for stage: 6,83E+5 m³ water eq. / f.u.

Raw material	Amount (kg/f.u.)	CO2 eq. (kg/kg raw material)	CO2 eq. (kg/f.u.)	Water usage (m³/kg raw material)	Water usage (m³/f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m³ eq./f.u.)	Database section	Production stage
Polypropylene (PP) fibre	2,00E+5	2,80	5,60E+5	0,013	2600	2025	CCaLC/Materi...	Use
textile refinement, cotton	1,50E+5	5,14	7,71E+5	5,83	8,75E+5	6,81E+5	Ecoinvent/Ma...	Use
Total:	3,50E+5	Total:	1,33E+6	Total:	8,77E+5	6,83E+5		

Energy	Amount (MJ/f.u.)	CO2 eq. (kg/MJ energy)	CO2 eq. (kg/f.u.)	Water usage (m³/MJ energy)	Water usage (m³/f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m³ eq./f.u.)	Database section
natural gas, at consumer	1,32E+4	0,014	185	0,00	0,00	0,00	Ecoinvent/En...
TEİAŞ Electric EF	6,99E+4	0,121	8484	2,80E-5	1,96	1,52	UserDefined/...
Total:	8,31E+4	Total:	8669	Total:	1,96	1,52	

Packaging	Amount (kg/f.u.)	CO2 eq. (kg/kg packaging)	CO2 eq. (kg/f.u.)	Water usage (m³/kg packaging)	Water usage (m³/f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m³ eq./f.u.)	Database section	Production stage
corrugated board box product...	1,00E+4	0,948	9476	8,04E-3	80,4	57,2	Ecoinvent/Pa...	Use
Polythene bags	2000	1,39	N/A	N/A	N/A	N/A	CCaLC/Pack...	Use
Total:	1,00E+4	Total:	9476	Total:	80,4	57,2		

Waste	Amount (kg/f.u.)	CO2 eq. (kg/kg waste)	CO2 eq. (kg/f.u.)	Water usage (m³/kg waste)	Water usage (m³/f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m³ eq./f.u.)	Database section
Incineration - carton pack.	1,20E+4	0,713	8557	2,08E-3	25,0	0,056	CCaLC/Waste
Incineration - plastics, PE/PB...	1,00E+4	0,887	8872	3,41E-3	34,1	9,66	CCaLC/Waste
Incineration - textiles	7500	0,407	3052	8,04E-3	60,3	42,9	CCaLC/Waste
Total:	2,95E+4	Total:	2,05E+4	Total:	119	52,6	

Şekil 4.3. CCALC2'ye göre Hammadde Veri Analizi

Şekil 4.4'da verilen arayüz, CCALC2 yazılımının bir yaşam döngüsü analizinde çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla hammaddelerin tanımlandığı bir bölümünden alınmış gibi görünmektedir. Arayüz, kullanıcıların bir veritabanından bir malzeme (bu durumda polipropilen (PP) elyaf) seçmesine ve malzeme kullanım aşaması, işlevsel birim başına kullanılan miktar ve ilgili su kullanımı gibi ayrıntıları belirtmesine olanak tanır. Yüksek veri kalitesi güvencesi ve maliyet girişi seçenekleri sunarak kapsamlı bir değerlendirme yapılmasını sağlar.

Arayüz, kullanıcılara CCALC2, Ecoinvent gibi birden fazla veri tabanından veya kullanıcı tanımlı girişlerden veri sağlama esnekliği sunarak projenin veya bölgenin özelliklerine göre özel bir analiz yapılmasına olanak tanır. kullanıcılar, malzemelerin çevresel yükünün daha doğru bir temsilini sağlayan tarımsal alan veya işlevsel birim başına kütle cinsinden miktarları tanımlayarak veri girişini daha da hassaslaştırabilir.

Detaylı bölümde yazılım, verilerin şeffaflığını ve güvenilirliğini sağlamak için çok önemli olan emisyon faktörlerini, veri yılı, konum özelliğini ve kaynak atıflarını sağlamaktadır. Buna ek olarak, veri setinin yüksek kalitesi, bu durumda Shen (2011) gibi referanslar aracılığıyla güvence altına alınmakta ve yaşam döngüsü değerlendirmesine güvenilirlik kazandırılmaktadır. Genel olarak, arayüz çok yönlülük ve hassasiyet için tasarlanmıştır ve hammaddelerin çevresel etkisinin doğru bir şekilde yakalanmasını ve verilerin akademik veya endüstri standardı araştırmalar için güvenilir olmasını sağlamak için çok sayıda seçenek sunar.

Define raw materials:

Define water usage for data set:

Define materials
Modify database
Search database

☒ CCaLC database
☐ Ecoinvent database
☐ User-defined

Database section:
Chemicals & related

Polypropylene (PP) fibre

Stage for material use:
Use

Amount (kg/f.u.):
2,00E+5

Data quality for amount
High

Cost (£/kg):
0,210

Water usage (m³/kg):
2600
Define...

Agricultural inputs
☐ define inputs in terms of mass per agricultural area
☒ define inputs in terms of mass per functional unit

Comments on amount used:
Update

Details
Energy use
Impacts
Water use

kg CO2 eq./kg:
2,800e+000

Year:
2011

Location:
Western Europe

Source:
Shen (2011)

Quality of dataset:
High

Comments:
Cradle-to-factory gate; staple polyolefin fibre; Source: Shen, L. (2011) Bio-based and recycled polymers for cleaner production - An assessment of plastics and fibres, PhD Thesis, Utrecht University.

Define data

Name:
Polypropylene (PP) fibre

Stage:
Use

Define country data
The water stress index for a given country is used to obtain the water footprint from the water usage data.
Country:
Turkey
Water stress index:
0,779

Define your own data or select an approximation from the CCaLC database:
☐ Define data
☒ Select from CCaLC waster use database

Select from CCaLC water use database
Polypropylene

Blue water (m³/kg):
0,013

Green water (m³/kg):
0,00

Total water (m³/kg):
0,013

Location:
Sweden

Comments:
Stylianios Katsoufis. 2009. Cradle-to-4

Update

Şekil 4.4. Veritabanı Genel Görünümleri

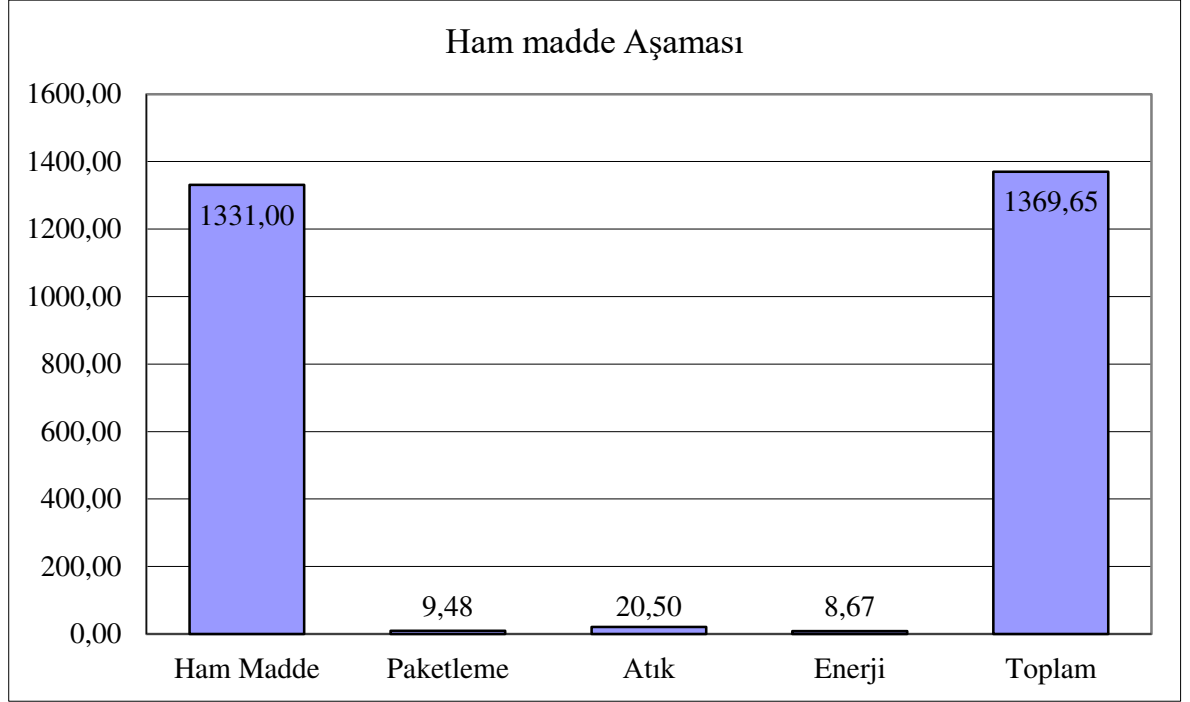
Hammaddelerden kaynaklanan karbon ayak izi Tablo 4.11 da gösterilmiştir.

Tablo 4.11. Hammaddelerden kaynaklanan karbon ayak izi

Hammadde aşaması	
Hammaddeler	1331,00 ton/yıl
Paketleme	9,48 ton/yıl
Atık	20,50 ton/yıl
Enerji	8,67 ton/yıl
Toplam	1369,65 ton/yıl

Şekil 4.5, seçilen fabrikada hammadde aşamasına atfedilen karbondioksit emisyonlarının analitik bir dökümünü sunmaktadır. Verilerden hammadde tedariki ve kullanımının karbon ayak izine birincil katkıda bulunan unsurlar olduğu ve emisyonların işlevsel birim başına 1331 ton/yıl CO₂

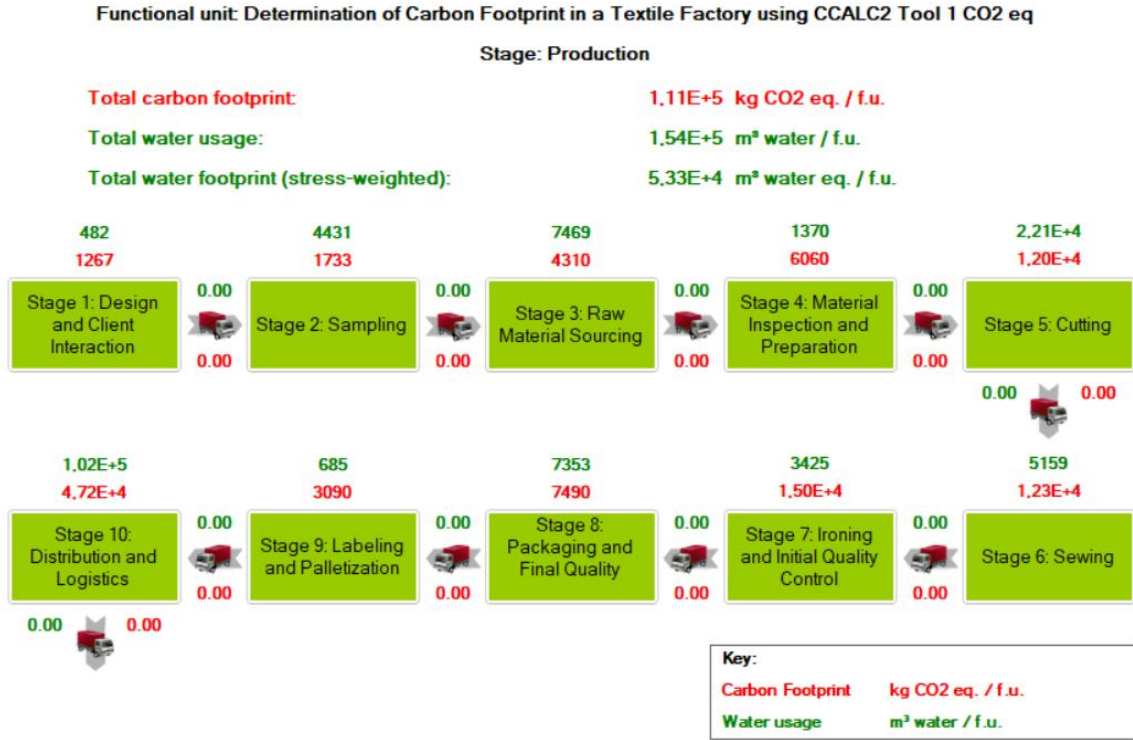
eşdeğeri olarak hesaplandığı açıkça görülmektedir. Bu rakam, işlevsel birim başına sırasıyla 9,48, 20,50 ve 8,67 ton/yıl CO₂ eşdeğeri ile nispeten nominal olan ambalaj, atık ve enerji kaynaklı emisyonları büyük ölçüde geride bırakmaktadır. Toplamda, hammadde aşaması için toplam karbon ayak izi işlevsel birim başına 1369,65 ton/yıl CO₂ eşdeğerine ulaşarak üretim sürecinin başlangıcında önemli bir çevresel etkiye işaret etmektedir. Bu veriler, genel karbon ayak izini azaltmak için üretimin ilk aşamalarında sürdürülebilir uygulamaların ve verimli kaynak yönetiminin önemini vurgulamaktadır.



Şekil 4.5. Hammadde kaynaklı karbon ayak izi grafiği

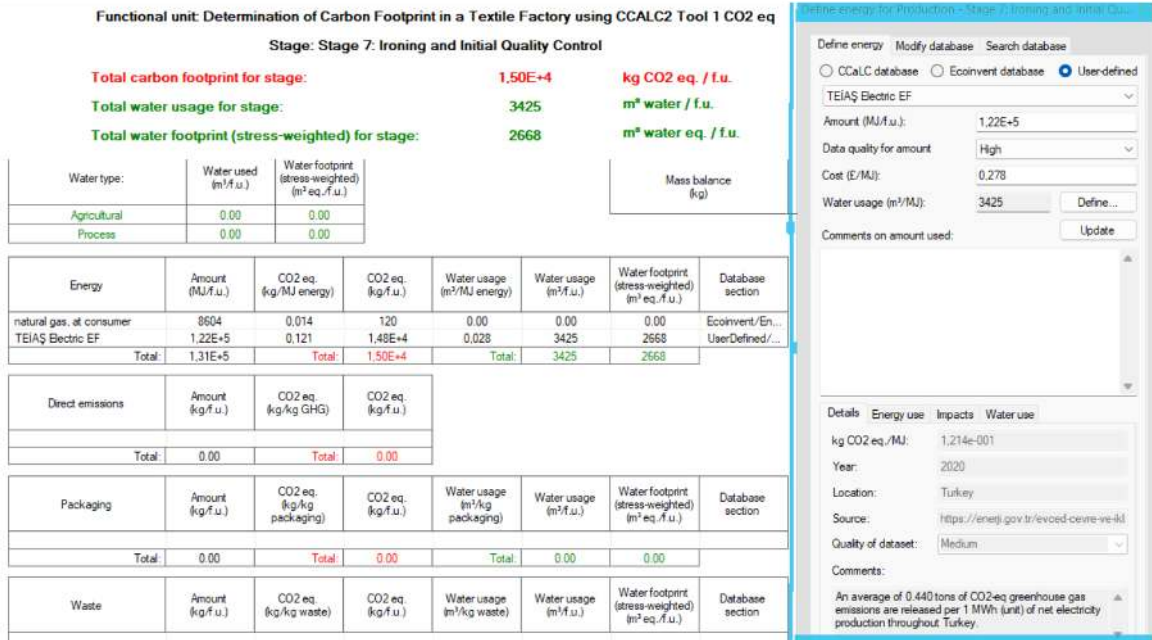
4.2.1. Üretim Aşamaları

Bu şekil 4.6, değerlendirme için CCALC2 aracını kullanarak tekstil fabrikasındaki farklı üretim aşamalarında karbon ayak izi ve su kullanımının gerçek bir görselleştirmesini sunmaktadır. Veriler, üretim aşaması için toplam karbon ayak izinin işlevsel birim başına 1,11E+5 kg CO₂ eşdeğeri, toplam su kullanımının işlevsel birim başına 1,54E+5 m³ ve stres ağırlıklı su ayak izinin işlevsel birim başına 5,33E+4 m³ su eşdeğeri olduğunu göstermektedir. Bu rakamlar, her bir aşamanın getirdiği çevresel yükün bir göstergesidir; bazı aşamalar kayıtlı veri olmadığı için ihmal edilebilir bir etki gösterirken, 'Malzeme Denetimi ve Hazırlığı' ve 'Kesim' aşamaları gibi diğerleri fabrikanın karbon ve su ayak izi üzerinde önemli bir etki göstermektedir. Bu ayrıntılı döküm, tekstil üretim sürecinde çevresel etkiyi azaltmak için hedeflenen stratejileri kolaylaştırır.



Şekil 4.6. Karbon ayak izi ve su kullanımının üretim aşamalarına göre dağılımı

Türkiye elektrik dağıtım kurumu TEİAŞ'tan alınan güncellenmiş enerji verilerini entegre ederek sonuçların mevcut enerji kullanımı ve emisyon standartlarını yansıtmalarını sağlamaktadır.

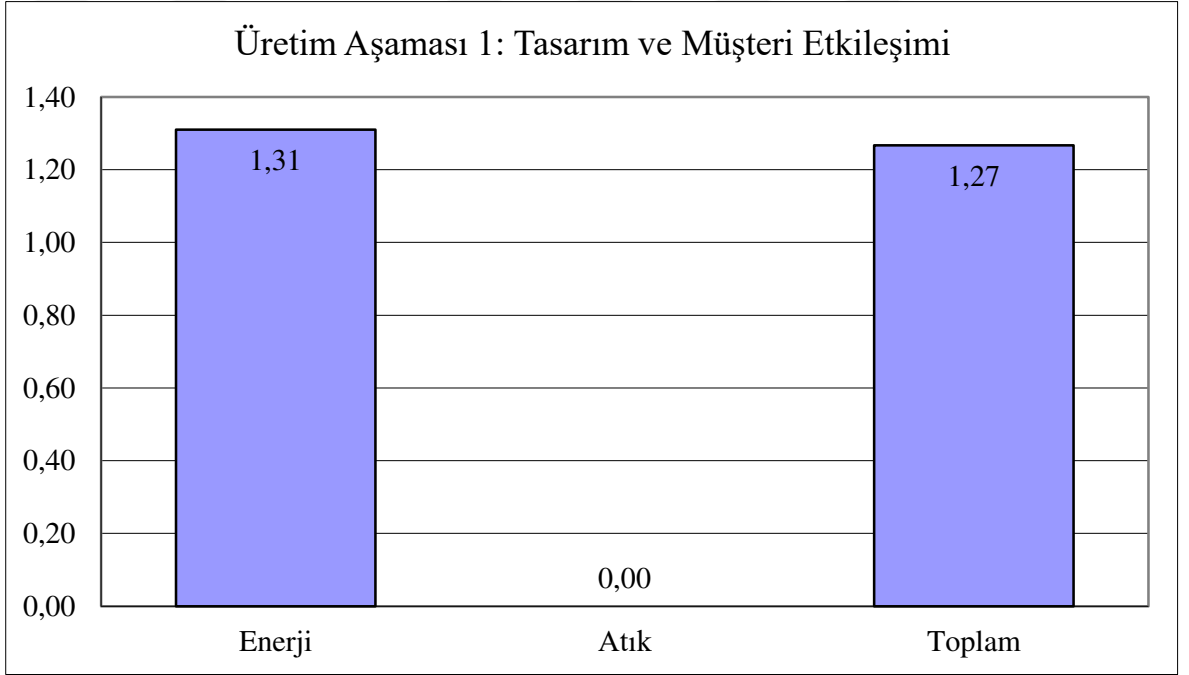


Şekil 4.7. TEİAŞ Kaynaklı Değiştirilmiş Elektrik Verileri

Tablo 4.12 Üretim Aşaması 1

Üretim Aşaması 1: Tasarım ve Müşteri Etkileşimi	
Enerji	1,31
Atık	-0,04
Toplam	1,27

Şekil 4.8, Üretim Aşaması 1 için karbon ayak izini göstermektedir: Enerji tüketiminin karbon emisyonlarını önemli ölçüde belirlediği Tasarım ve Müşteri Etkileşimi, işlevsel birim başına 1,31 ton/yıl CO₂ eşdeğeri olarak kaydedilmiştir. Bu aşamada doğrudan atık emisyonları görülmemesine rağmen, toplam karbon ayak izi işlevsel birim başına 1,27 ton/yıl CO₂ eşdeğerine ulaşarak tekstil üretim sürecindeki ilk tasarım ve etkileşim aşamasının enerji yoğun doğasına işaret etmektedir.



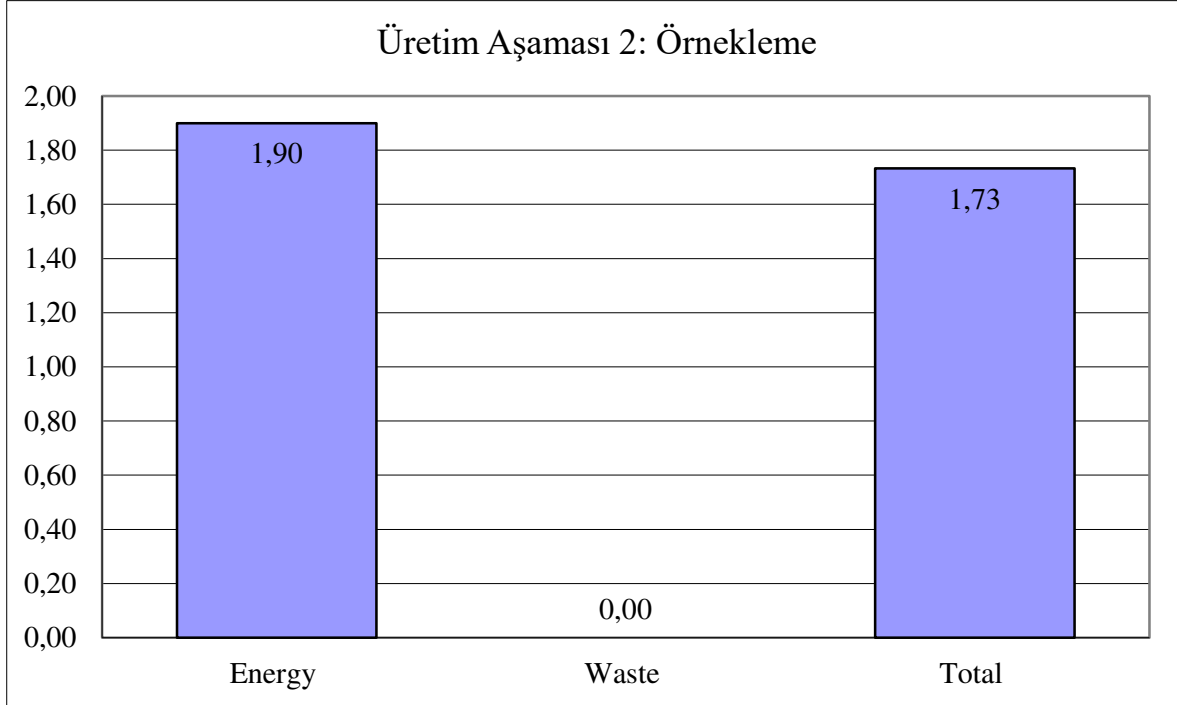
Şekil 4.8. Tasarım ve Müşteri Etkileşimi aşamasının karbon ayak izi analizi

Tablo 4.13. Üretim Aşaması 2

Üretim Aşaması 2: Örnekleme	
Enerji	1,90
Atık	-0,17
Toplam	1,73

Şekil 4.9'de bir tekstil üretim sürecinde Üretim Aşaması 2: Numune Alma'nın karbon ayak izi gösterilmektedir. Enerji kullanımının, işlevsel birim başına 1,90 ton/yıl CO₂ eşdeğerine katkıda bulunarak karbon emisyonlarının baskın kaynağı olduğunu vurgulamaktadır. İlginç bir şekilde, bu aşamadaki atık yönetiminin bazı emisyonları dengelediği ve 0,17 ton/yıl CO₂ eşdeğerinde net bir

azalma sağladığı görülmektedir. Bu örnekleme aşaması için genel karbon ayak izi, işlevsel birim başına 1,73 ton/yıl CO₂ eşdeğeridir ve üretimin bu ön ancak temel aşamasının çevresel etkisini yansıtmaktadır.

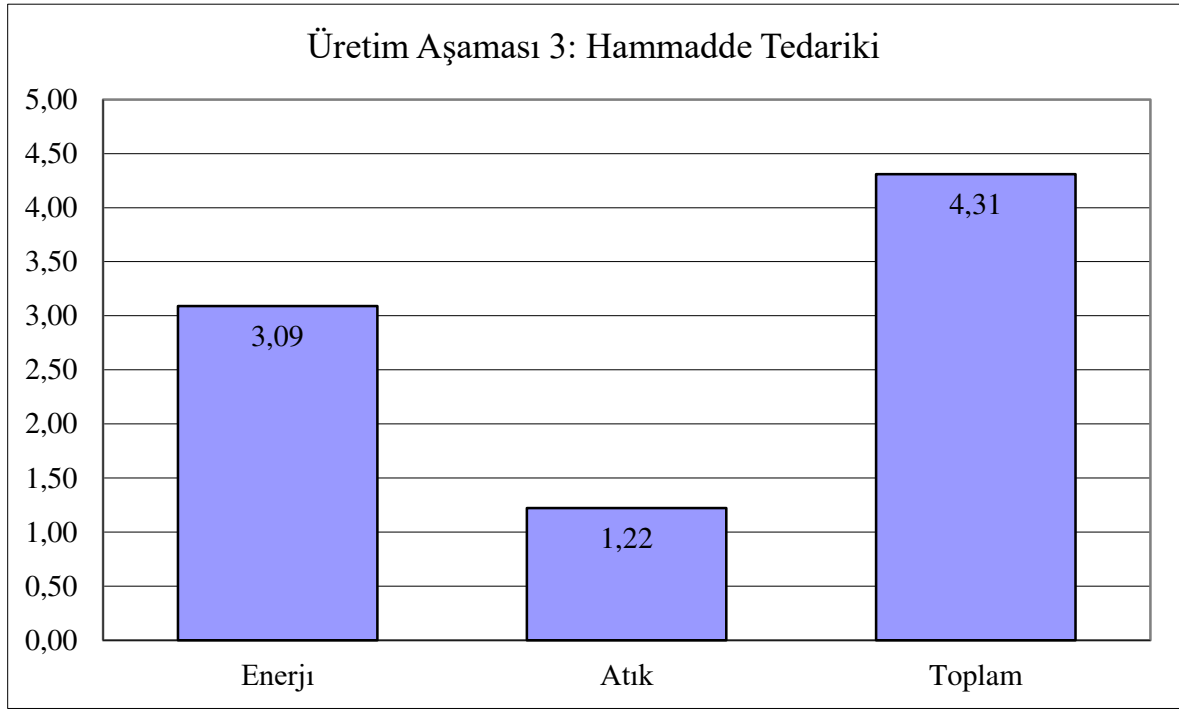


Şekil 4.9. Örnekleme aşaması için karbon ayak izi dağılımı

Tablo 4.14. Üretim Aşaması 3

Üretim Aşaması 3: Hammadde İşleme	
Enerji	3,09
Atık	1,22
Toplam	4,31

Şekil 4.10, Üretim Aşaması 3: Hammadde Tedariki ile ilişkili karbon ayak izini göstermektedir. Malzeme tedariki için gereken enerjinin, işlevsel birim başına 3,09 ton/yıl CO₂ eşdeğeri ile karbon emisyonlarına önemli bir katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bu aşamada ortaya çıkan atıklar 1,22 ton/yıl CO₂ eşdeğeri daha ekler. Hammadde tedariki için toplam karbon ayak izi, işlevsel birim başına 4,31 ton/yıl CO₂ eşdeğeri olup, bu aşamanın çevresel yükünün altını çizmekte ve sürdürülebilir tedarik uygulamalarının önemini vurgulamaktadır.

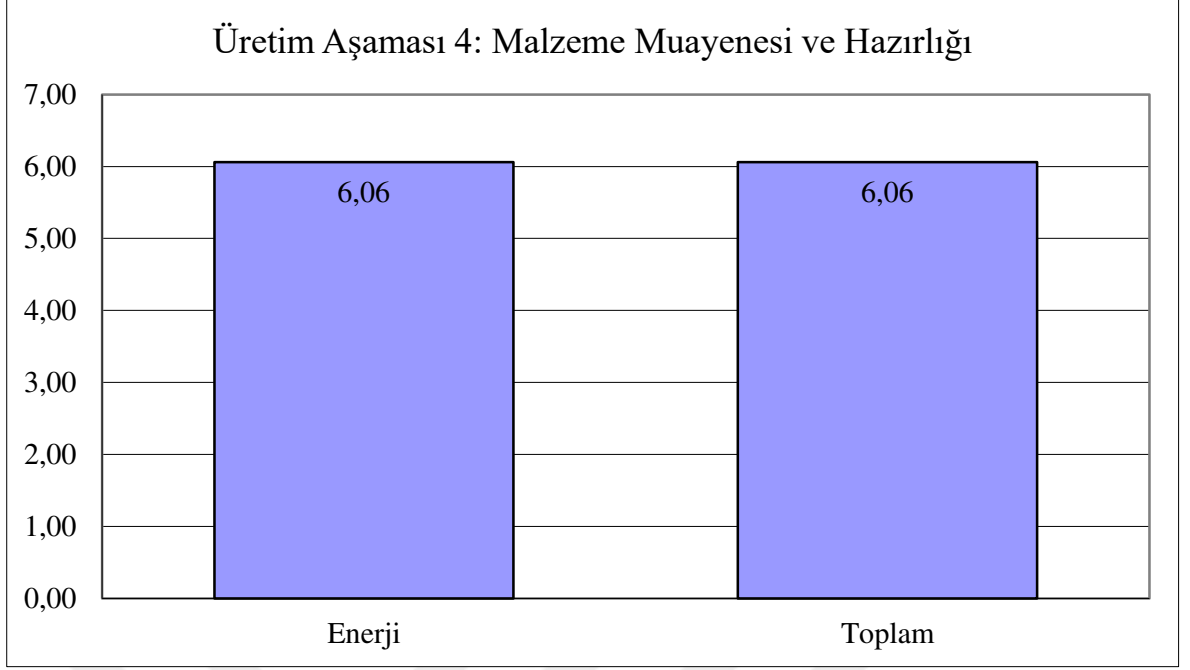


Şekil 4.10. Hammadde işleme

Tablo 4 15. Üretim Aşaması 4

Üretim Aşaması 4: Malzeme Muayenesi ve Hazırlığı	
Enerji	6,06
Toplam	6,06

Şekil 4.11'te Üretim Aşaması 4: Malzeme Kontrolü ve Hazırlığı için karbon ayak izi gösterilmektedir. Bu aşamanın karbon ayak izi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve enerji kullanımının işlevsel birim başına toplam 6,06 ton/yıl CO₂ eşdeğerine katkıda bulunduğu açıktır. Bu rakam, yalnızca enerji tüketiminden kaynaklanan emisyonları temsil etmekte ve bu özel üretim aşamasının önemli çevresel etkisinin altını çizmektedir.

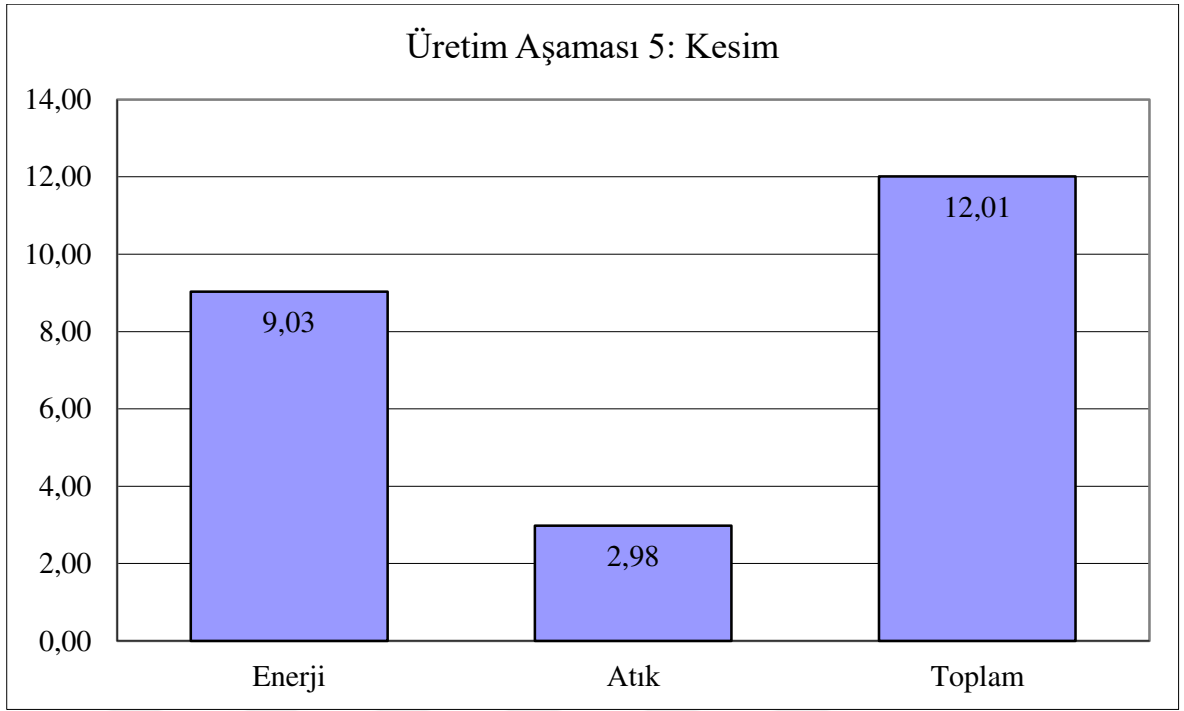


Şekil 4.11. Malzeme Muayene ve Hazırlık aşamasının karbon ayak izi etkisi

Tablo 4.16. Üretim Aşaması 5

Üretim Aşaması 5: Kesim	
Enerji	9,03
Atık	2,98
Toplam	12,01

Şekil 4.12, tekstil üretiminin Kesim aşamasıyla ilişkili karbon emisyonlarını göstermektedir. Enerji tüketimi, işlevsel birim başına 9,03 ton/yıl CO₂ eşdeğeri ile bu aşamada karbon ayak izine en fazla katkıda bulunan unsurdur. Atık yönetimi uygulamaları da 2,98 ton/yıl CO₂ eşdeğeri emisyon ile daha küçük ancak önemli bir paya sahiptir. Kesim aşaması için toplam karbon ayak izi, işlevsel birim başına 12,01 ton/yıl CO₂ eşdeğeridir ve özellikle enerji kullanımında emisyonları azaltmak için optimizasyon stratejileri gerektiren kayda değer bir çevresel etkiye işaret etmektedir.

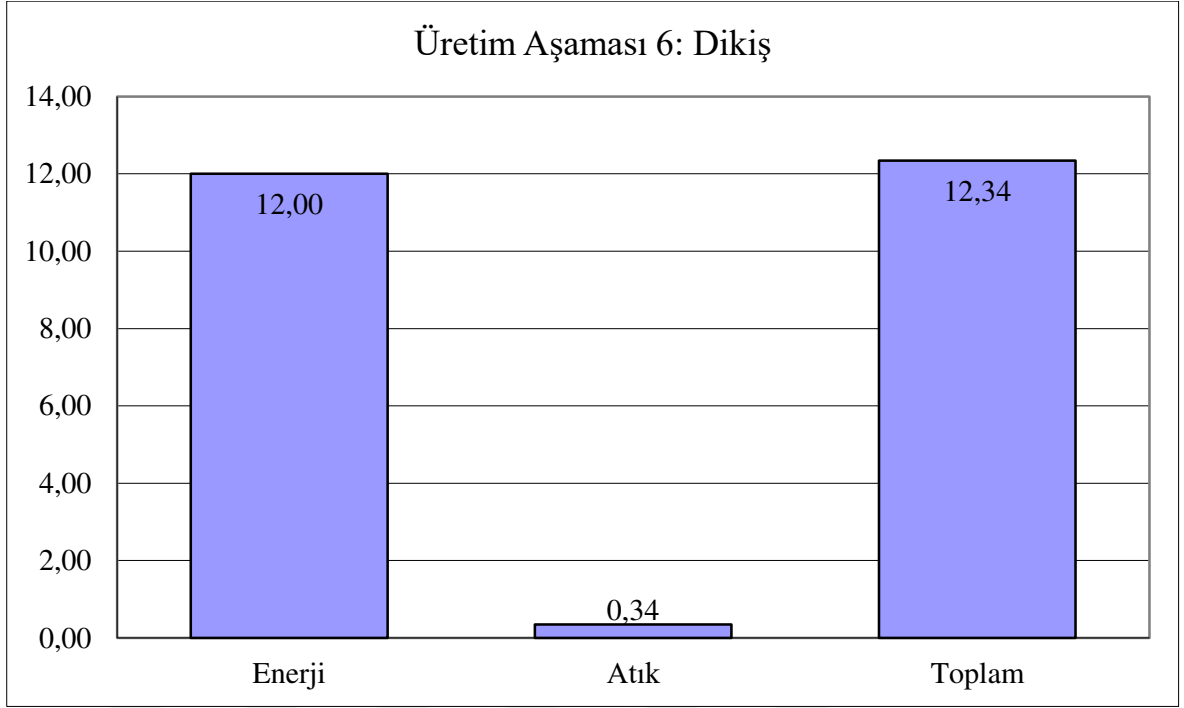


Şekil 4.12. Tekstil üretiminde Kesim aşamasının karbon ayak izi analizi

Tablo 4.17. Üretim Aşaması 6

Üretim Aşaması 6: Dikiş	
Enerji	12,00
Atık	0,34
Toplam	12,34

Verilen Şekil 4.13 tekstil üretiminin Dikim aşamasındaki karbon ayak izini ölçmektedir. Burada da enerji kullanımı, işlevsel birim başına 12,00 ton/yıl CO₂ eşdeğeri üreterek karbon emisyonlarına birincil katkıda bulunmaktadır. Atık süreçlerinin etkisi çok daha düşüktür ve sadece 0,34 ton/yıl CO₂ eşdeğerine katkıda bulunur. Toplamda, Dikiş aşaması işlevsel birim başına 12,34 ton/yıl CO₂ eşdeğerine yol açarak, çevresel etkiyi azaltmak için üretimin bu aşamasında enerji verimliliği ve atık azaltma önlemlerinin önemini altını çizmektedir.

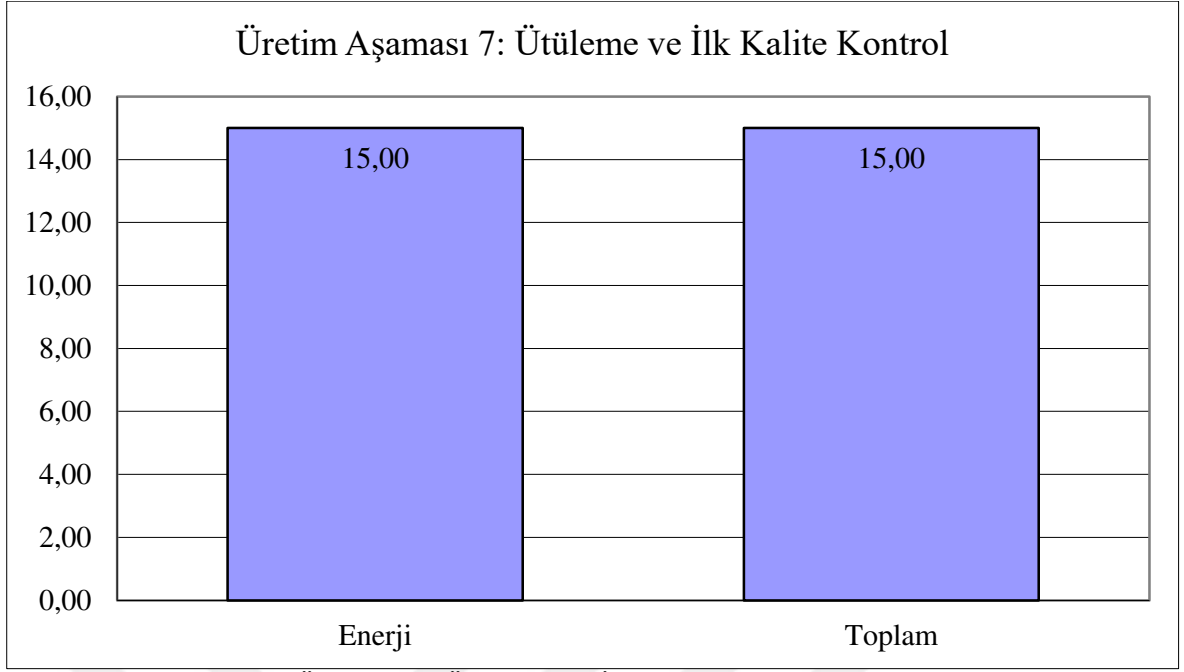


Şekil 4.13. Tekstil üretiminin Dikim aşamasındaki karbon emisyonları

Tablo 4.18. Üretim Aşaması 7

Üretim Aşaması 7: Ütüleme ve İlk Kalite Kontrol		
Enerji	15,00	
Toplam	15,00	

Şekil 4.14, tekstil üretim döngüsü içinde Ütüleme ve İlk Kalite Kontrol aşamasına atfedilen karbon emisyonlarını göstermektedir. Bu aşamadaki enerji tüketimi özellikle yüksektir ve işlevsel birim başına 15,00 ton/yıl CO₂ eşdeğeri ile sonuçlanmaktadır. Bu durum, enerji yoğun ütüleme ve kalite güvence süreçlerinin tekstil üretiminin genel karbon ayak izine önemli ölçüde katkıda bulunduğunu göstermektedir. Veriler, bu aşamada enerji kullanımının optimize edilmesinin, üretim sürecinin karbon emisyonlarının azaltılmasında önemli bir etkiye sahip olabileceğini ima etmektedir

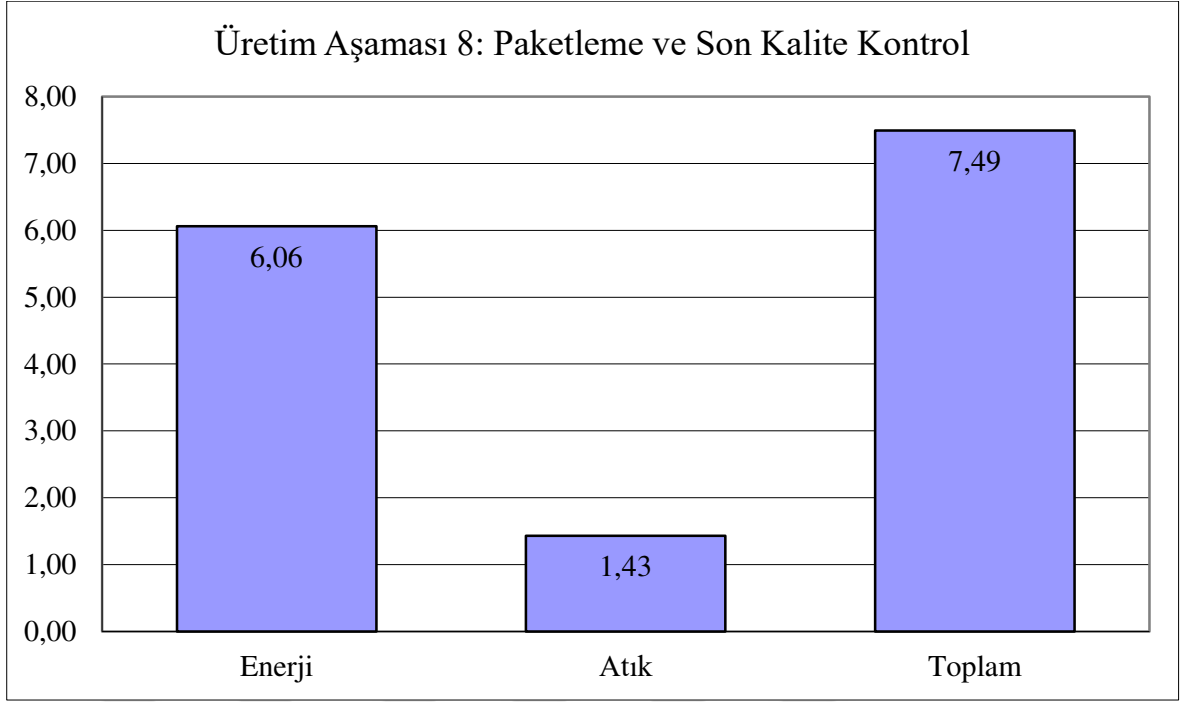


Şekil 4.14. Tekstil Üretiminin Ütöleme ve İlk Kalite Kontrol Aşamasındaki Karbon Emisyonları

Tablo 4.19. Üretim Aşaması 8

Üretim Aşaması 8: Paketleme ve Son Kalite Kontrol	
Enerji	6,06
Atık	1,43
Toplam	7,49

Gösterilen çubuk şekil 4.15, tekstil üretiminin Paketleme ve Nihai Kalite Kontrol aşamasıyla ilişkili karbon ayak izi hakkında bilgi vermektedir. Bu aşamada kullanılan enerjinin işlevsel birim başına 6,06 ton/yıl CO₂ eşdeğerine katkıda bulunduğu, atık yönetimi uygulamalarının ise 1,43 ton/yıl CO₂ eşdeğeri gibi daha düşük ancak kayda değer bir etkiye yol açtığı grafikten açıkça görölmektedir. Bu aşama için toplam karbon emisyonu, işlevsel birim başına 7,49 ton/yıl CO₂ eşdeğerine ulaşarak önemli bir çevresel etkiye işaret etmektedir. Bu nedenle bu aşama, özellikle enerji tüketimi ve atık işleme süreçlerinin optimize edilmesinde karbon azaltma stratejilerinin uygulanması için kritik bir noktayı temsil etmektedir.

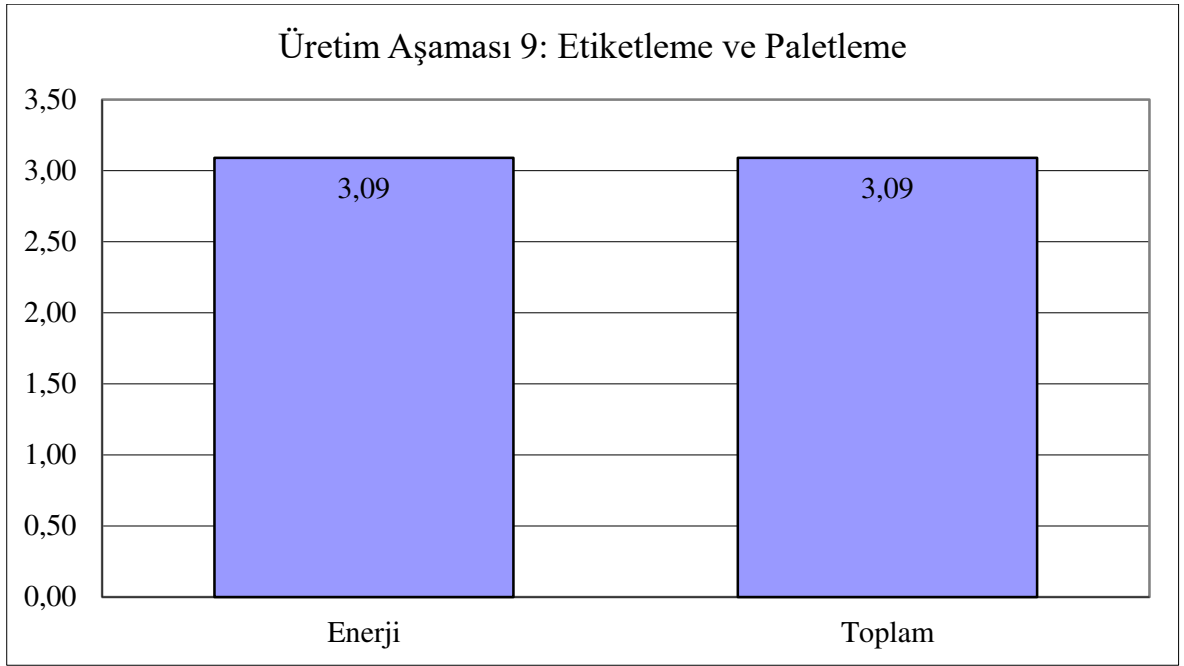


Şekil 4.15. Ambalajlama ve Son Kalite Kontrol Aşamasındaki Karbon Ayak İzi Dağılımı

Tablo 4.20. Üretim Aşaması 9

Üretim Aşaması 9: Etiketleme ve Paletleme	
Enerji	3,09
Toplam	3,09

Şekil 4.16, tekstil üretiminin Etiketleme ve Paletleme aşamasıyla ilişkili karbon ayak izini göstermektedir. Bu aşama, atıklardan kaynaklanan ek emisyonlar olmaksızın, yalnızca enerji kullanımından kaynaklanan işlevsel birim başına 3,09 ton/yıl CO₂ eşdeğeri karbon emisyonuna neden olmaktadır. Grafik, üretim sürecinin genel çevresel etkisinde bu aşamanın önemini vurgulamakta ve enerji kullanımının karbon ayak izi azaltma çabaları için kilit bir alan olduğunu göstermektedir.

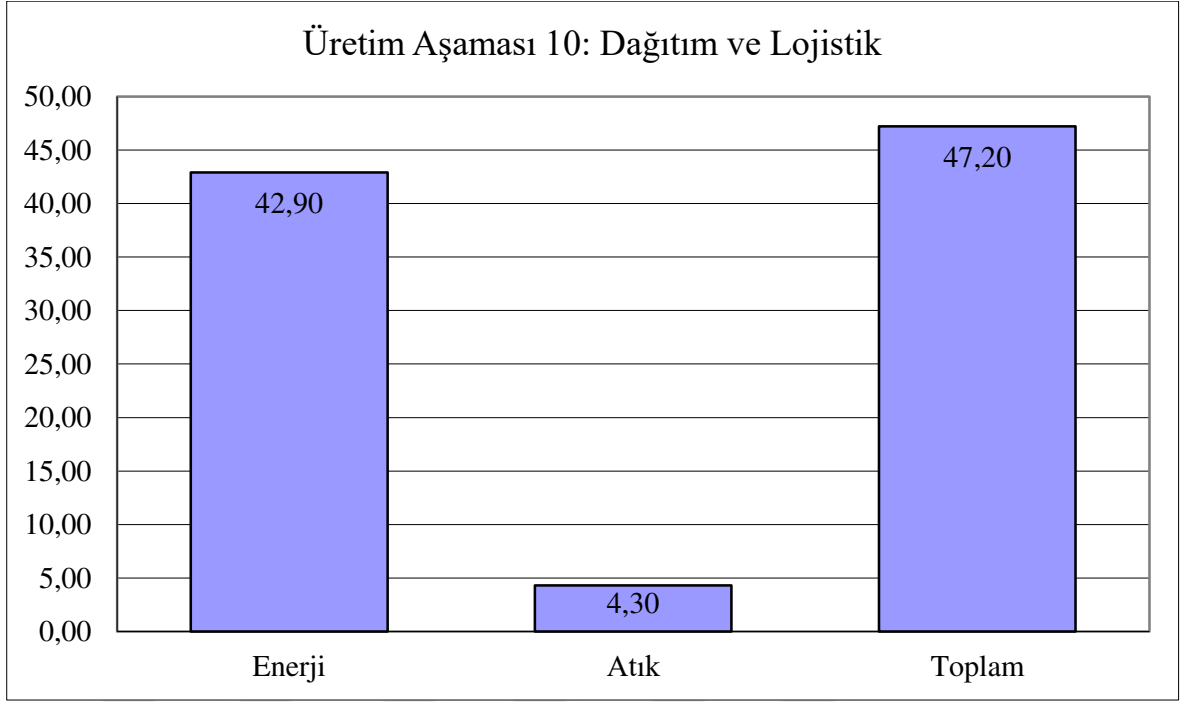


Şekil 4.16. Etiketleme ve Paletleme Aşamasındaki Karbon Emisyonları

Tablo 4.21. Üretim Aşaması 10

Üretim Aşaması 10: Dağıtım ve Lojistik	
Enerji	42,90
Atık	4,30
Toplam	47,20

Şekil 4.17'deki çubuk grafik, özellikle enerji tüketimi ve atıklara odaklanarak üretimin Dağıtım ve Lojistik aşamasına ilişkin karbon emisyonlarını detaylandırmaktadır. Enerji ile ilgili emisyonlar, işlevsel birim başına 42,90 ton/yıl CO₂ eşdeğeri ile oldukça yüksektir ve enerji kullanımının bu aşamadaki karbon ayak izi üzerindeki büyük etkisine işaret etmektedir. Atık, işlevsel birim başına 4,30 ton/yıl CO₂ eşdeğeri ile nispeten daha az katkıda bulunur ve bu aşama için işlevsel birim başına toplam 47,20 ton/yıl CO₂ eşdeğeri emisyonu neden olur. Bu rakamlar, tekstil üretiminde dağıtım ve lojistiğin önemli çevresel etkisinin altını çizmekte ve karbon yönetimi ve sürdürülebilirlik iyileştirmeleri için kritik bir alanı vurgulamaktadır.



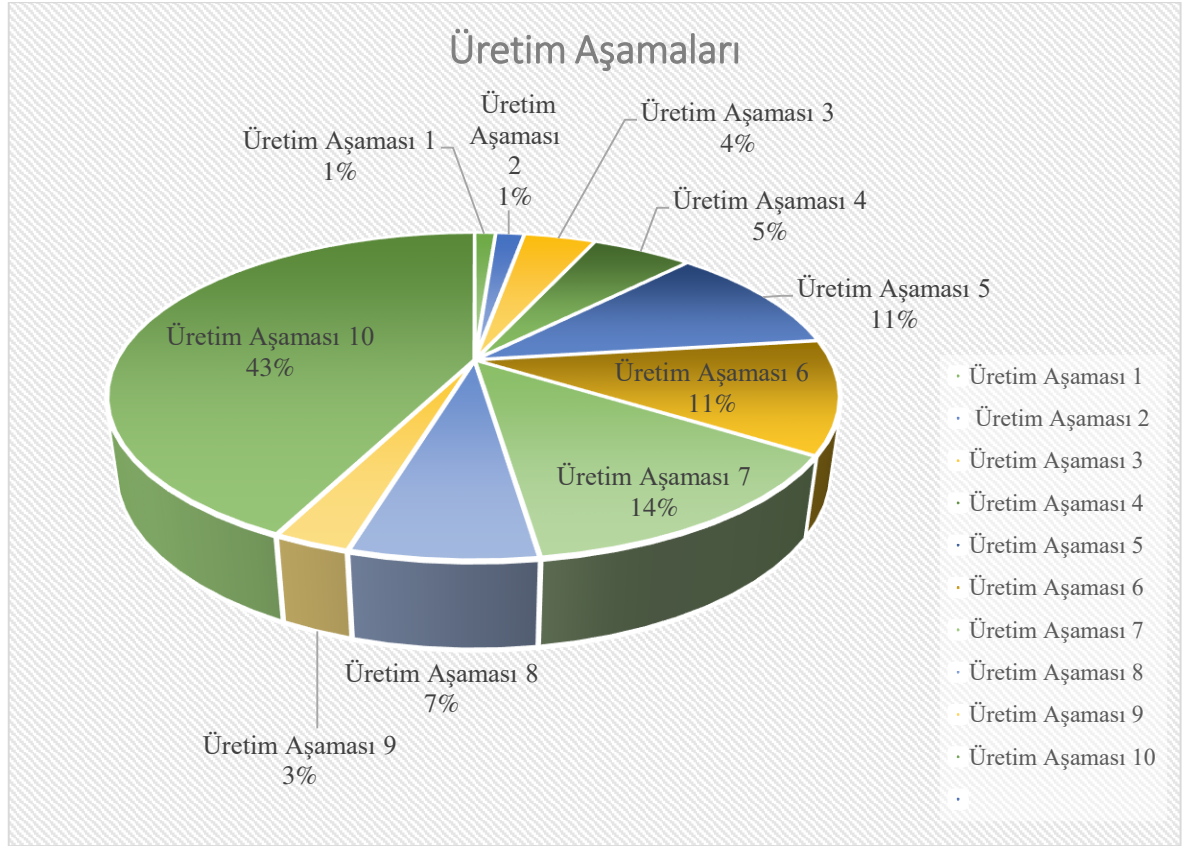
Şekil 4.17. Dağıtım ve Lojistiğin Karbon Ayak İzi: Enerji ve Atık Etkisinin Karşılaştırılması.

Tablo 4.22'de verilen veriler ve şekil 4.18'deki grafik, bir yüksek lisans tezi analizinin bir parçası olarak, özellikle tekstil endüstrisinde, bir üretim sürecindeki çeşitli üretim aşamalarında CO₂ emisyonlarının dağılımını göstermektedir. En büyük emisyon payı 47,20 ton/yıl ile 'Dağıtım ve Lojistik'ten gelmektedir ve toplam emisyonların %50'sini oluşturmaktadır. Bunu 15,00 ton/yıl (%16) ile muhtemelen önemli miktarda enerji kullanımı içeren 'Ütüleme ve İlk Kalite Kontrol' takip etmektedir. 'Dikiş' ve 'Kesim' aşamaları da sırasıyla 12,34 ton/yıl (%13) ve 12,01 ton/yıl (%13) ile kayda değer katkıda bulunan aşamalardır.

Tablo 4.22. Fabrikanın Üretim Aşamaları ve CO₂ emisyonu

Üretim Aşamaları	
Üretim Aşaması 1: Tasarım ve Müşteri Etkileşimi	1,27
Üretim Aşaması 2: Örnekleme	1,73
Üretim Aşaması 3: Hammadde Tedariki	4,31
Üretim Aşaması 4: Malzeme Muayenesi ve Hazırlığı	6,06
Üretim Aşaması 5: Kesim	12,01
Üretim Aşaması 6: Dikiş	12,34
Üretim Aşaması 7: Ütüleme ve İlk Kalite Kontrol	15,00
Üretim Aşaması 8: Paketleme ve Son Kalite Kontrol	7,49
Üretim Aşaması 9: Etiketleme ve Paletleme	3,09
Üretim Aşaması 10: Dağıtım ve Lojistik	47,20
Toplam	110,50

'Malzeme Denetimi ve Hazırlığı', 'Paketleme ve Nihai Kalite Kontrol', 'Hammadde Tedariki', 'Etiketleme ve Paletleme', 'Numune Alma' ve 'Tasarım ve Müşteri Etkileşimi' dahil olmak üzere diğer aşamalar, her biri %1 ila %7 arasında değişen emisyonların toplamda %21'ine katkıda bulunmaktadır. Bu dağılım, özellikle lojistik ve kalite kontrol süreçlerine odaklanarak karbon ayak izini azaltma çabalarının önceliklendirilebileceği kilit alanları vurgulamaktadır. Veriler, üretim sürecinin genel sürdürülebilirliğini önemli ölçüde artıracak, üretimin en etkili aşamalarında emisyonları azaltmaya yönelik stratejilere duyulan ihtiyacın altını çizmektedir.



Şekil 4.18: Üretim Aşamalarına Göre CO₂ emisyonlarının Payı

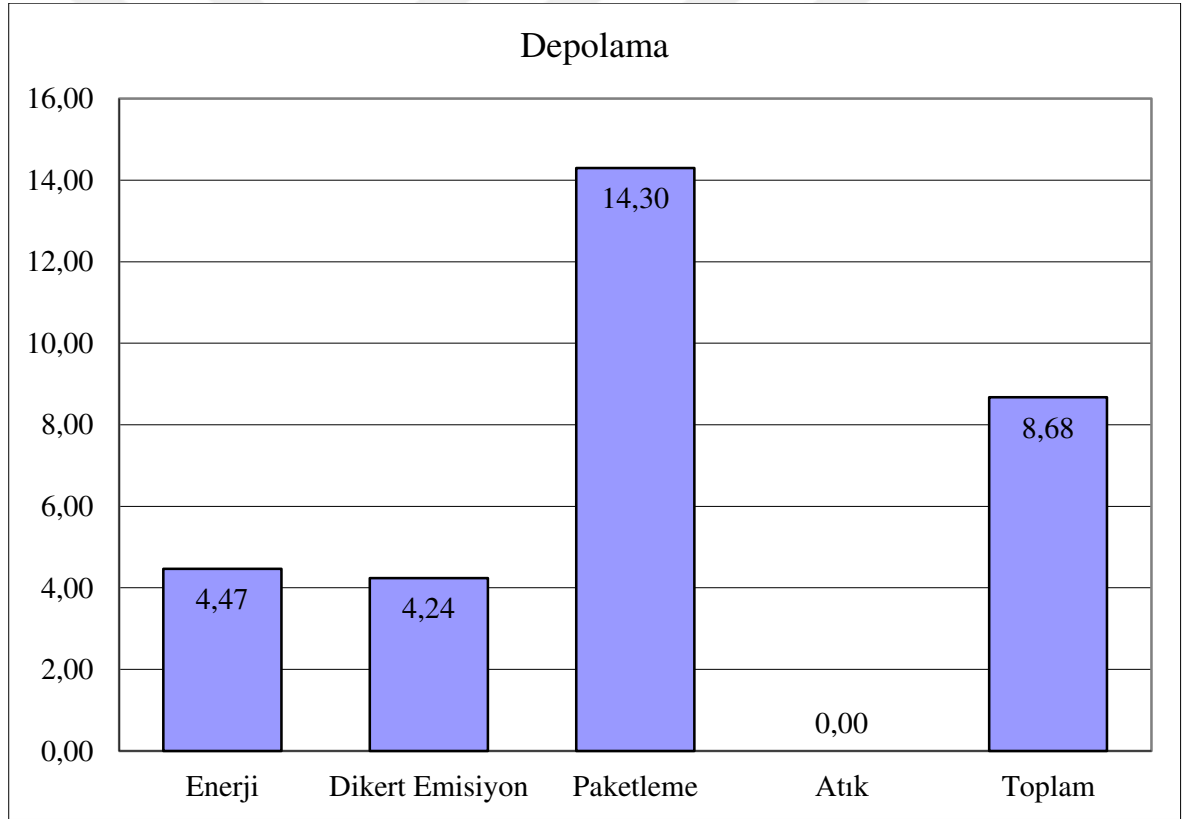
4.3. Depolama Aşaması Karbon Ayak İzi:

Tablo 4.23. Depolamadan Kaynaklanan CO₂ emisyonu

Depolama	
Enerji	4,47
Doğrudan emisyonlar	4,24
Paketleme	14,30
Atık	-0,03
Toplam	8,68

Şekil 4.19, fabrika ortamında depolama aşamasının karbon ayak izini çeşitli kategorilere ayırarak sunmaktadır: Enerji, Doğrudan emisyonlar, Paketleme ve Atık. Her kategori, işlevsel birim başına ton/yıl CO₂ eşdeğeri cinsinden ölçülmüştür.

Enerji kullanımı, tüketilen elektrik veya yakıt enerjisiyle ilgili emisyonları göstererek 4,47 ton/yıl katkıda bulunur. Doğrudan emisyonlar 4,24 ton/yıl dir ve muhtemelen makine veya araç kullanımından kaynaklanan yerinde üretilen emisyonları kapsamaktadır. Ambalajlama, 14,30 ton/yıl ile depolama sırasında kullanılan ambalaj malzemelerinin üretiminden kaynaklanan emisyonları yansıtan önemli bir etkiye işaret etmektedir. Atık emisyonları negatiftir ve 0,02 ton/yıl CO₂ eşdeğerinde bir azalma veya dengelemeye işaret eder; bu da geri dönüşüm veya verimli atık yönetimi uygulamaları anlamına gelebilir. Depolama aşamasının toplam ayak izi 8,68 ton/yıl CO₂ eşdeğerine ulaşmakta ve depolama sürecinde yukarıda belirtilen tüm faaliyetlerden kaynaklanan emisyonları bir araya getirmektedir.



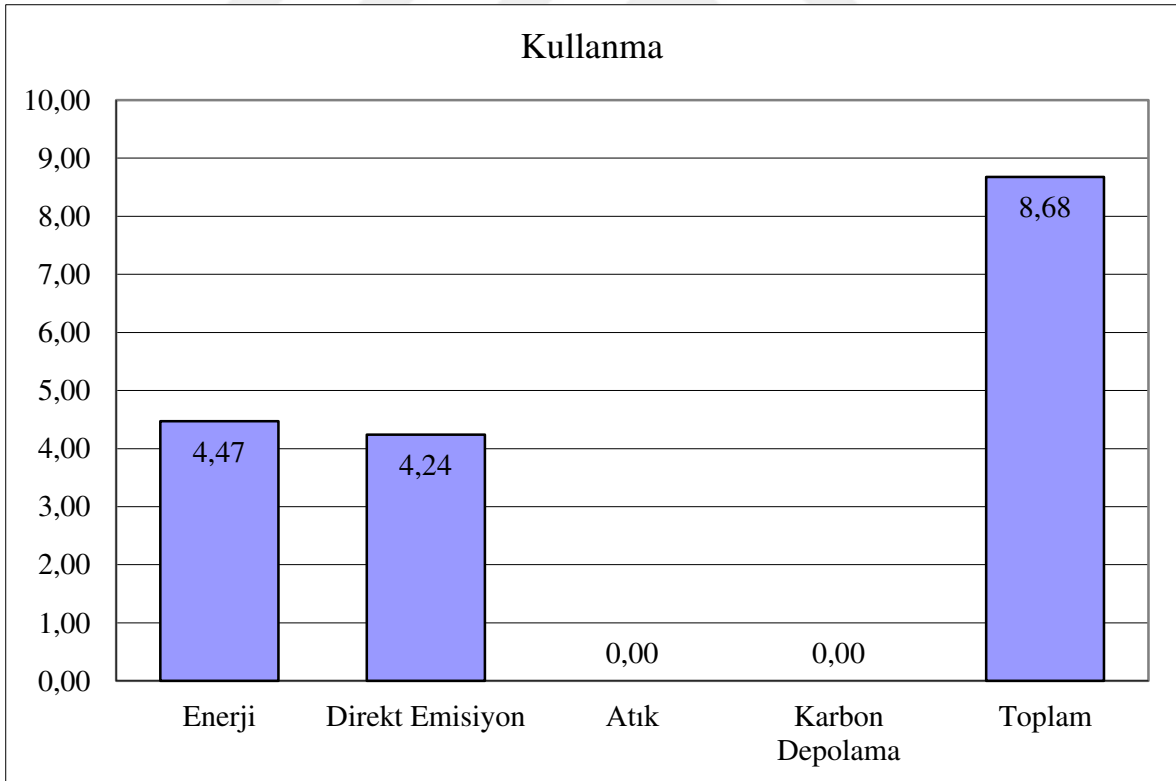
Şekil 4.19. Depolama Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Tablo 4.24. Fabrika Genel Kullanım Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Kullanım	
Enerji	4,47
Doğrudan emisyonlar	4,24
Atık	-0,03
Karbon depolama	0,00
Toplam	8,68

Şekil 4.20'de bir ürünün kullanım aşamasıyla ilişkili karbon ayak izi, işlevsel birim başına ton/yıl CO₂ eşdeğeri olarak ifade edilmektedir. Değerlendirilen kategoriler arasında 'Enerji', 'Doğrudan emisyonlar' ve 'Karbon depolama' yer alır ve sonuçta 'Toplam' ayak izi değeri elde edilir.

Enerji tüketimi 4,47 ton/yıl CO₂e olarak gösterilmiştir, bu da muhtemelen ürünün kullanımı için gereken elektrik veya yakıttan kaynaklanan emisyonları göstermektedir. Doğrudan emisyonlar 4,24 ton/yıl CO₂e olarak gösterilmiştir, bu da ürünün işletme aşamasında kendisinden kaynaklanan emisyonları içerebilir. Özellikle, 'Karbon depolama' sıfırdır, bu da kullanım aşamasında herhangi bir karbon tutma işleminin gerçekleşmediğini göstermektedir. kullanım aşaması için toplam karbon ayak izi, ölçülen kategorilerin toplamı olan 8,68 ton/yıl CO₂e olarak ölçülmüştür.

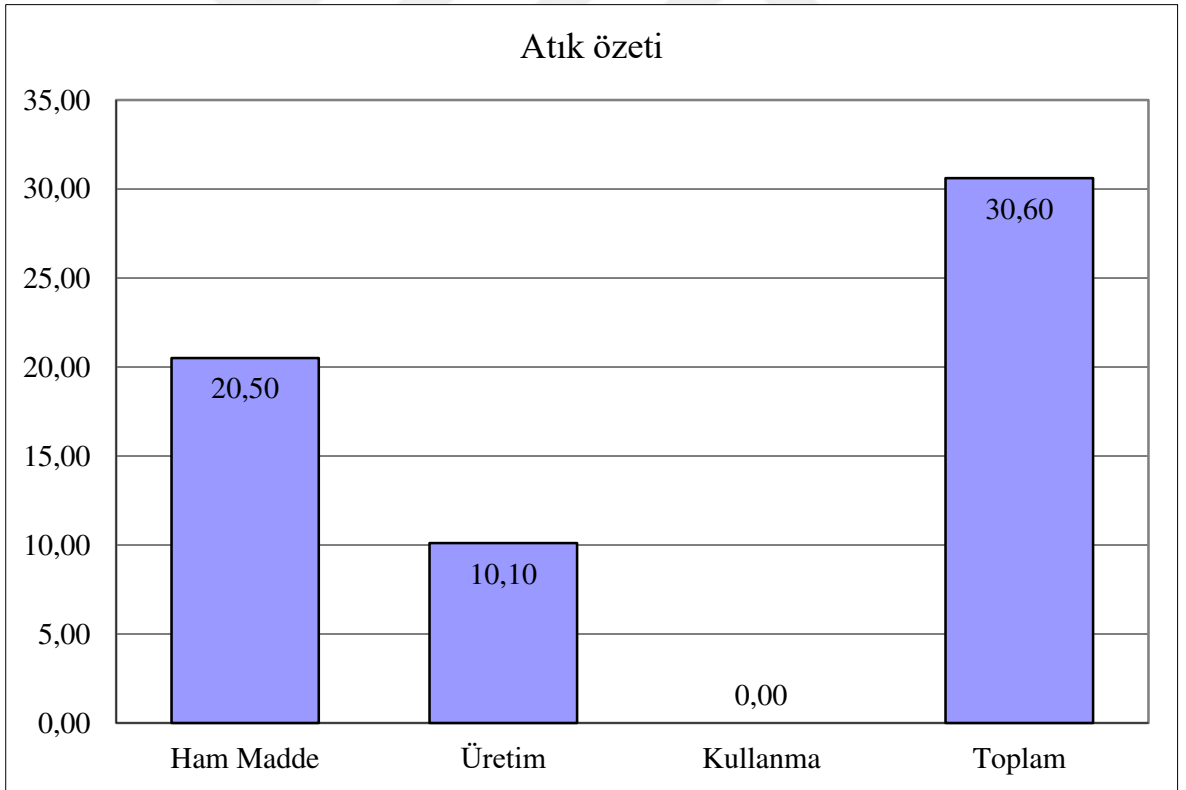


Şekil 4.20. Fabrika Genel Kullanım Aşaması Karbon Ayak İzi

Tablo 4.25. Fabrikanın Atık Özeti

Atık özeti	
Hammaddeler	20,50
Üretim	10,10
Kullanım	-0,03
Toplam	30,60

Şekil 4.21'teki çubuk grafik, bir fabrikanın faaliyetlerinin farklı aşamalarında ortaya çıkan atıklara atfedilen karbon ayak izini ölçmektedir. Hammadde atıklarının 20,50 ton/yıl CO₂ eşdeğerine katkıda bulunduğunu ve bunun toplam atık emisyonlarının önemli bir bölümünü oluşturduğunu göstermektedir. Üretim atıkları ise 10,10 ton/yıl CO₂ eşdeğerine karşılık gelmektedir. İlginç bir şekilde, -0,03-ton CO₂e negatif emisyon değeri vardır, bu da emisyonların küçük bir kısmını dengeleyen atık geri kazanımı veya geri dönüşüm uygulamalarına işaret etmektedir. Atıklardan kaynaklanan toplam karbon ayak izi 30,60-ton CO₂ eşdeğeridir ve bu da fabrikanın genel çevresel etkisinin önemli bir bileşenidir. Bu veriler, atık yönetimi iyileştirmelerinin fabrikanın karbon ayak izinde önemli azalmalara yol açabileceği kritik alanları vurgulamaktadır.

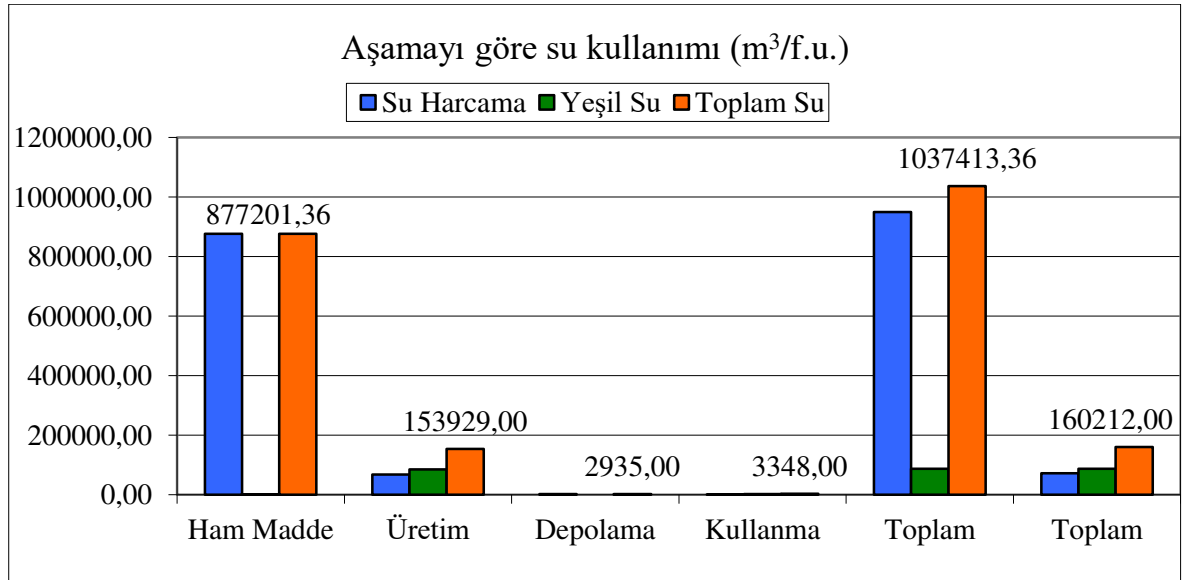


Şekil 4.21. Atıklardan Oluşan Karbon Ayak İzi

Tablo 4.26. Su Ayak İzi Tablosu

Aşamaya göre su kullanımı (m ³ /f.u.)	Aşamaya göre su kullanımı (m ³ /f.u.)	Yeşil su	Toplam su
Hammaddeler	877242,88	58,81	877201,36
Üretim	68386,22	85584,20	153929,00
Depolama	2935,40	0,00	2935,00
Kullanım	1308,47	2050,00	3348,00
Toplam f.u.	949872,96	87693,01	1037413,36
Toplam dahil. Yan ürünler	72630,08	87634,20	160212,00

Şekil 4.22, CCALC2 ve Ecoinvent veri tabanlarından elde edilen bir tekstil fabrikası için su ayak izini temsil etmektedir ve büyük ölçüde hammadde üretimi ve elektrik üretiminin yoğun su talepleri nedeniyle oldukça yüksektir. Veriler, hammadde üretiminin işlevsel birim başına 877.201,36 m³ ile en büyük su hacmini tükettiğini göstermektedir. Bu önemli kullanım, doğal liflerin yetiştirilmesi veya sentetik malzemelerin işlenmesi gibi önemli miktarda su girdisi gerektiren süreçlere atfedilmektedir. Ayrıca, enerji santralleri soğutma ve buhar üretimi için genellikle büyük miktarlarda su kullandığından, üretim faaliyetlerine güç sağlamada kritik bir bileşen olan elektrik üretimi de önemli bir su ayak izine neden olmaktadır.



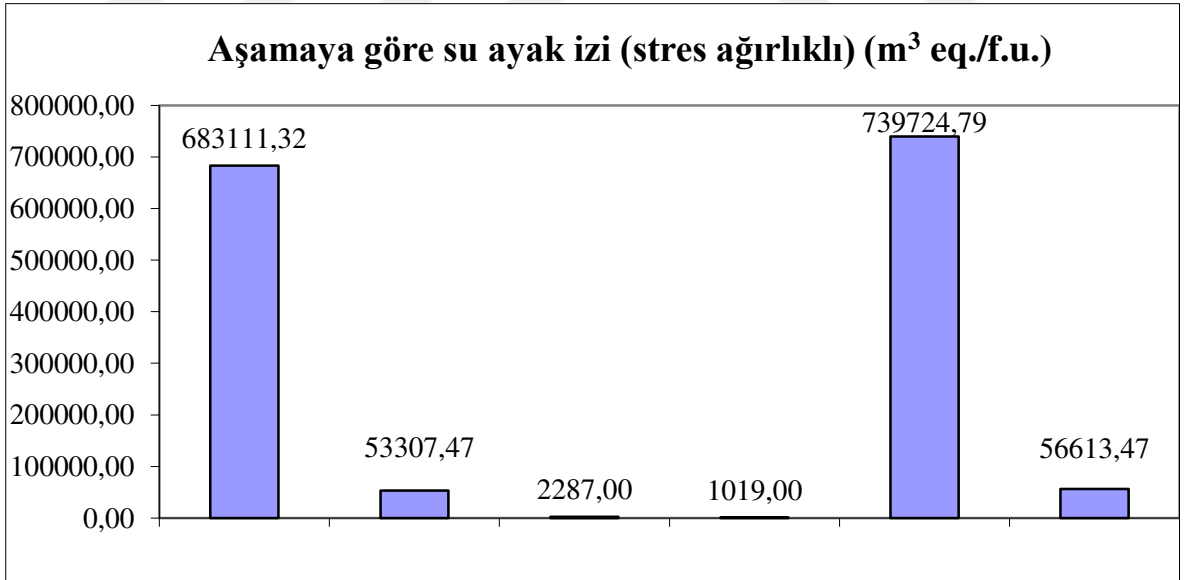
Şekil 4.22. Aşamalara Göre Su Karbon Ayak İzi

Su Ayak İzi Stres Ağırlıklı veriler aşağıda tablo 4.27 de verilmiştir.

Tablo 4.27. Su Ayak İzi Stres Ağırlıklı

Aşamaya göre su kullanımı (m ³ /f.u.)	Aşamaya göre su ayak izi (stres ağırlıklı) (m ³ eq./f.u.)
Hammaddeler	683111,32
Üretim	53307,47
Depolama	2287,00
Kullanım	1019,00
Toplam f.u.	739724,79

Grafik 4.23, aşamalar arasında önemli farklılıklar gösteren tekstil üretiminin su ayak izi analizini sunmaktadır. Hammadde aşaması, işlevsel birim başına yaklaşık 683.111 metreküp eşdeğerinde yüksek bir stres ağırlıklı su ayak izi kaydetmektedir; bu da muhtemelen malzeme işleme veya tarımsal girdilerden kaynaklanan yoğun su kullanımının bir göstergesidir. Buna karşılık, kullanım aşaması yaklaşık 1.019 m³ eşdeğer/f.u. ile kaydedilen en düşük değere sahiptir ve ürünün kullanımı sırasında minimum su stresini yansıtmaktadır. Genel olarak, yan ürünler de dahil olmak üzere toplam su ayak izi yaklaşık 739.725 m³ eq./f.u.'ya ulaşmaktadır ki bu da benzer üretim aşamaları için tipik su kullanım rakamlarından oldukça yüksektir ve tekstil endüstrisinde su kullanımı optimizasyonuna duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.



Şekil 4.23. Stres ağırlıklı Su Ayak İzi

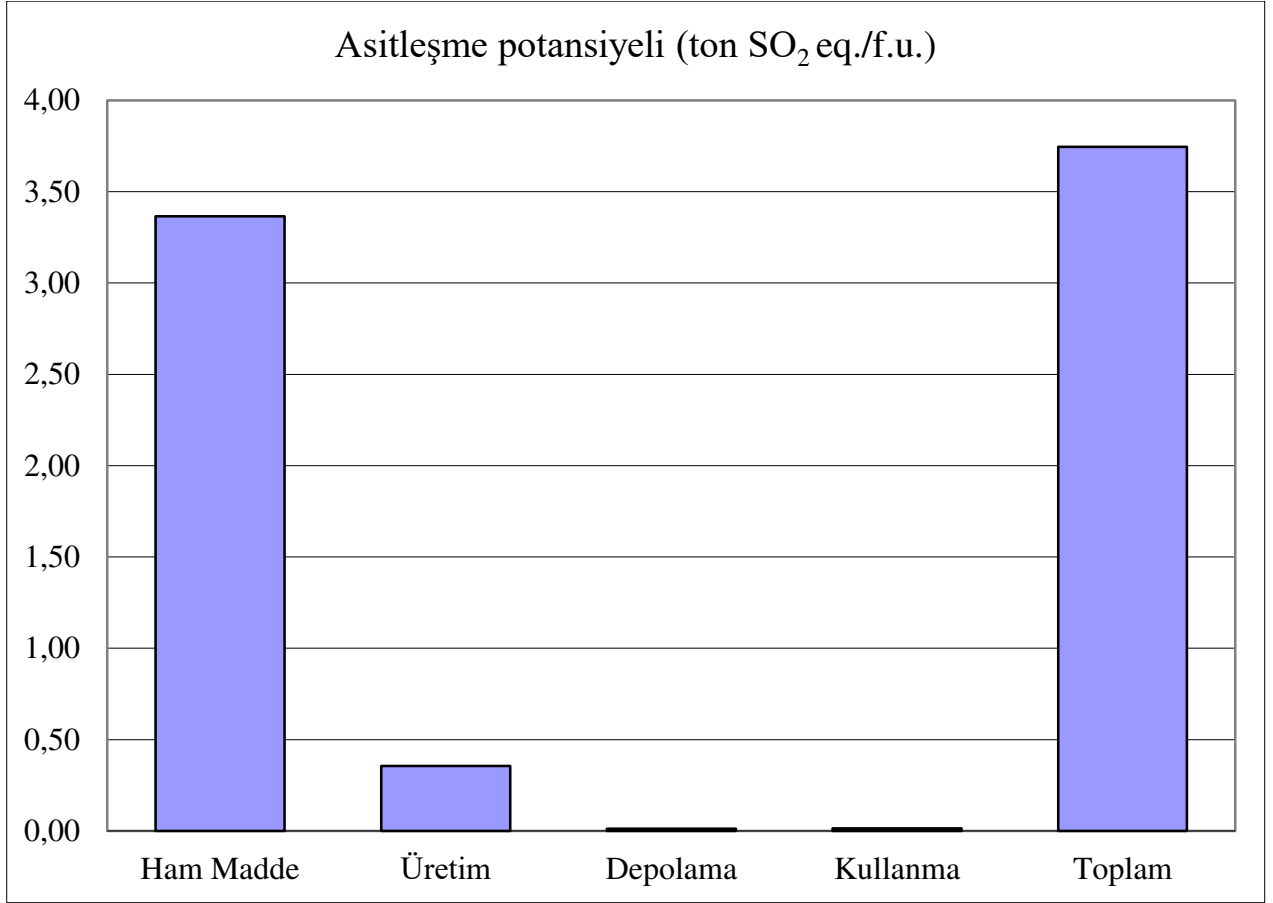
Çevresel Etki verileri veriler aşağıda tablo 4.28 de verilmiştir

Tablo 4.28. Çevresel Etki verileri

Çevresel etkiler:	Hammadde	Üretim	Depolama	Kullanım	Toplam f.u.
Karbon ayak izi (ton/yıl CO ₂ eq./f.u.)	1369,65	110,50	25,70	8,68	1514,53
Asitleşme potansiyeli (ton/yıl SO ₂ eq./f.u.)	3,36	0,36	0,01	0,01	3,74
Ötrofikasyon potansiyeli (ton/yıl PO ₄ eq./f.u.)	0,78	0,09	0,00	0,00	0,87
Ozon tabakası incelme potansiyeli (ton/yıl R11 eq./f.u.)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fotokimyasal duman potansiyeli (ton/yıl C ₂ H ₄ eq./f.u.)	0,16	0,01	0,00	0,00	0,17
İnsan toksisite potansiyeli (ton/yıl DCB eq./f.u.)	250,89	5,28	0,36	0,35	256,88

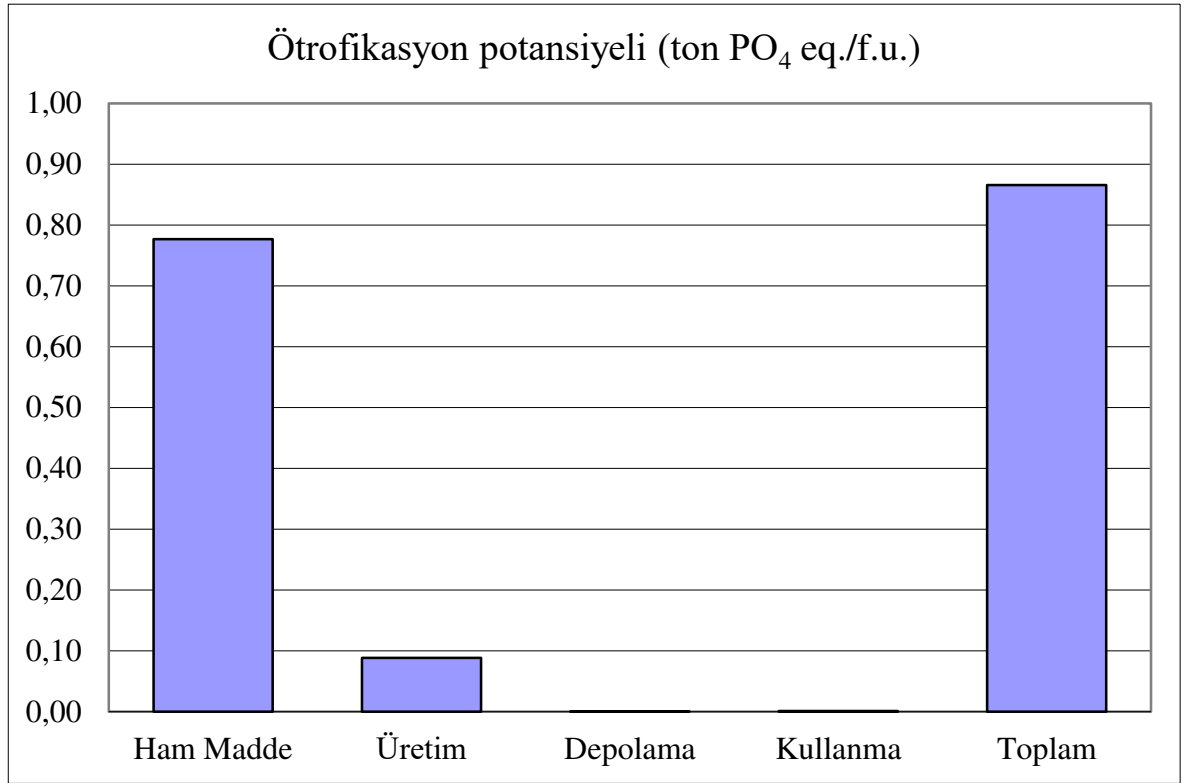
Şekil 4.24'daki grafik ve beraberindeki veriler, üretimin çeşitli aşamalarındaki asitleşme potansiyelini temsil etmekte ve her bir aşamanın genel çevresel etkiye katkısını göstermektedir. Asitleşme potansiyeli, toprak ve su kalitesi ile biyolojik çeşitliliği etkileyen asit yağmurlarına yol açabilecek emisyonlarla ilişkili olduğundan çevresel etki değerlendirmelerinde kritik bir ölçüttür.

Bu veriler bağlamında, hammadde aşaması 3,36 ton/yıl SO₂ eşdeğeri / f.u. ile önemli bir asitleşme potansiyeline sahiptir ve bu da hammaddelerin tedariki ve işlenmesinin önemli çevresel etkileri olduğunu göstermektedir. Muhtemelen üretimin tüm aşamalarını kapsayan toplam f.u., 3,74 ton/yıl SO₂ eşdeğeri/f.u. ile en yüksek asitleşme potansiyeline katkıda bulunmaktadır. Bu, tüm üretim aşamaları toplu olarak değerlendirildiğinde, çevresel etkinin tek başına hammadde aşamasından marjinal olarak daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.24. Çevresel Etki: Asitleşme Potansiyeli

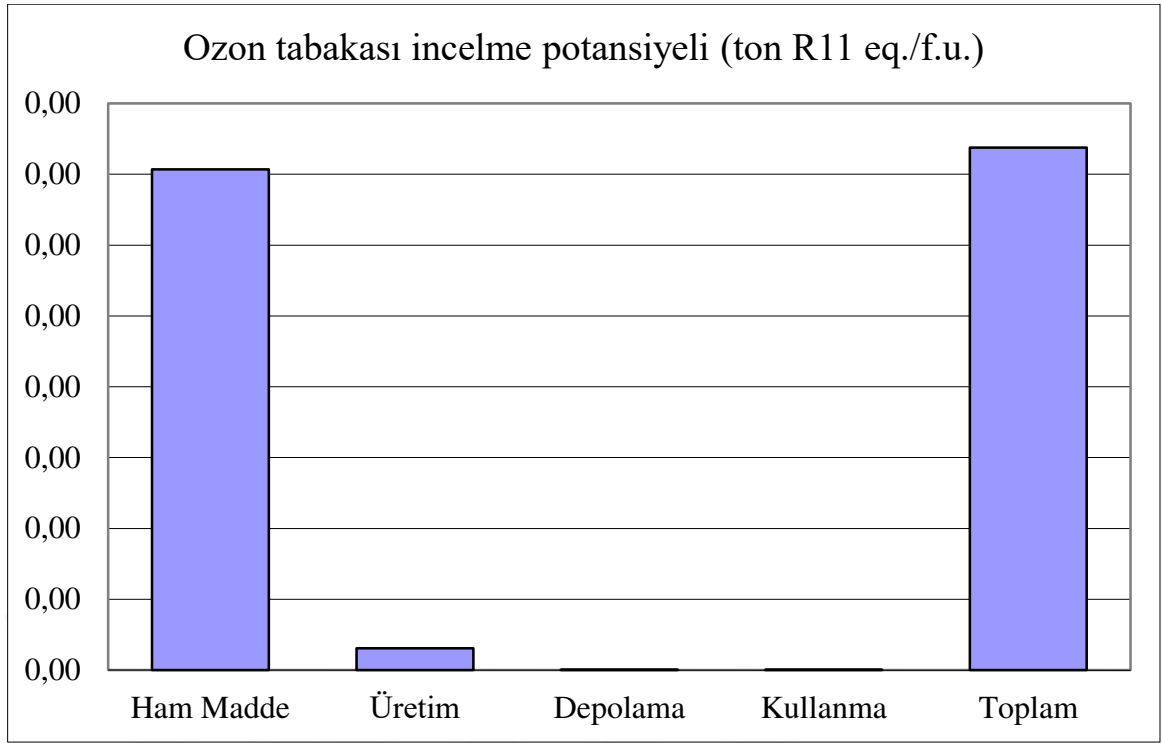
Sağlanan çevresel etki verileri, belirli bir ürün veya sürecin üretim yaşam döngüsü ile ilişkili ötrofikasyon potansiyelini vurgulamaktadır. Ötrofikasyon potansiyeli fonksiyonel birim başına fosfat eşdeğeri (PO₄ eq./f.u.) cinsinden ifade edilir ve su kütlelerinin besin açısından zengin hale gelme potansiyelini ölçer, bu da genellikle bitkilerin ve alglerin aşırı büyümesine ve ardından oksijenin tükenmesine yol açar. Şekil 4.25 verilerinin özeti, ötrofikasyon potansiyelinin büyük bir kısmının (0,78 ton/yıl PO₄ eş./f.u.) hammadde aşamasıyla ilişkili olduğunu ve üretimin bu aşamasında önemli miktarda besin maddesi salındığını göstermektedir. Tüm aşamalardaki toplam ötrofikasyon potansiyeli 0,87 ton/yıl PO₄ eq./f.u. olup, hammadde alımından son kullanıma kadar ürün veya sürecin besin yükü etkisinin kapsamlı bir ölçüsünü sağlamaktadır.



Şekil 4.25 Sağlanan çevresel etki verileri ötrofikasyon potansiyelini vurgulamaktadır

Grafik 4.26, bir ürün veya prosesin yaşam döngüsü aşamaları boyunca ozon tabakasını inceltme potansiyelini, fonksiyonel birim başına ton/yıl R11 eşdeğeri (ton/yıl R11 eş./f.u.) cinsinden ölçerek sunmaktadır. Ozon tabakasını inceltme potansiyeli (ODP), belirli bir kimyasal madde kütlesinin R11 referans maddesine (trikloroflorometan) kıyasla ozon tabakasının incelmeye ne kadar katkıda bulunduğu bir ölçüsüdür.

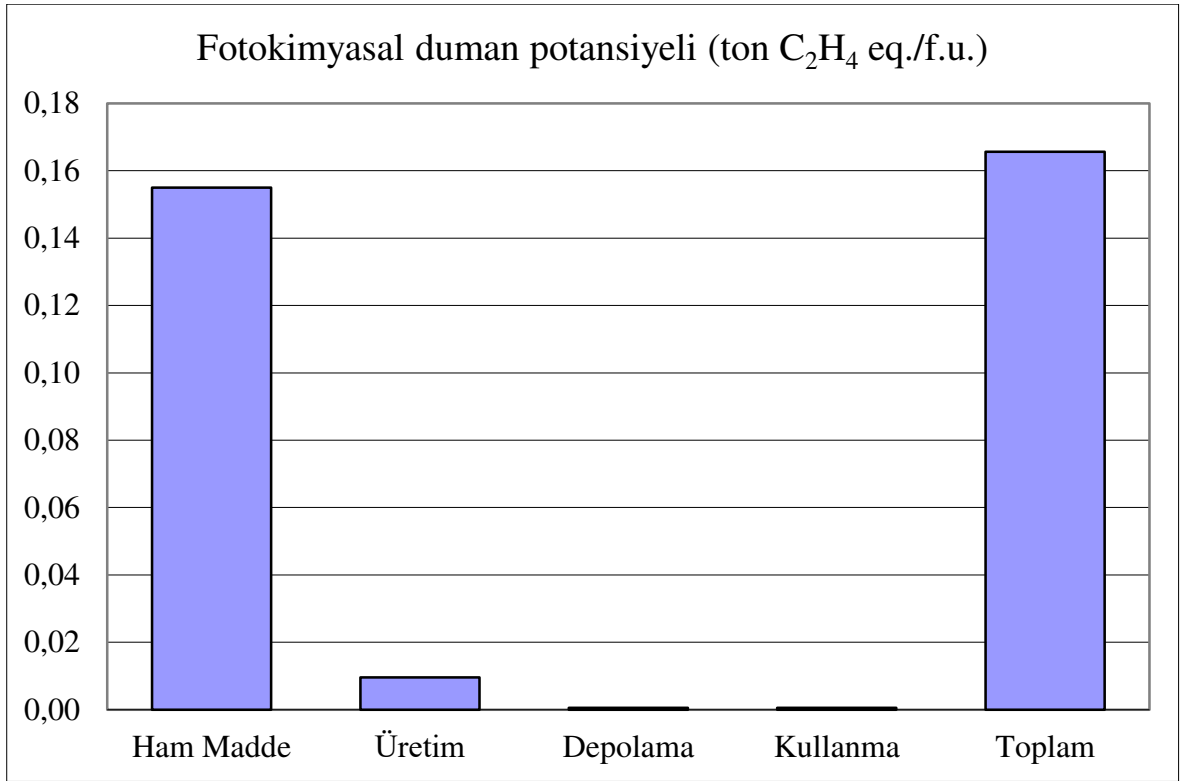
Grafikten, hammadde aşamasının 7,07e-05 ton/yıl R11 eq./f.u değeri ile ozon tabakasının incelmeye üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Bu, bu yaşam döngüsündeki hammaddelerin tedariki veya işlenmesinin ozon tabakasını inceltme potansiyeline sahip maddeler içerdiğini göstermektedir. Üretim aşaması, 3,07e-06 ton/yıl R11 eş./f.u. ile önemli ölçüde daha düşük bir etkiye sahiptir. Yaşam döngüsü boyunca toplam ODP 7,38e-05 ton/yıl R11 eş./f.u. olup, ozon tabakasının incelmeye için genel potansiyelin en önemli şekilde hammaddelerden etkilendiğini göstermektedir.



Şekil 4.26. Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli

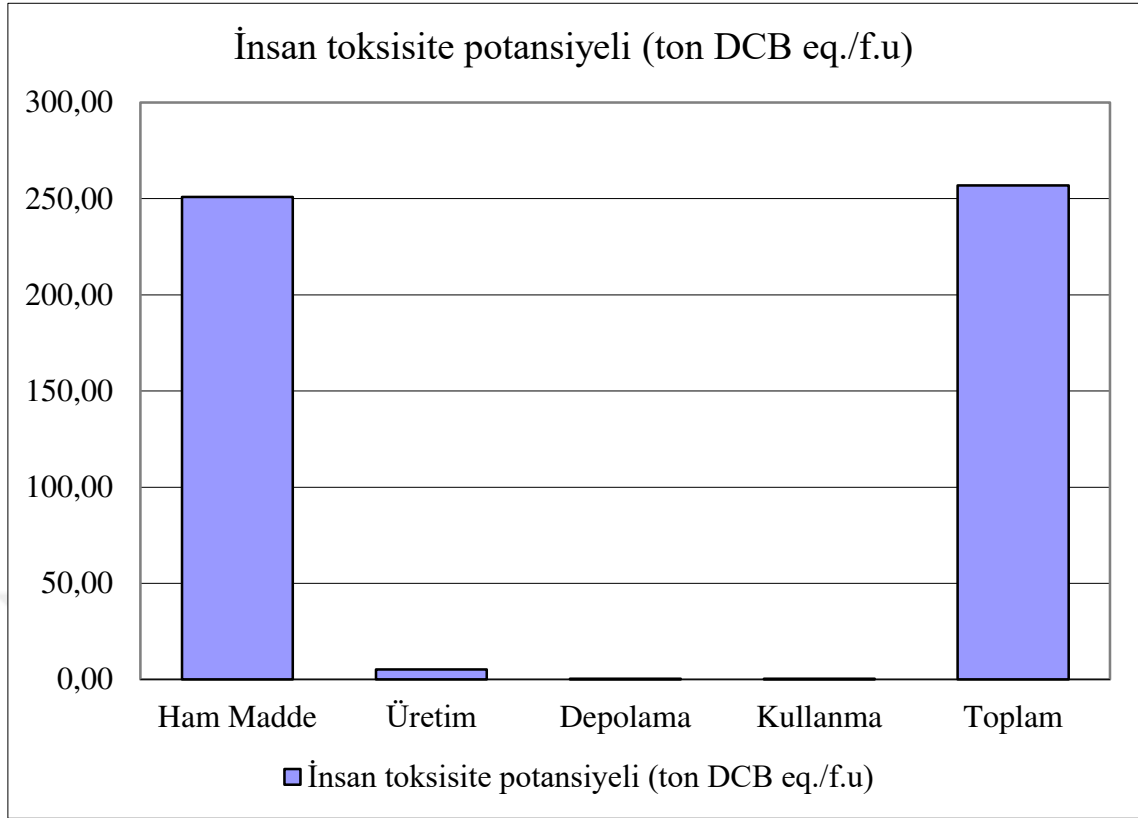
Gösterilen şekil 4.27, bir ürünün yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında fonksiyonel birim başına ton/yıl etilen eşdeğeri (ton/yıl C_2H_4 eş./f.u.) olarak ölçülen fotokimyasal duman potansiyelini göstermektedir. Genellikle kentsel hava kirliliği ile ilişkilendirilen fotokimyasal duman, azot oksitlerin varlığında güneş ışığı ve uçucu organik bileşikler (VOC'ler) arasındaki reaksiyonla oluşur. Grafik, hammadde aşamasının 0,155 ton/yıl C_2H_4 eq./f.u.'luk önemli bir fotokimyasal duman potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu, hammaddelerin çıkarılması veya işlenmesinin muhtemelen duman oluşumuna katkıda bulunan VOC'leri veya diğer öncülleri serbest bıraktığı anlamına gelir. Üretim aşaması 0,00959 ton/yıl C_2H_4 eq./f.u. ile belirgin şekilde daha düşük bir potansiyel gösterirken, depolama ve kullanım aşamaları fotokimyasal duman oluşturma potansiyeline daha da küçük katkılar sunmaktadır.

İşlevsel birim için toplam fotokimyasal duman potansiyeli 0,166 ton/yıl C_2H_4 eş./f.u. olup, duman oluşumuna katkıda bulunan hammaddelerin ve genel yaşam döngüsünün önemini altını çizmektedir. Bu bilgiler, çevresel etki değerlendirmeleri ve ürünlerin yaşam döngüsü boyunca VOC ve diğer duman oluşturan bileşiklerin emisyonlarını azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek için kritik öneme sahiptir.



Şekil 4.27. Fotokimyasal Duman Potansiyeli

Gösterilen grafik 4.28, fonksiyonel birim başına ton/yıl diklorobenzen eşdeğeri (ton/yıl DCB eş./f.u.) cinsinden ölçülen bir ürünün yaşam döngüsünün insan toksisitesi potansiyelini göstermektedir. Hammadde aşaması 251 ton/yıl DCB eşdeğeri / f.u. ile önemli ölçüde yüksek bir insan toksisitesi potansiyeli sergilemekte ve bu da nispeten düşük olan üretim, depolama ve kullanım aşamalarından gelen katkıları gölgede bırakmaktadır. Toplam yaşam döngüsü insan toksisitesi potansiyeli, 257 ton/yıl DCB eq./f.u. ile hammadde aşamasıyla yakından uyumludur ve yaşam döngüsünün ilk aşamalarının insan toksisitesine baskın katkıda bulunanlar olduğunu göstermektedir.



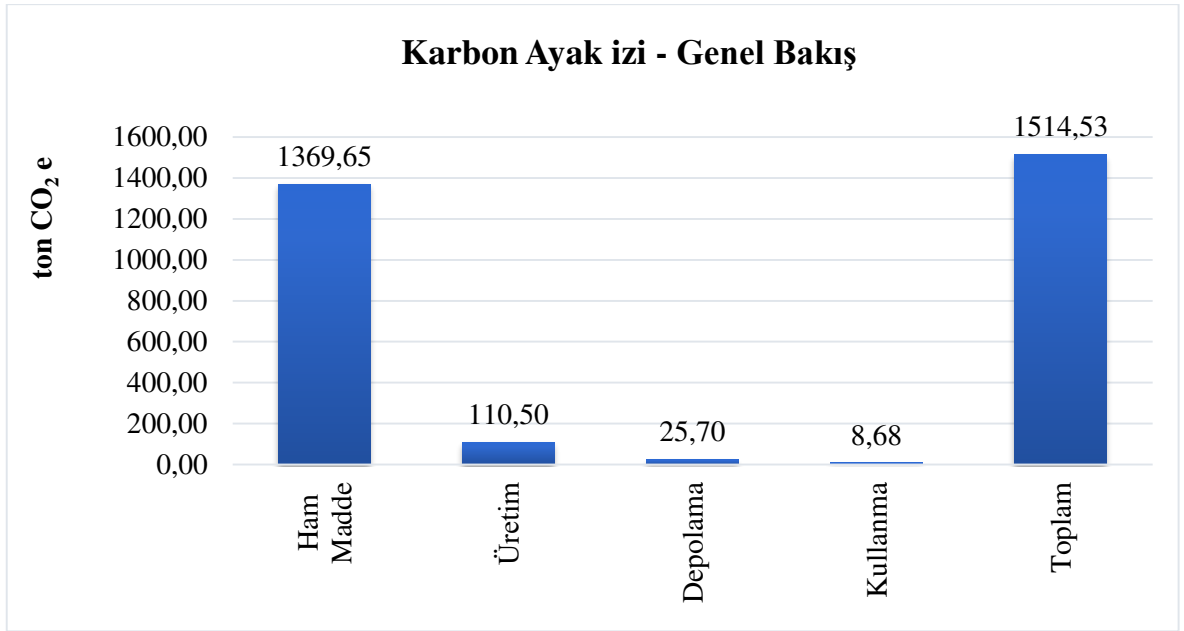
Şekil 4.28. İnsan Toksisite Potansiyeli

4.4. Karbon Ayak İzine Genel Bakış

Tablo 4.29. Fabrikanın Karbon Ayak İzine Genel Bakış

Hammaddeler	1369,65 ton/yıl
Üretim	110,50 ton/yıl
Depolama	25,70 ton/yıl
Kullanım	8,68 ton/yıl
Toplam f.u.	1514,53 ton/yıl
Toplam dahil. Yan ürünler	1514,53 ton/yıl

Şekil 4.29'deki grafik, fabrika faaliyetlerinin farklı aşamalarındaki karbon ayak izini göstermektedir. Hammaddeler 1369,65 ton/yıl CO₂ eşdeğeri ile emisyonların çoğunu oluştururken, üretim, depolama ve kullanım gibi sonraki aşamalar önemli ölçüde daha düşük ayak izleri oluşturmaktadır. Yan ürünler de dahil olmak üzere toplam etki 1514,53 ton/yıl CO₂ eşdeğeridir ve yan ürünlerin genel karbon ayak izine önemli katkısının altını çizmektedir.



Şekil 4.29. Fabrikanın Toplam Karbon Ayak İzine Genel Bakış

4.5. Karbondioksit Emisyonlarını Azaltmak için Bazı Alternatif Faktörler:

4.5.1. Enerji Verimliliğinin Artırılması

Enerji verimliliğinin artırılması, tekstil endüstrisinin karbon ayak izini azaltmada kritik bir öneme sahiptir. Bu, enerji tasarruflu makinelerin kullanılması, üretim hatlarının optimize edilmesi ve enerji yönetim sistemlerinin benimsenmesi gibi uygulamaları içerir. Özellikle, yüksek verimli kazanlar, LED aydınlatma ve otomatik kontrol sistemleri, tekstil operasyonlarında enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabilir (Hasanbeigi & Price, 2012). Bu önlemler, karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlamanın yanı sıra, zaman içinde maliyet tasarrufu sağlar, böylece tekstil üreticileri için finansal olarak uygulanabilir seçenekler haline gelir.

4.5.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Benimsenmesi

Güneş, rüzgar ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, tekstil endüstrisinin fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltabilir ve karbon emisyonlarını önemli ölçüde düşürebilir. Fabrika çatılarına güneş panelleri kurmak, buhar üretimi için biyokütle kazanları kullanmak ve yenilenebilir enerji sağlayıcılarından elektrik almak, karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir (Kant, 2012). Yenilenebilir enerjiye geçiş, çevresel etkiyi azaltmanın yanı sıra, tekstil operasyonları için enerji güvenliği ve istikrarını da artırır.

4.5.3. Su Geri Dönüşümü ve Yeniden Kullanımı

Tekstil endüstrisinin su ayak izi, özellikle boyama ve bitirme işlemlerinde önemlidir ve suyun geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması, su tüketimini ve suyun ısıtılması ve arıtılmasıyla ilişkili enerji ayak izini önemli ölçüde azaltabilir. Gelişmiş atık su arıtma teknolojileri, tekstil

üretiminde suyun temizlenmesini ve yeniden kullanılmasını sağlayarak, taze su talebini ve enerji tüketimini azaltır (McQueen & Turner, 2013). Bu yaklaşım, sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarıyla uyumlu olup, endüstrinin genel sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunur.

4.5.4. Sürdürülebilir Hammaddelerin Kullanımı

Organik pamuk, bambu lifleri veya geri dönüştürülmüş polyester gibi sürdürülebilir hammaddelerin kullanılması, hammadde yetiştirilmesi ve işlenmesiyle ilişkili çevresel etkileri azaltır. Örneğin, organik pamuk, sentetik pestisitler ve gübreler olmadan yetiştirilir ve daha az su kullanımı ve daha düşük karbon emisyonlarına yol açar (Shen et al., 2010). Sürdürülebilir hammaddelerin tercih edilmesi, endüstrinin karbon ayak izini önemli ölçüde düşürebilir ve çevresel korumayı teşvik edebilir.

4.5.5. Süreç Optimizasyonu

Tekstil üretim süreçlerinin optimizasyonu, daha iyi planlama, yeniden işleme oranının azaltılması ve atıkların minimize edilmesi yoluyla enerji ve kaynak tasarrufları sağlayabilir. Yalın üretim ilkeleri ve sürekli iyileştirme metodolojilerinin uygulanması, üretim verimliliğini artırabilir, malzeme atığını azaltabilir ve dolayısıyla karbon ayak izini düşürebilir (Nayak & Padhye, 2015). Süreç optimizasyonu, çevresel etkiyi azaltmanın yanı sıra operasyonel verimliliği ve ürün kalitesini de iyileştirir.

4.5.6. Tedarik Zinciri Yönetimi

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, tedarikçilerin çevresel performansına göre seçilmesini, şeffaflığın teşvik edilmesini ve tedarik zinciri boyunca etik uygulamaların garanti altına alınmasını içerir. Tedarikçilerle işbirliği yaparak sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesi, tekstil ürünlerinin genel karbon ayak izini önemli ölçüde düşürebilir (Caniato et al., 2012). Bu yaklaşım, tüm tedarik zinciri boyunca sürdürülebilirlik ve sorumluluk kültürünü teşvik eder.

4.5.7. Ürün Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA)

Ürünlerin yaşam döngüsü boyunca, hammadde çıkarımından bertarafına kadar olan çevresel etkilerin değerlendirilmesi, çevresel etkilerin azaltılması için stratejilerin belirlenmesine yardımcı olur. LCA, tekstil şirketlerinin ürünlerinin çevresel etkilerini anlamalarını ve ürün yaşam döngüsü boyunca etki azaltma alanlarını belirlemelerini sağlar (Zamani et al., 2015). Bu kapsamlı analiz, tekstil ürünlerinin karbon ayak izini azaltma stratejilerini belirleme ve uygulama konusunda kilit bir araçtır.

4.5.8. Döngüsel Ekonomi Uygulamaları

Döngüsel ekonomi ilkelerini benimsemek, tekstil ürünlerinin ve malzemelerinin ömrünü uzatarak atık miktarını azaltır ve yeni hammadde ihtiyacını düşürür. Geri dönüşüm programları geliştirmek, geri alma şemaları oluşturmak ve ürünleri kolay sökülebilir ve malzeme geri kazanımı göz önünde bulundurularak tasarlamak, kaynak verimliliğini ve sürdürülebilirliği teşvik eder (Pal & Gander, 2018). Döngüsel ekonomi uygulamaları, tekstil endüstrisinin karbon ayak izini azaltmaya katkıda bulunmanın yanı sıra ekonomik büyümeyi ve yeniliği destekler.

4.5.9. Çalışanların Katılımı ve Eğitimi

Çalışanların sürdürülebilirlik girişimlerine katılımının teşvik edilmesi ve çevresel en iyi uygulamalar hakkında eğitim verilmesi, tekstil şirketlerinde sürdürülebilirlik kültürünü geliştirir. Çalışanların çevresel projelere katılımını teşvik etmek, sürdürülebilir uygulamaları tanımak ve sürdürülebilirlik eğitim programları sunmak, endüstrinin genel sürdürülebilirlik taahhüdünü artırır (Kramar, 2014). Çalışan katılımı, yenilikçi çözümler üretilmesine ve uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına katkıda bulunur.

4.5.10. Karbon Kredileri

Karbon kredileri, tekstil endüstrisi gibi sektörlerin kaçınılmaz emisyonlarını dengelemelerine olanak tanıyan önemli bir mekanizmadır. Bu sistem, şirketlerin yenilenebilir enerji projeleri, ağaçlandırma ve ormansızlaşmanın önlenmesi gibi karbon azaltma faaliyetlerine yatırım yapmalarını sağlar. Böylece, kendi operasyonlarından kaynaklanan karbon emisyonlarını nötralize edebilirler. Karbon kredisi satın alma işlemi, küresel karbon piyasalarında gerçekleştirilir ve bu krediler, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için uluslararası kabul görmüş standartlara göre doğrulanır ve izlenir (Kolk & Pinkse, 2005). Bu yaklaşım, şirketlerin çevresel sorumluluklarını yerine getirirken aynı zamanda iklim değişikliğiyle mücadeleye katkıda bulunmalarını sağlar.

4.5.11. Orman Karbon Kredileri

Orman karbon kredileri, orman ekosistemlerinin korunması, iyileştirilmesi ve genişletilmesi yoluyla karbon dioksit emilimini artırmaya yönelik projelere yapılan yatırımlardır. Bu tür krediler, ormanların karbon yutaklarını güçlendirmek, biyoçeşitliliği korumak ve ormansızlaşma ile mücadele etmek için tasarlanmıştır. Orman karbon kredilerine yapılan yatırımlar, tekstil şirketlerinin doğrudan emisyon azaltımı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir orman yönetimi ve yerel toplulukların desteklenmesi gibi ekolojik ve sosyal faydalar sunar (Anderson & Dietsch, 2013). Bu, tekstil endüstrisinin sürdürülebilirlik stratejilerinin önemli bir parçası haline gelmiştir.

4.5.12. Yeşil Enerji Sertifikaları

Yeşil enerji sertifikaları veya Yenilenebilir Enerji Sertifikaları (RECs), elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eder. Bu sertifikalar, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen her birim elektriğin çevresel faydalarını temsil eder ve şirketler bu sertifikaları satın alarak yeşil enerji kullanımını dolaylı olarak destekleyebilirler. RECs, tekstil şirketlerinin karbon ayak izlerini azaltmalarına ve sürdürülebilir enerji geçişine katkıda bulunmalarına olanak tanır (Bird & Lokey, 2007). Bu, hem şirketlerin enerji tüketiminin çevresel etkisini azaltır hem de yenilenebilir enerji sektörünün gelişimini destekler.

4.5.13. Arıtılmış Su Kullanımı

Tekstil üretim süreçlerinde arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı, su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar ve su ısıtma ile arıtma süreçlerindeki enerji tüketimini azaltır. Gelişmiş su arıtma ve geri dönüşüm teknolojileri, tekstil endüstrisinin su ayak izini ve enerji maliyetlerini önemli ölçüde düşürebilir. Bu uygulamalar, su kıtlığı olan bölgelerde özellikle önemlidir ve tekstil şirketlerinin çevresel sürdürülebilirlik standartlarını karşılamalarına yardımcı olur (Hasanbeigi et al., 2012). Arıtılmış su kullanımı, tekstil endüstrisinin genel çevresel performansının iyileştirilmesine katkıda bulunur.

4.6. Tekstil Üretiminde Sürdürülebilir Alternatiflere Giriş

Sürdürülebilirlik ve çevresel etkinin azaltılması arayışında olan tekstil endüstrisi, alternatif malzeme ve uygulamaları giderek daha fazla araştırmaktadır. Bu çalışma, şu anda tek kullanımlık tıbbi giysiler için polipropilen kumaş ve diğer giysiler için rafine pamuk kullanan ve enerji kaynağı büyük ölçüde dizel ve şebeke elektriğine bağlı olan bir tekstil fabrikasına odaklanmaktadır. Önerilen sürdürülebilir alternatifler arasında tıbbi giysiler için Polilaktik Asit (PLA) Lifleri, diğer giysiler için Organik Pamuk, ulaşım için Biyodizel ve elektrik ihtiyacı için Güneş Enerjisi yer almaktadır. Bu analiz, karbondioksit emisyonlarındaki potansiyel azalmaları ve bu alternatiflerin benimsenmesinin çevresel faydalarını göstermeyi amaçlamaktadır.

4.6.1. Polilaktik Asit (PLA) Elyafına Geçiş

Mısır nişastası gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen Polilaktik Asit (PLA) Elyafı, polipropilen kumaşlara biyolojik olarak parçalanabilir bir alternatif sunar. PLA elyafı, daha düşük karbon ayak izi ve üretim ve bertaraf sırasında daha az çevresel etki yaratmasıyla biliniyor. Fabrika, tek kullanımlık tıbbi giysiler için PLA liflerine geçerek fosil bazlı malzemelere olan bağımlılığını önemli ölçüde azaltabilir ve bu ürünlerle ilişkili genel karbon emisyonlarını azaltabilir. Bu değişiklik sadece küresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olmakla kalmaz, aynı zamanda çevre dostu tıbbi ürünlere yönelik artan tüketici talebini de karşılar.

4.6.2. Organik Pamuğun Benimsenmesi

Sentetik tarım ilaçları ve gübreler kullanılmadan yetiştirilen Organik Pamuk, rafine pamuğa sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır. Üretim süreci daha düşük karbondioksit emisyonuna katkıda bulunur, su tasarrufu sağlar ve toprak sağlığını korur. Fabrika, organik pamuğu üretim hattına dahil ederek pamuk bazlı giysilerinin çevresel etkisini azaltabilir. Bu değişim sadece karbon ayak izini azaltmakla kalmıyor, aynı zamanda ürünlerin çevreye duyarlı tüketiciler için cazibesini de artırıyor.

4.6.3. Ulaşım için Biyodizel Kullanımı

Ulaşım amacıyla dizelin kolza ve ayçiçeği tohumundan elde edilen biyodizel ile değiştirilmesi karbon emisyonlarında önemli azalmalara yol açabilir. Yenilenebilir bir biyoyakıt olan biyodizel, geleneksel dizele göre daha temiz yanar ve daha az sera gazı ve kirlетici madde yayar. Bu geçiş sadece fabrikanın ulaşım ile ilgili emisyonlarının azalmasına katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda sektörde sürdürülebilir yakıt alternatiflerinin daha geniş çapta kullanılmasını da destekler.

4.6.4. Güneş Enerjisinin Uygulanması

Fabrikanın 1200 m²'lik çatısı Güneş Panellerinin kurulumu için ideal bir fırsat sunuyor. Temiz ve yenilenebilir bir kaynak olan güneş enerjisi, fabrikanın elektrik ihtiyacını karşılayabilir ve genellikle fosil yakıtlardan üretilen şebeke elektriğine olan bağımlılığı azaltabilir. İhtiyaç fazlası

Güneş Paneli Verimliliği ve Enerji Üretimi

- Panel Verimliliği: %18.
- Panel Gücü: 560 watts.
- Panel Boyutları: 2279 x 1134 x 35 mm, 2,58 m²'ye eşittir.
- Gaziantep'te Günlük Etkin Güneş Işığı Süresi: 8,2 saat.

Günlük ve Yıllık Enerji Üretimi Hesaplaması

- Panel Başına Günlük Enerji Üretimi: 560 watt × 8,2 saat = 4,592 kWh/gün.
- Kullanılabilir Alan: 1200 m².
- Toplam Panel Sayısı: $1200 \text{ m}^2 / 2,58 \text{ m}^2/\text{panel} = 465,12 \approx 465 \text{ panel}$ (yuvarlatılmış).
- Toplam Günlük Enerji Üretimi: 4.592 kWh/gün × 465 panel = 2135,48 kWh/gün.
- Toplam Yıllık Enerji Üretimi: 2135,48 kWh/gün × 365 gün = 779.650,2 kWh/yıl.

Karbon Ayak İzi Azaltım Hesaplaması

- Fabrikanın Yıllık Elektrik Tüketimi: 194.141 kWh.
- Karbon Emisyon Faktörü: Türkiye ortalaması 0,437 kg CO₂/kWh'dir (Kaynak: T.C. ETKB 2022).
- Güneş Enerjisi ile Azaltılan Karbon Emisyonları: $779.650,2 \text{ kWh/yıl} \times 0,437 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$
- = 340.559,39 kg CO₂/yıl.
- **Üretilen Fazla Enerji:** $779.650,2 \text{ kWh/yıl} - 194.141 \text{ kWh/yıl} = 585.509,2 \text{ kWh/yıl}$.

Öneriler ve Güneş Panellerinin Artıları/Eksileri

Artıları

- Sürdürülebilir ve Temiz Enerji: Güneş enerjisi yenilenebilir ve temiz bir güç kaynağıdır.
- Karbon Ayak İzinde Azalma: Güneş enerjisi kullanımı, fosil yakıtlarla ilişkili karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltır.
- Uzun Vadeli Maliyet Tasarrufu: Güneş paneli sistemleri düşük bakım maliyetlerine sahiptir ve uzun vadeli enerji tasarrufu sağlar.
- Enerji Bağımsızlığı: Dış enerji kaynaklarına bağımlılığı azaltır.

Eksiler

- Yüksek İlk Yatırım: Güneş paneli sistemlerinin kurulumu önemli bir başlangıç yatırımı gerektirir.
- Mevsim ve Hava Koşullarına Bağımlılık: Güneş panellerinin verimliliği mevsimlere ve hava koşullarına göre değişebilir.
- Alan Sınırlamaları: Yeterli sayıda panel için yeterli kurulum alanına ihtiyaç vardır. Güneş panelleri tarafından üretilen enerji, yeşil elektrik satışı yoluyla ek bir gelir akışı olarak hizmet edebilir. Güneş enerjisinin bu şekilde benimsenmesi, fabrikanın sürdürülebilir uygulamalar ve enerji bağımsızlığı konusundaki kararlılığının altını çizmektedir.

4.6.5. Ham Madde Alternatifi ve Karbon Ayak Izi

PLA elyafları, organik pamuk, biyodizel ve güneş enerjisine geçiş, tekstil endüstrisinde sürdürülebilirliğe yönelik bütünsel bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bu değişiklikler sadece karbondioksit emisyonlarında önemli azalmalara katkıda bulunmakla kalmıyor, aynı zamanda fabrikayı sektörde çevre yönetiminde lider olarak konumlandırıyor. İleride yapılacak detaylı analiz, potansiyel karbon ayak izi azaltımını ve bu sürdürülebilir alternatiflerin uygulanmasının çevresel faydalarını daha da aydınlatacaktır. Bu çalışma, tekstil endüstrisinde sürdürülebilir uygulamalar için bir plan oluşturmayı, daha geniş çapta benimsenmesini teşvik etmeyi ve iklim değişikliğiyle mücadelede küresel çabalara katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Alternatif PLA Elyaf verileri şekil 4.32 de

The screenshot shows a software interface for defining raw materials and water usage. The left panel, titled 'Define raw materials', has tabs for 'Define materials', 'Modify database', and 'Search database'. Under 'Define materials', the 'CCaLC database' is selected. The 'Database section' is set to 'All materials'. The material is 'Polylactic acid (PLA) from sugar cane - 7'. The 'Stage for material use' is 'Production - Stage 3: Raw M.'. The 'Amount (kg/f.u.)' is '2000000'. The 'Data quality for amount' is 'High'. The 'Cost (£/kg)' is empty. The 'Water usage (m³/kg)' is '3,94E+5'. There is a 'Define...' button next to it. Below this, there are options for 'Agricultural inputs' (define inputs in terms of mass per agricultural area or mass per functional unit). The 'Comments on amount used' field is empty. The 'Details' tab is selected, showing 'kg CO2 eq./kg' as '1,200e+000', 'Year' as '2006', 'Location' as 'EU-25', 'Source' as 'BREW (2006)', 'Quality of dataset' as 'Medium', and 'Comments' as 'Key process features: via polycondensation of lactic acid (Nature works, 2004); via anaerobic continuous fermentation on dextrose; workup via unspecified process; Nature works and SRI data. System boundary:'. The right panel, titled 'Define water usage for data set', has a 'Define data' tab. The 'Name' is 'Polylactic acid (PLA) from sugar cane - 7'. The 'Stage' is 'Production - Stage 3: Raw Material Sourcing'. Under 'Define country data', the 'Country' is 'Turkey' and the 'Water stress index' is '0,779'. Below this, there is a section for 'Define your own data or select an approximation from the CCaLC database:'. The 'Define data' option is selected. The 'Select from CCaLC water use database' section shows 'Sugar cane, fresh or dried, whether or not ground, Global' selected. The 'Blue water (m³/kg)' is '0,057', 'Green water (m³/kg)' is '0,139', and 'Total water (m³/kg)' is '0,197'. The 'Location' is 'Global' and the 'Comments' are 'Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y'.

Şekil 4.30 Alternatif PLA Elyaf bilgileri

Alternatif Organik Pamuk bilgileri şekil 4.33 de göstermektedir

Define raw materials: Define water usage for data set:

Define materials Modify database Search database

☒ CCaLC database ☐ Ecoinvent database ☐ User-defined

Database section: All materials

Cotton fibre

Stage for material use: Production - Stage 3: Raw M.

Amount (kg/f.u.): 150000

Data quality for amount: Medium

Cost (£/kg): 1.5

Water usage (m³/kg): 1.40E+6 Define...

Agricultural inputs

☐ define inputs in terms of mass per agricultural area

☒ define inputs in terms of mass per functional unit

Comments on amount used: Update

Details Energy use Impacts Water use

kg CO2 eq./kg: 2.000e+000

Year: 2011

Location: US & China

Source: Shen (2011)

Quality of dataset: High

Comments: Cradle-to-factory gate; staple natural fibre; Source: Shen, L. (2011) Bio-based and recycled polymers for cleaner production - An assessment of plastics and fibres, PhD Thesis, Utrecht University.

Define data

Name: Cotton fibre

Stage: Production - Stage 3: Raw Material Sourcing

Define country data

The water stress index for a given country is used to obtain the water footprint from the water usage data.

Country: Turkey Water stress index: 0.779

Define your own data or select an approximation from the CCaLC database:

☐ Define data

☒ Select from CCaLC water use database

Select from CCaLC water use database

Cotton textile

Blue water (m³/kg): 4.90

Green water (m³/kg): 4.45

Total water (m³/kg): 9.35

Location: Global

Comments: Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K.

Şekil 4.31 Alternatif Organik Pamuk bilgileri

Alternatif biyoyakıt ile karbon ayak izi azaltma yöntemleri

Define energy for Production - Stage 10: Distribution and Log... Define water usage for data set:

Define energy Modify database Search database

☒ CCaLC database ☐ Ecoinvent database ☐ User-defined

Bio-diesel from rape-seed

Amount (kWh/f.u.): 125500

Data quality for amount: High

Cost (£/kWh):

Water usage (m³/kWh): 2.03E+5 Define...

Comments on amount used: Update

Details Energy use Impacts Water use

tonne CO2 eq./kWh: 2,101e-004

Year: 2010

Location: UK

Source: HGCA

Quality of dataset: High

Comments:

HGCA (2010) HGCA biofuel GHG calculator, The cereals and oilseeds division of the Agriculture and Horticulture Board, <http://www.hgca.com/bioFuelCalc/StartSheet.aspx>.

Define data

Name: Bio-diesel from rape-seed

Stage: N/A

Define country data

The water stress index for a given country is used to obtain the water footprint from the water usage data.

Country: Turkey Water stress index: 0,779

Define your own data or select an approximation from the CCaLC database:

☐ Define data

☒ Select from CCaLC waster use database

Select from CCaLC water use database

Biodiesel - Rapeseed, Global

Blue water (m³/kWh): 0,071

Green water (m³/kWh): 0,523

Total water (m³/kWh): 0,594

Location: Global

Comments: Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y

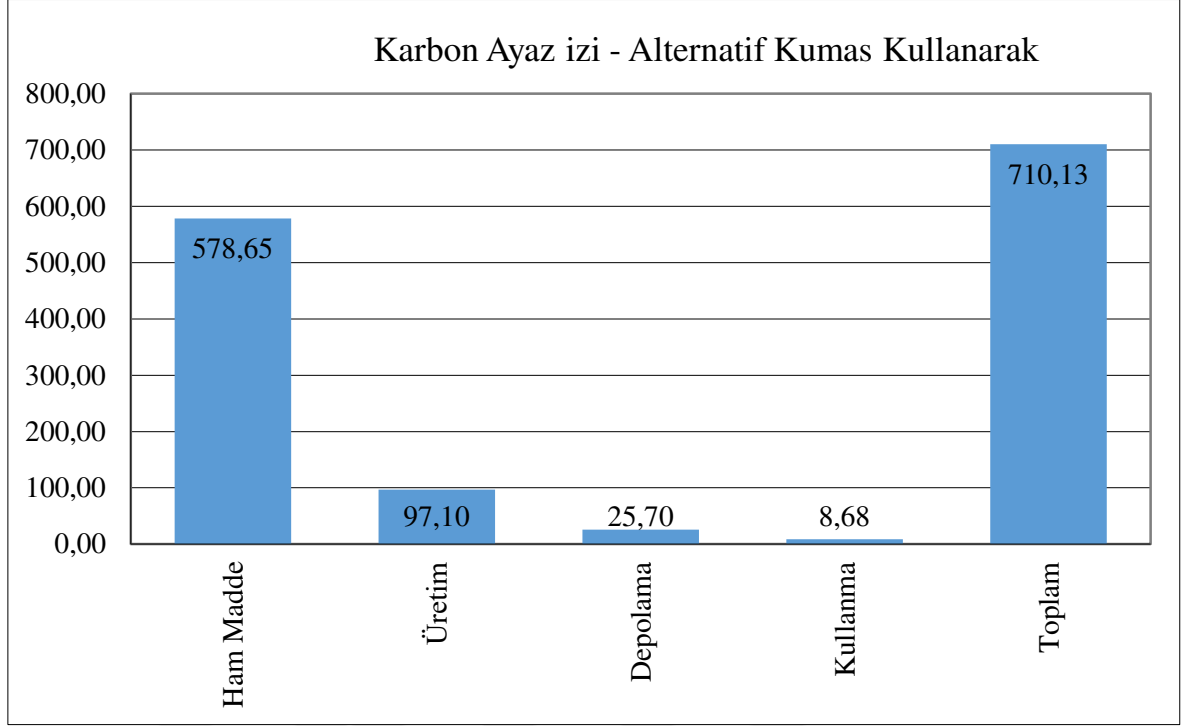
Şekil 4.32. Alternatif biodiesel

Tablo 4.30. Alternatif Kumaş ve Biyoyakıt ile Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi - genel bakış	
Hammaddeler	578,65
Üretim	97,10
Depolama	25,70
Kullanım	8,68
Toplam f.u.	710,13

4.7. Sürdürülebilir Alternatiflerin Uygulanması (4.33 Grafik)

Sürdürülebilir alternatiflerin uygulandığı 4.33 grafikte, ham maddeler bölümünde polipropilen yerine PLA kumaşının ve rafine pamuk yerine organik pamuğun kullanılmasıyla emisyonların 578,65 ton/yıl CO₂e'ye düştüğü görülmektedir. Biyoyakıt kullanımı ve üretim süreçlerindeki diğer sürdürülebilir uygulamalar, üretim aşamasındaki karbon ayak izini 97,10 ton/yıl CO₂e'ye indirmiştir. Depolama ve kullanım aşamalarında karbon ayak izi, bu değişikliklerden nispeten az etkilenmiş ve benzer seviyelerde kalmıştır (sırasıyla 25,70 ve 8,68-ton CO₂e). Genel olarak, toplam karbon ayak izi 710,13-ton CO₂e'ye düşmüş, bu da sürdürülebilir materyallerin ve enerji kaynaklarının uygulanmasının etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 4.33. Karbon ayak izi - Alternatif Kumaşlar ve Biyoyakıtlar ile

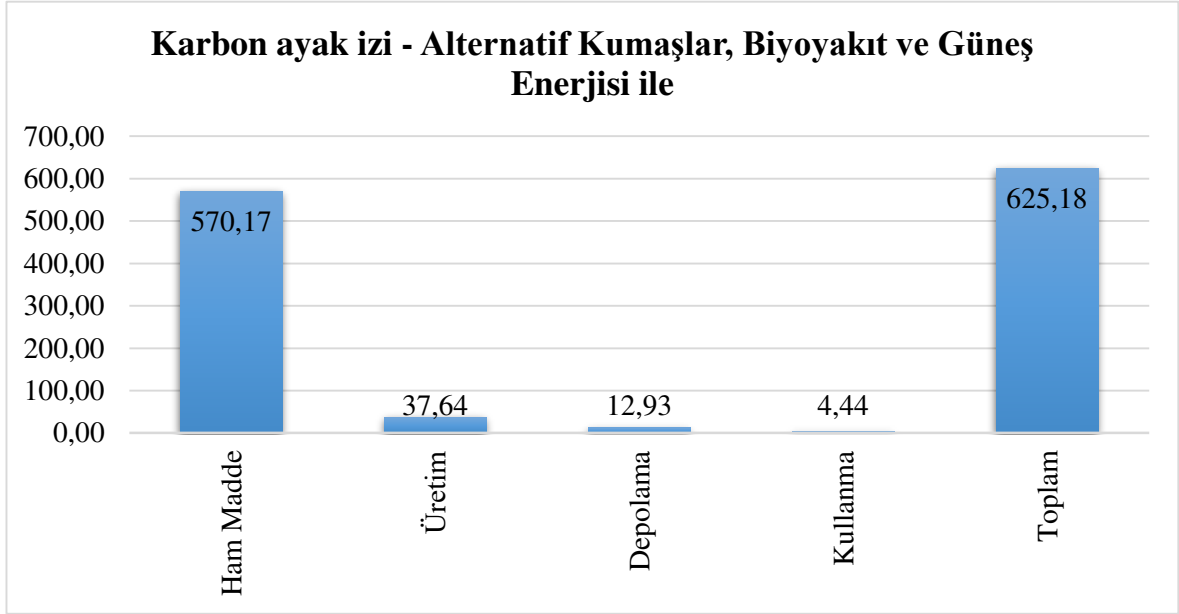
Tablo 4.31. Alternatif kumaş, biyoyakıt ve Güneş Enerjisi ile Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi - genel bakış	
Hammaddeler	570,17
Üretim	37,64
Depolama	12,93
Kullanım	4,44
Toplam f.u.	625,18

4.8. Güneş Enerjisi Entegrasyonu (4.34 Grafik)

Güneş enerjisinin entegre edildiği senaryoda, fabrikanın karbon ayak izinde daha da bir azalma gözlemlenmiştir. Fabrikanın uygun çatı alanına kurulan güneş panelleri sayesinde, şebekeden alınan elektriğin neden olduğu karbon emisyonları azaltılmıştır. Bu durum, fabrikanın toplam karbon ayak izini 625,18 ton/yıl CO₂e'ye düşürmüştür. Ayrıca, güneş enerjisi kullanımı sayesinde fazladan üretilen yeşil enerjinin ek gelir kaynağı olarak değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Bu karşılaştırmalı analiz, sürdürülebilir alternatiflerin benimsenmesi yoluyla bir tekstil fabrikası tarafından elde edilen çevresel etki azaltımını açıklamaktadır. Polilaktik Asit (PLA) elyafları, organik pamuk, biyodizel ve güneş enerjisini faaliyetlerine entegre eden fabrika, karbon ayak izinde önemli bir azalma olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.34. Alternatif kaynaklarla karbon ayak izi

4.9. Tekstil Fabrikasının Karbon Ayak İzi Üzerine Karşılaştırmalı Analiz:

Bu üç senaryo arasındaki karşılaştırma, tekstil endüstrisinde sürdürülebilirliğe geçişin çevresel etkiler açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Ham maddelerin yerine sürdürülebilir alternatiflerin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, karbon ayak izinde büyük düşüşler sağlamaktadır. Bu değişiklikler, hem operasyonel maliyetlerde hem de çevresel etkilerde azalma sağlayarak, fabrikaların sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasına yardımcı olabilir. Güneş enerjisi entegrasyonu, sürdürülebilir enerji kullanımının yanı sıra, enerji bağımsızlığına doğru önemli bir adım olarak değerlendirilmelidir.

Bu karşılaştırmalı analiz, tekstil fabrikasının karbon ayak izini azaltma potansiyelini ve sürdürülebilir alternatiflerin çevresel etkilerini gözler önüne sermektedir. Araştırma, tekstil endüstrisinin sürdürülebilir uygulamaları benimseyerek, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynayabileceğini ve bu değişikliklerin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, tekstil sektörünün küresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu pratikler benimsemesini teşvik eder.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması, bir tekstil endüstrisinin karbon ayak izini azaltma potansiyellerini kapsamlı bir şekilde ele almakta ve bu bağlamda sürdürülebilir hammadde seçimi ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının etkilerini araştırmaktadır. Araştırmada, karbon ayak izi hesaplamaları için CCALC2 uygulaması kullanılmıştır ve sonuçlar, IPCC, DEFRA 23, ETKB ve ecoinvent veritabanlarındaki bilgilerle desteklenmiştir. Özellikle, Polilaktik Asit (PLA) ve organik pamuk gibi alternatif malzemelerin kullanılmasının hammadde kaynaklı emisyonlarda %57,6'lık bir azalmaya sebep olduğu; güneş enerjisi kullanımının ise enerji kaynaklı karbon ayak izini %58,7 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, yapay zeka teknolojisinin üretim süreçlerindeki verimliliği artırma, atık miktarını azaltma ve enerji yönetimini optimize etme potansiyelleri de incelenmiştir.

Araştırma bulguları doğrultusunda, tekstil endüstrisinde sürdürülebilirlik uygulamalarının geliştirilmesine yönelik şu öneriler geliştirilmiştir:

1. PLA ve organik pamuk gibi sürdürülebilir hammadde alternatiflerinin uzun vadeli etkileri ve performansları üzerine kapsamlı araştırmalar yürütülmelidir.
2. Güneş enerjisi entegrasyonunun farklı iklim koşulları ve coğrafyalardaki karbon ayak izi üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmelidir.
3. Çeşitli biyodizel kaynaklarının karbon emisyonları üzerindeki etkileri karşılaştırmalı bir analiz ile değerlendirilmelidir.
4. Yapay zeka ve otomasyon teknolojilerinin tekstil endüstrisinin operasyonel verimliliği ve karbon ayak izi üzerindeki potansiyel etkileri derinlemesine araştırılmalıdır.

Bu önerilerin hayata geçirilmesi, tekstil endüstrisinin karbon ayak izini azaltma çabalarını destekleyecek ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir ilerleme sağlayabileceği düşünülmektedir..



KAYNAKÇA

- Aichele, R., & Felbermayr, G. (2013). "Kyoto Protokolünün Karbon Emisyonları Üzerindeki Etkisi."
- Al Mamun, A., Bormon, K. K., Rasu, M. N. S., Talukder, A., Freeman, C. E., Burch, R. F., & Chander, H. (2022). An Assessment of Energy and Groundwater Consumption of Textile Dyeing Mills in Bangladesh and Minimization of Environmental Impacts via Long-Term Key Performance Indicators (KPI) Baseline. Textiles.
- Allwood, J. M., Laursen, S. E., de Rodriguez, C. M., & Bocken, N. M. (2006). İyi Giyinmek mi? Birleşik Krallık'ta Giyim ve Tekstilin Bugünü ve Gelecekteki Sürdürülebilirliği. Cambridge Üniversitesi Üretim Enstitüsü.
- Anderson, Byron, and Thomas Dietsch. "Forestry Carbon Credits: A Potential Revenue Source for Nonprofit Land Trusts." Journal of Forestry 111.1 (2013): 26-31.
- Angela Fiore ve diğerleri (2014). Karbon Ayak İzi'nde arazi kaynaklı emisyonların hesaplanmasının iyileştirilmesi.
- Ani, V. (2022). Modülerliğe dayalı yöntem kullanılarak pamuklu kot pantolonların karbon ve su ayak izlerinin değerlendirilmesi: Tam bir yaşam döngüsü perspektifi. Temiz Üretim Dergisi.
- Anna Trendl, Anne Elizabeth Owen, Lara Vomfell, Lena Kilian, John Gathergood, Neil Stewart, David E. Leake (2022). Büyük ölçekli finansal işlem verilerinden karbon ayak izlerinin tahmin edilmesi.
- Anton Hartl (2019). Kyoto Protokolü'nün karbon ticareti dengesi üzerindeki etkileri. Review of World Economics.
- Awanthi, V., & Navaratne, S. B. (2021). "Üniversiteler için karbon ayak izi değerlendirme aracı."
- Aydın Tokuşlu. (2022). İklim Değişikliğinin Türkiye Havzaları Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi. Uluslararası Çevre ve Jeoinformatik Dergisi.
- Babu Parande, A. K., & Raghu, R. (2013). Tekstil ve Giyim Endüstrisinin Çevresel Etkileri. Çevre Bilimi ve Mühendisliği.
- Bastianoni, S., ve diğerleri (2014). "2006 IPCC sera gazı envanteri metodolojisi ile ISO 14064-1 arasındaki bağlantı."
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F., Giacchetta, G., & Marchetti, B. (2011). A Carbon Footprint Analysis in the Textile Supply Chain. International Journal of Sustainable Engineering, 4, 24-36.
- Bhattacharya, D. S. (2021). Impact of the New Textile Policy and Textile Waste Management System in India and a Move towards Sustainable Management. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology.
- Bianco, I., Gerboni, R., Picerno, G., & Blengini, G. (2022). Life Cycle Assessment (LCA) of MWool® Recycled Wool Fibers. Resources.
- Bird, Lori, and Elizabeth Lokey. "Interaction of Compliance and Voluntary Renewable Energy Markets." Renewable Energy Policy Project, 2007.

- Biswabara Sahu ve diğerkleri (2021). "Sürdürülebilir Karbon Yönetimi Uygulamaları (CMP) - CO2 Akısının Azaltılmasında İleriye Dönük Bir Yol.
- Blackburn, R. S. (2009). Sürdürülebilir Tekstiller: Yaşam Döngüsü ve Çevresel Etki. Woodhead Yayıncılık.
- Blackburn, Richard S. "Sustainable Textiles: Life Cycle and Environmental Impact." Woodhead Publishing Series in Textiles, Woodhead Publishing, 2009.
- Burhan Can Karahasan & Mehmet Pınar. (2023). Türkiye'de iklim değışikliği ve mekansal tarımsal kalkınma. Review of Development Economics.
- Caniato, Federico, Maria Caridi, Luca Crippa, and Angelo Moretto. "Environmental sustainability in fashion supply chains: Exploratory case-based research." International Journal of Production Economic 135.2 (2012): 659-670.
- Cao, S., Zhang, W., & Gu, Y. (2012). Tracking Carbon Emissions from China's Textile Sector. Advanced Materials Research, 518-523, 1682-1685.
- Chen, H. L., & Burns, L. D. (2006). Tekstil Ürünlerinin Çevresel Analizi. Giyim ve Tekstil Araştırma Dergisi.
- Chen, W.-q. ve diğerkleri (2022). Ürünlerin Karbon Ayak İzinin Yenilikçi Blok Zinciri Tabanlı Uygulaması: Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Bir Vaka Çalışması.
- Christiane Peter ve diğerkleri (2016). Tarımsal ürünlerde tarla emisyonlarının hesaplanmasının iyileştirilmesi. Uluslararası Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Dergisi.
- Denizhan Güven ve diğerkleri (2021). İklim Değişikliğinin Türkiye'de Sektörel Elektrik Talebi Üzerindeki Etkisi. Energy Sources Part B.
- Domingo Rafael Castañeda Olvera (2022). Kirleten Bulut. Dijital Karbon Ayak İzinin Sosyo-Çevresel Analizi.
- Eduarne Loyarte-López, Mario Barral, Juan Carlos Morla (2020). Maddi Olmayan Varlıklarda Sürdürülebilir İnovasyona Yönelik Karbon Ayak İzi Hesaplama Metodolojisi.
- Elizabeth León-Palmero (2023). Margalef'in İlhamıyla Rezervuarlardaki Sera Gazı Akışlarını Anlamak.
- Eric Papain Mezatio ve diğerkleri (2022). "Karbon emisyonlarını dikkate alarak tekstil ve giyim endüstrisi için sürdürülebilir bir tedarik zinciri tasarlamak." Advances in Control and Optimization of Dynamical Systems.
- Flavio Scrucca, Grazia Barberio, Valentina Fantin, Pier Luigi Porta, Marco Barbanera (2021). Karbon Ayak İzi: Kavram, Metodoloji ve Hesaplama.
- Fletcher, K. (2013). Sürdürülebilir Moda ve Tekstil: Tasarım Yolculukları. Earthscan.
- Forster, P. M., Smith, C. J., Walsh, T. ve diğerkleri (2023). Küresel İklim Değişikliği Göstergeleri 2022: iklim sisteminin durumu ve insan etkisine ilişkin büyük ölçekli göstergelerin yıllık güncellemesi. Earth System Science Data, Küresel İklim Değişikliği Göstergeleri 2022

- Forster, P. M., Smith, C. J., Walsh, T. ve diğerleri (2023). Küresel İklim Değişikliği Göstergeleri 2022: iklim sisteminin durumu ve insan etkisine ilişkin büyük ölçekli göstergelerin yıllık güncellemesi. Earth System Science Data, Küresel İklim Değişikliği Göstergeleri 2022
- Gregory Möller ve diğerleri (2022). Sulu ferrik oksit reaktif filtrasyonu ile ultra düşük fosfor gideriminin CO2e ayak izi ve eko-etkisi. [Bağlantı]
- Hasanbeigi, Ali, and Lynn Price. "A review of energy use and energy efficiency technologies for the textile industry." Renewable and Sustainable Energy Reviews 16.6 (2012): 3648-3665.
- Hasanbeigi, Ali, Lynn Price, and Hongyou Lu. "Emerging Energy-efficiency and CO₂ Emission-reduction Technologies for Industry: A Review of Technologies for Alternative Energy Efficiency Improvement and Emerging New Technologies." Energy Policy 40 (2012): 633-643.
- İslam, M. (2022). "İklim Değişikliğinin Türkiye'de Su Kaynakları, Tarımsal Üretim ve Gıda Güvenliği Üzerindeki Etkileri."
- Jan Matušík, Vladimír Kočí (2021). Ayak izi nedir? Çevresel ayak izi göstergelerinin kavramsal analizi.
- Kalliala, E. M., & Nousiainen, P. (1999). Finlandiya'da Yaş Tekstil İşlemenin Çevresel Profili. Temiz Üretim Dergisi.
- Kant, Rita. "Textile dyeing industry an environmental hazard." Natural Science 4.1 (2012): 22-26.
- Karthik, T., & Murugan, R. (2017). Carbon Footprint in Denim Manufacturing.
- Kexin Zhang ve diğerleri (2023). "Entegre CO₂ yakalama ve dönüştürme yoluyla sürdürülebilir CO₂ yönetimi." CO₂ Kullanımı Dergisi.
- Kolk, Ans, and Jonatan Pinkse. "Business Responses to Climate Change: Identifying Emergent Strategies." California Management Review 47.3 (2005): 6-20.
- Kramar, Robin. "Beyond strategic human resource management: is sustainable human resource management the next approach?" The International Journal of Human Resource Management 25.8 (2014): 1069-1089.
- Kumar, P. S., & Joshiba, G. J. (2019). Energy Footprints of Textile Products.
- Kumer, S., & Radonjić, G. (2021). Analysis of Environmental Criteria in Sustainability Reports of Companies in the Textile and Apparel Sector. TEKSTILEC.
- Lakshmanan, S. O., & Raghavendran, G. (2017). Low Water-Consumption Technologies for Textile Production.
- Leal Filho, W. ve diğerleri (2022). Tekstil sektörünün iklim değişikliğine katkısına genel bir bakış. Frontiers in Environmental Science.
- Leal Filho, W., Perry, P., Heim, H., Dinis, M., Moda, H., Ebhuoma, E. E., & Paço, A. (2022). An Overview of the Contribution of the Textiles Sector to Climate Change.
- Leal Filho, W., ve diğerleri (2022). "Tekstil sektörünün iklim değişikliğine katkısına genel bir bakış." Schliesser, C. (2023). "Sanayileşmenin İklim Değişikliği Üzerindeki Etkisi."

- Leon-Palmero, E. (2023). "Rezervuarlardaki Sera Gazı Akışlarını Anlamak."
- Liang, Z., Deng, H., Xie, H., Chen, B., Sun, M., & Wang, Y. (2023). Kağıt ürünleri karbon ayak izi hesaplama standardını yaşam döngüsü perspektifinden yeniden düşünmek. *Journal of Cleaner Production*.
- Lusine Taslakyan, Martin C Baker, D. S. Shrestha, Daniel G. Strawn, Gregory Möller (2022). Hidroz ferrik oksit ile ultra düşük fosfor gideriminin CO₂e ayak izi ve eko-etkisi
- M Metwally, Gaber Magdy, Adel A. Elbaset, Essam Zaki (2022). Yenilenebilir Enerji Santrallerinde Karbon Ayak İzi Çalışması: Mısır'ın Benban Güneş Parkı Üzerine Vaka Çalışması.
- M. Ziya Söğüt ve diğerleri (2019). "Kurumsal Yönetimde Sürdürülebilir Karbon Yönetimi: Bir Vaka Çalışması." *Energy Procedia*.
- Manidaki, M., & Pantelidou, H. (2022). Birleşik Krallık PAS 2080 karbon yönetimi standardı net sıfır zorluğuna yanıt olarak güncellendi. İnşaat Mühendisleri Enstitüsü Bildirileri.
- Marino, B. D. V., ve diğerleri (2019). "Kaliforniya hava kaynakları kurulu orman karbon protokolü denkleştirmeleri geçersiz kılıyor."
- Marino, B. D. V., ve diğerleri (2019). Kaliforniya hava kaynakları kurulu orman karbon protokolü denkleştirmeleri geçersiz kılıyor. *PeerJ*
- McQueen, Kathleen, and Christopher Turner. "Water Reuse in the Textile Sector: New Technologies and Emerging Opportunities." *Journal of Environmental Management* 129 (2013): 328-335.
- Meinrenken, C. J. ve diğerleri (2022). Karbon Kataloğu, 8 endüstri sektöründen ve 5 kıtadan 866 ticari ürünün karbon ayak izleri. *Bilimsel Veriler*.
- Merve Ersoy Mirici & Suha Berberoğlu. (2022). "Türkiye Perspektifinde Yeşil Mutabakat ve Karbon Ayak İzi: Tehdit Mi? Fırsat Mı?" *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*.
- Mezatio, E. P., ve diğerleri (2022). "Karbon emisyonlarını dikkate alarak tekstil ve giyim endüstrisi için sürdürülebilir bir tedarik zinciri tasarlamak."
- Mitoma, H. (2023). Kayıt dışı sektörün üretim faaliyetleri dikkate alınarak karbon ayak izi analizi: Hindistan imalat sanayi örneği. *Enerji Ekonomisi*.
- Moller, G., ve diğerleri (2022). "Sulu ferrik oksit reaktif filtrasyonu ile ultra düşük fosfor gideriminin CO₂e ayak izi ve eko-etkisi."
- Murat Kucukvar, Gokhan Egilmez, Nuri Cihat Onat, Hamidreza Samadi. (2015). "Etkili karbon azaltma politikaları için küresel, kapsam tabanlı bir karbon ayak izi modellemesi: Türk imalat sektöründen dersler." *Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim*.
- Muthu, S. S., Li, Y., Hu, J. Y., & Mok, P. Y. (2012). Quantification of environmental impact and ecological sustainability for textile fibres. *Ecological Indicators*, 13(1), 66-74.
- Muthu, S., Li, Y., Hu, J., & Ze, L. (2012). Carbon Footprint Reduction in the Textile Process Chain: Recycling of Textile Materials. *Fibers and Polymers*, 13, 1065-1070.
- Nada Maamoun (2019). Kyoto protokolü: Gizli bir başarının ampirik kanıtı. *Çevre Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*.

- Nakazawa, T. (2020). "Karbondioksit, Metan ve Azot Oksitin Küresel Döngüsüne İlişkin Mevcut Anlayış."
- Narasinha Shurpali, Avinash Kumar Agarwal, V. K. Srivastava (2019). Sera Gazı Emisyonlarına Giriş.
- Nayak, Rajkishore, and Rajiv Padhye. "The impact of lean manufacturing on environmental performance of the textile industry." *Textile Science and Engineering* 5.1 (2015): 1-7.
- Nihal Ahmed ve diğerleri (2022). Gıda Kaybında İklim Değişikliğinin Yoğunlaşan Etkileri: Türkiye'de Gıda Güvenliğine Bir Tehdit. *Sürdürülebilirlik*.
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). Hızlı Modanın Çevresel Bedeli. *Nature Reviews Earth & Environment*.
- Öker, F., & Adıgüzel, H. (2017). Karbon Ticareti için Raporlama ve Uluslararası Muhasebe Standartları.
- Özlem Yurtsever & Seniye Fırat. (2019). "Türkiye'de yerleşik bankalar ve dünya bankalarında karbon ayak izi göstergeleri üzerine bir değerlendirme." *Uluslararası İşletme Dergisi*.
- Pal, R., and J. Gander. "Modelling environmental value: An examination of sustainable business models within the fashion industry." *Journal of Cleaner Production* 184 (2018): 251-263.
- Payet, J. (2021). Assessment of Carbon Footprint for the Textile Sector in France. *Sustainability*.
- Payet, J. (2021). Fransa'da Tekstil Sektörü için Karbon Ayak İzi Değerlendirmesi. *Sürdürülebilirlik*.
- Peng Wu ve diğerleri (2015). ISO 14067'nin küresel sera gazı standartlarının gelişimine katkısı. *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*.
- Rahel Aichele & Gabriel Felbermayr (2013). Kyoto Protokolü'nün Karbon Emisyonları Üzerindeki Etkisi. *Politika Analizi ve Yönetimi Dergisi*.
- Richards, K. R., & Huebner, G. E. (2012). Orman karbon denkleştirme programları için protokol ve standartların değerlendirilmesi. *Karbon Yönetimi*.
- Roos, S., Zamani, B., & Peters, G. (2015). Tekstil Ürünlerinin Çevresel Değerlendirmesine Sistemik Bir Yaklaşım. *Giyim ve Tekstil Araştırmaları Dergisi*.
- S. Mohan ve Ninad Oke (2020). "Tekstil Endüstrisinde Atık Yönetimi-Karbon Ayak İzi Analizinin Yeni Bir Uygulaması.
- Schliesser, C. (2023). Sanayileşmenin İklim Değişikliği Üzerindeki Etkisi. *İş dünyasındaki gelişmeler strateji ve rekabet avantajı kitap serisi*.
- Schueler, M., ve diğerleri (2017). "IPCC Tier 1 kullanılarak süt karbon ayak izlerinin ayrıştırılması."
- Shen, Liwen, Ernst Worrell, and Martin K. Patel. "Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres." *Resources, Conservation and Recycling* 55.2 (2010): 260-274.
- Simone Bastianoni ve diğerleri (2014). 2006 IPCC sera gazı envanteri metodolojisi ile ISO 14064-1 arasındaki bağlantı. *Çevre Bilimi ve Politikası*.
- Steinberger, J. K., Friot, D., & Jolliet, O. (2009). Küresel Tekstil Endüstrisinin Mekânsal Olarak Açık Yaşam Döngüsü Envanteri. *Temiz Üretim Dergisi*.

- Steinberger, J. K., Friot, D., Joliet, O., & Erkman, S. (2009). A spatially explicit life cycle inventory of the global textile chain. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(5), 443-455.
- Sölar, V., Soy, B., & Yagci, K. (2021). A Case Study for Water Footprint Assessment of a Denim Product. *TEXTEH Proceedings*.
- Umakant Mishra ve diğeri (2012). Bölgesel toprak karbon envanterlerinin iyileştirilmesi. *Geoderma*.
- Wang, C., Wang, L., Liu, X., Du, C., Ding, D., Jia, J., Yan, Y., & Wu, G. (2015). Carbon Footprint of Textile Throughout its Life Cycle: A Case Study of Chinese Cotton Shirts. *Journal of Cleaner Production*, 108, 464-475.
- Wang, S., Wang, W., & Yang, H. (2018). Ürün Karbon Ayak İzi Protokollerinin Karşılaştırılması: Çin'de Orta Yoğunluklu Lif Levha Üzerine Örnek Çalışma. *Uluslararası Çevre Araştırmaları ve Halk Sağlığı Dergisi*
- Wolf, S. A., & Ghosh, R. (2020). Çevresel muhasebe standartlarının uygulama merkezli bir analizi: tarımı karbon yönetimine entegre etmek. *Arazi Kullanım Politikası*.
- www.ccalc.org.uk. "CCALC2 Yazılım Aracı."
- Yao Le. (2014). Carbon Footprint Evaluation on Raw Materials Stage of Textile and Garment Carbon Emission Reduction Measures: In Case of Cotton. *Journal of Tianjin Polytechnic University*.
- Yavuz Özhan Türker & Aynur Aydın. (2022). "Türk Mevzuatı Yeşil Anlaşma için Ne Kadar Hazır?" *Enerji ve İklim Değişikliği*.
- Yi Yang, Guanfei Meng (2020). Karbon ayak izinin gelişimi ve araştırma çerçevesi: Bilgi haritalama perspektifine dayanmaktadır.
- Yuan, Y., Sun, X., & Liu, N. (2022). Bir endüstriyel karbon ayak izi ağının yapısal özelliklerinin ve evrimsel modellerinin ölçülmesi.
- Zamani, Bahareh, Gustav Sandin, and Gregory Peters. "Life cycle assessment of clothing libraries: Can collaborative consumption reduce the environmental impact of fast fashion?" *Journal of Cleaner Production* 162 (2017): 1368-1375.
- Zhang, K., ve diğeri (2023). "Entegre CO2 yakalama ve dönüştürme yoluyla sürdürülebilir CO2 yönetimi."
- Zhu, Q., & Sarkis, J. (2006). Çin'de Yeşil Tedarik Zinciri Yönetiminin Sektörler Arası Karşılaştırması: Etkiler ve Uygulamalar. *Temiz Üretim Dergisi*.

ÖZGEÇMİŞ

Md Muzahidul Islam, 2020 yılında Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mezuniyetinin ardından tekstil sektöründe çalışmaya başladı ve üç yıllık profesyonel tecrübeye sahiptir.

