

**ENDÜSTRİLERDE KARBON, SU VE ENERJİ AYAK İZLERİNİN BELİRLENMESİ
VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: TEKSTİL
ENDÜSTRİSİ İÇİN BİR VAKA ÇALIŞMASI**

ÇİSEM ÖZTOPÇU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**Danışman: Prof. Dr. Günay YILDIZ TÖRE
2023**

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ENDÜSTRİLERDE KARBON, SU VE ENERJİ AYAK İZLERİNİN BELİRLENMESİ
VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: TEKSTİL
ENDÜSTRİSİ İÇİN BİR VAKA ÇALIŞMASI**

ÇİSEM ÖZTOPÇU

ORCID: 0000-0003-4688-5257

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Danışman: Prof. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

ŞUBAT-2023

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

ENDÜSTRİLERDE KARBON, SU VE ENERJİ AYAK İZLERİNİN BELİRLENMESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: TEKSTİL ENDÜSTRİSİ İÇİN BİR VAKA ÇALIŞMASI

Çisem ÖZTOPÇU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

1980’lerden itibaren ekolojik sorunlar artmaya devam etmiştir. Çevresel sorunların artması ile birlikte işletmeler bu hususta kendi faaliyetlerinin sebep olduğu Su Ayak İzi, Karbon Ayak İzi ve Enerji Ayak İzi çalışmalarına önem vermiştir. Bu bağlamda proses ve işletme bazında kullanılan su miktarlarının ve özelliklerinin, karbon salınımlarının, enerji tüketimlerinin kayıt altına alınması, raporlanması, takip edilmesi ve sonuçların iyileştirilmesi için önlemlerin oluşturulma ihtiyacı doğmuştur. Bu yüksek lisans tez çalışması gerçekleştirilirken Karbon, Su ve Enerji Ayak izi için uygulanabilmesi mümkün olan bir yöntem önermek, çıktılar üretmek ve uygulama örneğini tanıtmaktır. Çalışma kapsamında örnek bir tesis seçilmiş ve uygulama sonuçları yorumlanmıştır. Bobinde iplik boyama ünitesinde açığa çıkan karbon ayak izinin %52’si Kapsam-1 emisyonlarından %37’si Kapsam-2 emisyonlarından, %11’i Kapsam-3 emisyonlarından açığa çıkmaktadır. İplik boyama ünitesinden atmosfere salınan karbon ayak izi miktarı 1 kg iplik boyama için 2,39 CO₂e/ kg ipliklidir. Bobinde iplik boyama ünitesinde açığa çıkan su ayak izinin %44,73’ü Mavi Su Ayak izi, %55,18’si Gri Su Ayak İzi ve %0,09 ise Yeşil Su Ayak İzi olarak açığa çıkmaktadır. 1 kg iplik boyamak için 219 litre su harcandığı hesaplanmıştır. Tesisin 2021 yılı aylık ortalama elektrik tüketiminin 718 GCal olduğu belirlenmiştir. SET değerleri ise en fazla 2021 yılında Ocak ayında en az ise Mart-Nisan aylarında görülmüştür. Sonuç olarak Karbon, Su ve Enerji Ayak İzi sonuçlarının, sürdürülebilirlik sürecini yönetmek isteyenler için yararlı bir sayısal kılavuz olduğu kanısına varılmış ve tüm endüstriyel tesislerde uygulanabileceği görülmüştür. Bu alanda araştırmaların objektif ve tutarlı olabilmesi için daha fazla çalışma yapılması gerektiği belirtilmiş olup özellikle tesislerin veri kayıt altına alma süreçlerinin standart hale getirilmesi ve veri tabanları oluşturulması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Çevre, Su Ayak İzi, Karbon Ayak İzi, Enerji Ayak İzi, Tekstil, İplik Boyama

ABSTRACT

DETERMINING AND EVALUATION OF CARBON, WATER AND ENERGY FOOTPRINTS IN INDUSTRIES IN TERMS OF SUSTAINABILITY: A CASE STUDY FOR THE TEXTILE INDUSTRY

Çisem Öztopçu

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

Ecological problems have continued to increase since the 1980s. With the increase in environmental problems, businesses have given importance to Water Footprint, Carbon Footprint and Energy Footprint studies caused by their own activities in this regard. In this context, there has been a need to establish measures to record, report and monitor the amount and properties of water used on the basis of process and operation, carbon emissions, energy consumption and to improve the results. While this master's thesis is being carried out, it is to propose a method that can be applied for Carbon, Water and Energy Footprint, to produce outputs and to introduce the application example. A sample facility was selected within the scope of the study and the application results were interpreted. 52% of the carbon footprint in the bobbin yarn dyeing unit comes from Scope-1 emissions, 37% from Scope-2 emissions, 11% from Scope-3 emissions. The amount of carbon footprint released from the yarn dyeing unit to the atmosphere is 2.39 CO₂e/kg yarn for 1 kg yarn dyeing. 44,73% of the water footprint released in the yarn dyeing unit on the bobbin appears as Blue Water Footprint, 55,18% as Gray Water Footprint and 0.09% as Green Water Footprint. It is calculated that 219 liter of water is consumed to dye 1 kg of yarn. It has been determined that the average monthly electricity consumption of the facility in 2021 is 718 GCal. SET values were observed at the most in January in 2021 and at least in March-April. As a result, it was concluded that the Carbon, Water and Energy Footprint results are a useful numerical guide for those who want to manage the sustainability process and can be applied in all industrial facilities. It was stated that more studies should be done in order for the researches in this area to be objective and consistent, and it was suggested that especially the data recording processes of the facilities should be standardized and databases should be created.

Keywords: Sustainable Environment, Water Footprint, Carbon Footprint, Energy Footprint, Textile, Yarn Dyeing

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
TEŞEKKÜR.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.1.1 Endüstrilerde Karbon Ayak İzi İle İlgili Literatür Çalışmaları.....	5
1.1.1.1 Ağaç İşleri, Kağıt ve Kağıt Ürünleri	7
1.1.1.2 Cam, Çimento ve Toprak	8
1.1.1.3 Gıda Sektörü	10
1.1.1.4 İnşaat Sektörü	11
1.1.1.5 Kimya, Petrol, Lastik ve Plastik.....	12
1.1.1.6 Metal Sektörü	12
1.1.1.7 Otomotiv Sektörü	13
1.1.1.8 Tekstil, Hazır Giyim, Deri.....	14
1.1.2 Endüstrilerde Su Ayak İzi İle İlgili Literatür Çalışmaları	15
1.1.2.1 Cam, Çimento ve Toprak Sektörü	19
1.1.2.2 Gıda Sektörü	20
1.1.2.3 İnşaat Sektörü	22
1.1.2.4 Kimya, Petrol, Lastik ve Plastik Sektörü	23
1.1.2.5 Metal Sektörü	24
1.1.2.6 Otomotiv Sektörü	24
1.1.2.7 Tarım, Avcılık ve Balıkçılık.....	25
1.1.2.8 Tekstil Sektörü.....	25
1.1.3 Endüstrilerde Enerji Ayak İzi İle İlgili Literatür Çalışmaları	27
1.1.3.1 Ağaç İşleri, Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri Sektörü	29
1.1.3.2 Çevre Sektörü.....	30
1.1.3.3 Gıda Sektörü	31
1.1.3.4 Metal Sektörü	31
1.1.3.5 Tekstil Sektörü.....	32

1.1.4 Karbon, Su ve Enerji Ayak İzi Literatür Çalışmalarının Değerlendirilmesi	33
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	39
2. MATERYAL VE METOT	41
2.1 Materyal	41
2.1.1 Tesis Bilgileri.....	41
2.2 Metot	47
2.2.1 Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemi	47
2.2.2 Su Ayak İzi Hesaplama Yöntemi.....	50
2.2.3 Enerji Ayak İzi Hesaplama Yöntemi	53
3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	55
3.1 Tesiste Karbon, Enerji ve Su Yönetimi İle İlgili Mevcut Durum	55
3.2 Karbon Ayak İzi Hesapları	60
3.2.1 Kapsam 1 Hesaplamaları	60
3.2.1.1 Kömür Kullanımı Nedeniyle Üretilen Karbon Miktarı.....	60
3.2.2 Kapsam 2 Hesaplamaları	62
3.2.2.1 Elektrik Kullanımından Kaynaklı Olarak Üretilen Karbon Miktarı	62
3.2.3 Kapsam 3 Hesaplamaları	62
3.2.3.1 Katı Atıkların Karbon Emisyonu	62
3.2.3.1.1 Evsel Atık Kaynaklı Karbon Emisyonu	62
3.2.3.1.2 Tehlikeli Atık Karbon Emisyonu	62
3.2.3.2 Ulaşım Nedeniyle Üretilen Karbon Emisyonu.....	63
3.2.3.2.1 Büyük Araçlar İçin Karbon Emisyonu.....	63
3.2.3.2.2 Küçük Araçlar İçin Karbon Emisyonu.....	63
3.2.3.3 Su Tüketiminin Karbon Emisyonu	63
3.3 Su Ayak İzi Hesaplamaları	67
3.3.1 Yeşil Su Ayak İzi Hesaplamaları	70
3.3.2 Mavi Su Ayak İzi Hesaplamaları	70
3.3.3 Gri Su Ayak İzi Hesaplaması.....	71
3.4 Enerji Ayak İzi Hesaplamaları	74
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Literatürde Çalışılan Farklı Sektörler İçin Ayak İzi Değerleri.....	34
Çizelge 2.1 Kapsamlarına Göre Karbon Ayak İzi Kaynakları (IPCC, 2006; IPCC, 2007).....	48
Çizelge 2.2 Karbon Hesaplamalarında Kullanılan Emisyon Faktörleri (IPCC, 2006).....	49
Çizelge 2.3 Çizelge 2.3 Küresel Isınma Potansiyelleri (IPCC 6. değerlendirme raporu, 2021 (AR6)).....	49
Çizelge 3.1 Tesiste Oluşan 2021 Yılı Atık Miktarı	56
Çizelge 3.2 Tesisin 2021 Yılı İçin Bölümlere Göre Su Kullanımı.....	57
Çizelge 3.3 Tesisin 2021 Yılı Faaliyet Verileri.....	59
Çizelge 3.4 Tesisin Aylara Göre Kömür Tüketimi (2021 yılı).....	60
Çizelge 3.5 Yakıtların Net Kalorifik Değerleri (SKETVAY, 2011).....	61
Çizelge 3.6 Tesisin araçlarının Sefer Sayıları ve Mesafeleri	63
Çizelge 3.7 Kaynaklara Ait CO ₂ , CH ₄ ,N ₂ O Emisyonları İçin karbon Eşdeğeri Sonuçları.....	64
Çizelge 3.8 Kapsam İçeriklerine Göre 2021 yılı Karbon Emisyon Miktarları.....	65
Çizelge 3.9 Tesise Ait Su Ayak İzi Bileşenleri	67
Çizelge 3.10 Tesisin Tüketilen ve Kirletilen Su Sistem Sınırları Tablosu.....	68
Çizelge 3.11 Tesisin 2021 Yılı Aylık Su Tüketim Miktarları ve Atıksu Analiz Sonuçları.....	68
Çizelge 3.12 WFGRİ Hesaplamalarında Kullanılacak Değerler.....	72
Çizelge 3.13 WFGRİ Hesaplama Sonuçları	72
Çizelge 3.14 Tesisin Makine, Teçhizat ve Ekipmanları	74
Çizelge 3.15 Tesisin 2021 Yılı Üretim ve Enerji Tüketim Verileri	75
Çizelge 3.16 Literatürde Çalışılan Tekstil Sektörü İle Bu Tez Çalışmasında İncelenen Bobinde İplik Boyama Sektörünün Değerlendirilmesi	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Ayak izi ailesi ve birbirleriyle olan ilişkileri (Mızık, Avdan, 2020).....	3
Şekil 1.2 Karbon ayak izinin sınıflandırılması (Bekiroğlu, 2011)	6
Şekil 1.3 Su Ayak İzi (Alper, 2015)	16
Şekil 1.4 Genel tanımlar (Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu, 2014).	17
Şekil 1.5 Su Ayak İzi Bileşenleri (Hoekstra vd., 2011)	18
Şekil 2.1 Bobinde İplik Boyama Vaziyet Planı	42
Şekil 2.2 Bobinde İplik Boyama Ünitesi İş Akım Şeması	44
Şekil 2.3 Bobinde İplik Boyama Ünitesi Kütle Ve Enerji Denkliği Akış Şeması.....	45
Şekil 2.4 Enerji Yönetim Sistemi (Shinkawa, 1998).....	54
Şekil 3.1 Tesisin Atık Su Arıtma Tesisi İş Akım Şeması.....	58
Şekil 3.2 Kaynaklara Ait CO2 Emisyon Miktarları(2021 yılı).....	64
Şekil 3.3 Kaynaklara Ait 2021 Yılı İçin CO2 Emisyon Miktarının Yüzdesel Dağılımı	65
Şekil 3.4 Kapsamlara Göre 2021 Yılı Yüzde Olarak Karbon Miktarları	66
Şekil 3.5 Tesisin Su Akış Diyagramı	69
Şekil 3.6 Aylık Toplam Yağış Miktarları (Meteoroloji Verisi, 1938-2017)	70
Şekil 3.7 Aylık Açık Yüzey Buharlaşma Miktarları (Meteoroloji Verisi, 1938-2017).....	71
Şekil 3.8 Tesis Yıllık Su Girdi ve Çıktıları	72
Şekil 3.9 Yıllık Toplam Su Ayak İzi Grafiği (2021 yılı)	73
Şekil 3.10 Yıllık Toplam Su Ayak İzi Yüzdesel Dağılım Grafiği(2021 yılı).....	73
Şekil 3.11 2021 Yılı Aylık Elektrik Tüketimleri.....	76
Şekil 3.12 Tesisin 2021 Üretim Değerleri	77
Şekil 3.13 Tesisin 2021 Yılı Aylık Spesifik Enerji Tüketimleri	77

SİMGELER DİZİNİ

N ₂ O	Azot Protoksit
Gcal	Gigacal
Gj	Gigajoule
CO ₂ e	Karbon Emisyon Eşdeğeri
Kg	Kilogram
Km	Kilometre
kWh	Kilowatt saat
L	Litre
CH ₄	Metan
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
Mt	Megaton
MWh	Megawatt saat
Mg	Miligram
Tj	Terajoule
t	Ton

KISALTMALAR DİZİNİ

ALF	Tarımsal Arazi Ayak İzi
BF	İnsan Hakları Ayak İzi
BLF	Gelişen Arazi Ayak İzi
CF	Karbon Ayak İzi
CLF	Ekim Alanı Ayak İzi
COF	Yolsuzluk Ayak İzi
CHF	Kimyasal Ayak İzi
ECF	Ekonomik Ayak İzi
EF	Enerji Ayak İzi
EMF	Emisyon Ayak İzi
EXF	Ekserji Ayak İzi
FF	Finansal Ayak İzi
GLF	Otlak Alan Ayak İzi
GHG	Sera Gazı Protokolü
HLF	Sağlık Ayak İzi
IPCC	Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
ISO 14064	Sera Gazı Hesaplama Standartı
İKG	İnsan Hakları Ayak İzi
JF	İş Ayak İzi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LF	Arazi Ayak İzi
NF	Nitrojen Ayak İzi
POF	Yoksulluk Ayak İzi
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNESCO	United Nations Educational Scientific and Cultural
WEF	Çalışma Ortamı Ayak İzi
WF	Su Ayak İzi
WFN	Water Footprint Network

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve yüksek lisans öğrenimimde; bana her türlü yardımı sağlayan, ihtiyacım olduğunda her an ulaşabildiğim, planlı çalışması, bilgi birikimi ile harmanlamış olduğu bilimsel desteğini benden esirgemeyen ve kurmuş olduğu iletişimle yaşam boyu örnek alınması gerektiğini düşündüğüm ve öğrencisi olmaktan onur duyduğum değerli danışman hocam Prof. Dr. Günay YILDIZ TÖRE 'ye teşekkürlerimi sunarım. Süreç boyunca tüm verilerin temin edilmesi, gerekli hesapların yapılması konusunda sabırla her soruma cevap veren, bana zaman ayıran Hasan ADALI, Feriha KARACA ve tüm tesis çalışanlarına, tüm çalışma süreçlerimde motivasyon ve iş yükü kısmında hayatımı kolaylaştıran çok değerli mesai arkadaşlarıma, hesaplama süreçlerinde bilgi ve birikimini benimle paylaşan değerli Hasan PARLAKKILIÇ'a ve hesaplama süreçlerinde veriye ulaşmamı kolaylaştıran değerli hocam Asude HANEDAR'a, her zaman yanımda hissettiğim ve mesleki bilgisi ile yardımcı olan değerli arkadaşım Minel BEKAR'a teşekkür ederim. Hayatımın her alanında maddi ve manevi hep yanımda hissettiğim, her başarımın arkasındaki emekçilerim başta annem ve babam Ülker-Nedim ÇORLU'ya, teşvik ve desteğiyle yanımda olan ablam Çiler AKKAŞ'a ve bu süreç boyunca kendi zamanından feragat eden, desteğini ve sabrını benden esirgemeyen sevgili eşim Levent ÖZTOPÇU 'ya sonsuz şükranlarımı sunarım.

Çisem ÖZTOPÇU

Çevre Mühendisi

1. GİRİŞ

1980'lerden itibaren sanayileşme, kentleşme, teknolojik ilerlemeler ve hızlı nüfus artışı gibi ekolojik sorunlar dünyayı ilgilendiren sorunlardan biri olmuştur. İnsanoğlu ise artan tüketim ve üretim ihtiyacını karşılamak amacıyla sınırsız bir kaynak olarak gördüğü doğayı sonunu düşünmeden kullanmış ve verilebilecek en büyük zararı vermiştir. Enerji üretim ve tüketim alışkanlıklarının çevre ve doğal kaynaklar üzerinde yerel, bölgesel ve küresel ölçekte olumsuz etkilere neden olduğu bilinmektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği konuları dünya gündeminde oldukça önemli bir yere sahip olmakla birlikte bu konuda yapılan çalışmaların sayısı her geçen gün artış yönünde ivme göstermektedir. Tamda bu noktada sürdürülebilirlik kavramı ortaya çıkmaktadır.

Sürdürülebilirlik kavramı; toplumun sosyal, kültürel, bilimsel, doğal ve insan kaynaklarının tümünün ihtiyatlı kullanılmasını sağlayan ve buna saygı duyma temelinde sosyal bir bakış oluşturan katılımcı bir süreç olarak tanımlanmaktadır(Gladwin vd., 1995, Aktaran: Tıraş, 2012).Sürdürülebilirlik; çevre, insan ve şimdiki kuşakların gelecek kuşaklar için sorumlulukları arasındaki ilişkiyi tanımlamak için yeniden adlandırılmış bir anlatımdır. Sürdürülebilir bir üretim için geleneksel yöntemlerden ziyade dinamik süreçlerin kullanılması ve stratejilerin devamlılık ilkesini benimseyerek endüstriyel süreçlere girmesi gerekmektedir. Dünyanın yönetim süreçlerinde iklim odaklı senaryoların, karbon ayak izi, su ayak izi ve enerji ayak izi kontrolüne dayalı, azaltım hedeflerine doğrudan etkisi olduğu açıktır. Sürdürülebilirlik kavramının çevresel boyutunda yenilenen üretim tekniklerinde yöneticilerin karbon ayak izi, su ve enerji ayak izi dünyanın önem vermesi ile birlikte işletmelerde takibe alınması gereken ve iyileştirmelerin yapılması gereken bir süreç haline gelmiştir. Rekabet edebilir şirketlerin yaratılması sürecinde ekolojik etkinin sıfırlanması hedefiyle yönetilen şirketlere yönelimin kaçınılmazlığını imkansızdır. Böylelikle karbonun, suyun ve enerjinin iş süreçlerinde izlenmesi ve bir performans göstergesi olarak tarifi edilmesi yoluna gidilmiştir.

Tekstil sektörünün karbon, su ve enerji ayak izlerini azaltmak için kilit yaklaşımların başında elektrik kullanımında enerji yönetiminin yarar sağlayacak aktif bir şekilde kullanılması ve geliştirilmesi, üretim çıktı verimliliğini maksimum seviyeye çıkaracak değişimlerin uygulamaya konması gelmektedir. Araştırılması gerçekleşen tez çalışmasında, sektörel enerji tüketim boyutu için enerji ayak izi, su tüketim sarfiyatı için su ayak izi ve karbon tüketim miktarını ortaya çıkarabilmek adına bir tekstil fabrikasının bobinde iplik boyama faaliyeti irdelenecektir.

Türkiye’de çeşitli sektörlerde karbon ayak izi, su ayak izi ve enerji ayak izi üzerine gerçekleştirilmiş lisansüstü tez çalışmaları epeyce kısıtlıdır. Akademik ve sanayi çerçevesinden bakıldığında ülkemizde karbon, enerji ve su ayak izinin birlikte değerlendirildiği çalışmaların az olduğu düşünülmektedir. Bu tez bu kapsamında yapılacak olan bobinde iplik boyama sektöründe karbon, enerji ve su ayak izi hesabı önemli bir boşluğu dolduracak ve hesaplama yapmak isteyenlere yol gösterici olacaktır.

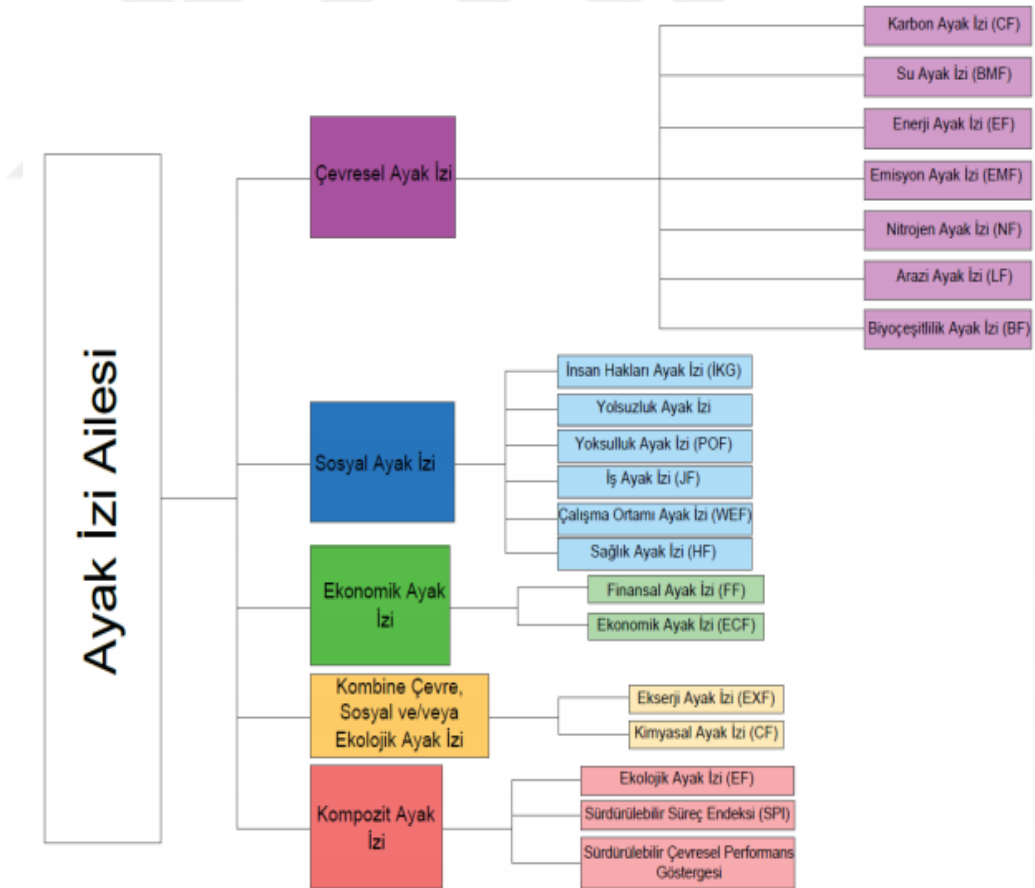
1.1 Literatür Özeti

Sürdürülebilirlik bulunduğumuz yüzyılda tüm faaliyet alanlarında oldukça öneme sahip bir kavramdır. Sürdürülebilirlik ile bugün kullanılan kaynakların gelecek nesillere kayıpsız bir şekilde aktarımı amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda ekonomik kalkınmanın sürdürülebilir bir çevre yardımıyla elde edilebileceği görüşü iktisadi, kültürel, sosyal, siyasal ve çevresel olmak üzere bütün alanlarda kabul görmektedir (Kuşat, 2013).

İnsan-çevre ilişkisi yaşanılabilir bir gelecek için sürdürülebilir kalkınma kavramının arkasındaki en büyük itici güçlerden biridir. Bugüne kadar insanlar çevreyi, uzun dönemde yaratacağı sorunları düşünmeksizin, yararlı ve tükenmeyen bir kaynak olarak görmüşlerdir. Ancak zamanla artan nüfus ve sürdürülemez tüketim ile birlikte gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde benzeri görülmemiş bir baskı oluşmuştur. Bu baskı sonucu her iki ülke grubu dünyanın hassas dengesi ve biyolojik kapasitesi üzerine tehdit oluşturmaya başlamıştır (Singh, 2014, s.27).

Sürdürülebilirliğin en önemli noktası olan çevresel sorunların değerlendirilmesi hedeflenerek çevresel ayak izleri oluşturulmuşlardır. Çevresel ayak izleri ekosistemin tüm süreçleri ile bağlantılı olup, ekosistemin kritik değerlerindeki değişimler görmezden gelinirse, doğal çevrenin biyo-fiziksel süreçlerinde telafisi olmayan değişimleri meydana getirebilmektedir (Hoekstra ve Wiedmann, 2014). Ekolojik sistemin yorumlanmasında çevresel ayak izleri vazgeçilmez bir göstergedir. Yapılan son çalışmalar ile birlikte sürdürülebilirlik kavramının yorumlanabilmesi için farklı disiplinlerin bir araya gelmesiyle Ayak İzi Ailesi kavramı ortaya çıkmıştır. Ayak İzleri, ekolojik sürecin en önemli noktası olan çevre üzerindeki insan etkisini ve bu etkiden (arazi kullanım değişimleri, arazi kaybı, nehir akışı azaltılması, su kirliliği, küresel iklim değişimleri) ve bileşke etkenlerinden (örneğin; biyoçeşitlilik azalması, insan sağlığı ve ekonomi) kaynaklanan çevresel etki sonuçlarını kolay basit bir şekilde anlatan göstergelerdir (Hoekstra ve Wiedmann, 2014).

Bu göstergelerin her biri tek tek hesaplanıp yorumlandığında farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu sebeple her bir ayak izi bütünsel bir sistem kullanılarak değerlendirilmelidir. Şekil 1.1’de gösterildiği gibi ayak izleri altı ana gruba ayrılmaktadır. Sosyal Ayak İzleri; İnsan Hakları Ayak İzi (İKG), Yolsuzluk Ayak İzi (COF), Yoksulluk Ayak İzi (POF), İş Ayak İzi (JF), Çalışma Ortamı Ayak İzi (WEF) ve Sağlık Ayak İzi (HLF) gibi insanların yaşam koşullarını değerlendirilerek sürdürülebilirliğin bir boyutu olan refahın ve sosyal imkânların sağlanması amacıyla kullanılmaktadırlar. Ekonomik Ayak İzleri; Finansal Ayak İzi (FF) ve Ekonomik Ayak İzi (ECF) olarak iki başlığa ayrılmaktadır. Kombine Çevre, sosyal veya Ekolojik Ayak İzi; Ekserji Ayak İzi (EXF) ve Kimyasal Ayak İzi (CF) olmak üzere iki alt başlık halindedir. Kompozit Ayak İzi; Ekolojik Ayak İzi (EF), Sürdürülebilir Süreç Endeksi(SPI) ve Sürdürülebilir Çevresel Performans Göstergesi olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Çevresel Ayak İzleri; Karbon Ayak İzi (CF), Su Ayak İzi (BMF), Enerji Ayak İzi (EF), Emisyon Ayak İzi (EMF), Nitrojen Ayak İzi (NF), Arazi Ayak İzi (LF), Biyoçeşitlilik Ayak İzi (BF) olarak yedi gruba ayrılmaktadır (Mızık, Avdan, 2020).



Şekil 1.1 Ayak izi ailesi ve birbirleriyle olan ilişkileri (Mızık, Avdan, 2020).

Çevresel Ayak İzi balığı altında olan Karbon Ayak İzi bir hizmet ya da ürünün tüm yaşam döngüsü sürecinde oluşan Sera Gazlarının miktarını temsil etmektedir. Karbon Ayak İzi, küresel ısınma ve iklim değişikliğine olumsuz yönde etkileyen sera gazlarının miktarını emisyon faktörleri gibi girdiler kullanılarak ölçülmektedir. Üretim prosesi içerisinde oluşan emisyonların yorumlanması için Emisyon Ayak İzi kullanılmaktadır. Emisyon Ayak İzi, hava (SO₂, partikül madde, CO, CO₂), su (Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), nitrojen ve fosfor), ve toprağa verilen hizmetlerin veya ürünlerden kaynaklanan emisyonların boyutunu ifade eder. Sürdürülebilirliğin önemli bir parametresi olan suyun tüketim miktarının değerlendirilmesi için Su Ayak İzi ifadesi kullanılır. Enerji tüketimlerin hesaplanmasında ise Enerji Ayak İzi parametresi devreye girmektedir (Mızık, Avdan, 2020). Su ayak izi tatlı su kullanımının bir göstergesidir. Yalnızca üretici veya tüketici olarak kullandığımız suyu değil aynı zamanda dolaylı yollardan tükettiğimiz su kullanımının da toplamıdır (Mekonnen, Hoekstra, 2010).

Tarımsal işlemlerde ve fosil yakıt tüketimi ile doğrudan ilişkili olarak azot elementi artmaktadır. Çevrede bulunan reaktif azotu (Nr) kullanımının insan sağlığı üzerinde hem yararlı hemde zararlı etkileri vardır (Leach vd., 2012). Tüketim ve üretim süreçlerinde oluşan azotun (Nr) boyutunun ölçülebilmesi için Nitrojen Ayak İzi ifadesi kullanılmaktadır. İnsanların üretim ve tüketimlerini gerçekleştirdikleri araziler gün geçtikçe fazlaşan nüfusla orantılı olarak değişim boyutlarının takibi sağlanarak sürdürülebilir bir arazi kullanımının oluşturulması gerekmektedir. Tam da bu noktada devreye Arazi Ayak İzi kavramı girmektedir. Bu üretim ve tüketimleri sağlayabilmeleri için kullandıkları ortamlar yani arazilerin artan nüfusa bağlı olan değişimlerinin takibinin sağlanarak sürdürülebilir bir arazi kullanımının oluşturulması gereklidir (Çuçek vd., 2012). Tüketim her geçen gün artmasıyla birlikte ekosisteme verilen tahribat her geçen gün artmaktadır. İnsanların ihtiyaçları arttıkça doğal kaynakların kullanımı doğru orantılı olarak ilerlemektedir. Doğal kaynakların bu şekilde kullanılması ile habitatların değişmesi ya da azalmasına, kirliliğe, iklim değişikliğine, ekolojik dengenin bozulmasına sebep olduğundan biyoçeşitlilik olumsuz olarak etkilenmektedir (Marques vd., 2017). Bu olumsuzlukları ortadan kaldırılarak sürdürülebilirliğin sağlanması için Biyoçeşitlilik Ayak İzi ifadesi kullanılmaktadır.

Ekolojik ayak izi hesaplamaları birçok yönden önem taşımaktadır. Ekolojik ayak izi hesaplamaları ile insanların çevre üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, dünyada tüketilen biyolojik olarak üretken alan miktarının hesaplanması, tüketim sonucunda ortaya çıkan atıkların yok edilmesi için gereken toprak ve su alanlarının büyüklüğü ve ülkelerin, kentlerin,

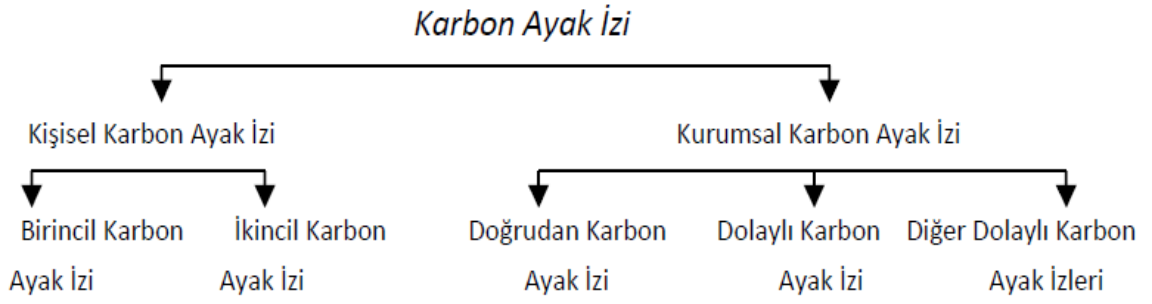
ailelerin ya da bireylerin ne kadar biyolojik üretken alan kullandıklarının belirlenmesi mümkün olmaktadır (Tosunoğlu, 2014).

1.1.1 Endüstrilerde Karbon Ayak İzi İle İlgili Literatür Çalışmaları

Küresel ısınma ve iklim değişikliği konuları dünya gündeminde önemli bir yer tutmakta ve her geçen gün bu konuda yapılan çalışmalar artmaktadır. 1997 yılında gerçekleştirilen Kyoto Protokolü ile özellikle karbondioksit ve sera etkisine sebep olan gazların azaltılması ya da azaltılamıyorsa karbon ticareti yoluyla açığın kapatılması hedeflenmiştir (Gunathilaka ve Gunawardana, 2015).

Karbon ayak izi, bir işlemin doğrudan veya dolaylı olarak neden olduğu veya bir ürünün, bireyin, bir organizasyonun, hatta bir kentin veya devletin ömrü boyunca birikmiş olan toplam Karbon Dioksit (CO₂) ve diğer sera gazı emisyon miktarının ölçüsüdür (Godier, 2010). Endüstriyel işletmelerin küresel ısınmaya olan etkilerini belirlemek amacıyla karbon ayak izi kavramı ortaya çıkmıştır. Karbon ayak izi; birim CO₂ cinsinden ölçülen, üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın boyutudur (Çınar, 2007).

Wiedmann ve Minx (2007) karbon ayak izini “Doğrudan veya dolaylı olarak bir faaliyetin neden olduğu veya bir ürünün ömrü boyunca birikmiş toplam karbondioksit (CO₂) emisyonlarının bir ölçümü” olarak tanımlamışlardır. EPLCA (2007) karbon ayak izini “Bir ürünün tedarik zinciri boyunca ve bazen ömrünü tamamladığında geri kazanımı ve bertarafıyla ilişkili karbondioksit ve diğer sera gazı emisyonlarının (metan) toplam miktarı” olarak tanımlamıştır. Peters (2010)’e göre fonksiyonel bir birimin karbon ayak izi, belirlenmiş mekânsal ve zamansal sistem sınırları kapsamında üretim ve tüketimdeki konu ile ilgili tüm emisyon kaynakları, yutakları ve depolarını dikkate alan belirli bir ölçüdeki iklim etkisidir. Galli vd. (2012)’ye göre karbon ayak izi, bireylerin, toplumların, devletlerin, şirketlerin, süreçlerin, endüstriyel sektörlerin vb. faaliyetlerini içerir. Karbon Ayak İzi sınıflandırılması Şekil 1.2’de belirtilmiştir.



Şekil 1.2 Karbon ayak izinin sınıflandırılması (Bekiroğlu, 2011)

Kyoto Protokolü ve ardından gelen Paris Anlaşması ile birlikte karbon ayak izi (CF) hesaplama çalışmaları hız kazanmıştır. Karbon ayak izi ile ilgili enerji üretiminde (Messagie, 2014; Shaikh, 2017; Dulkadiroğlu, 2018), endüstriyel üretimlerde (Flysjö vd., 2014; Gunathilaka ve Gunawardana, 2015; Garcia vd., 2016; Yan vd., 2016; Inakollu vd., 2017), tarımsal faaliyetlerde (Adewale vd., 2016; Clavreul vd., 2017; Mansour ve Jejcic, 2016), kentsel ve bireysel hesaplamalarda (Strohbach vd., 2012; Huang ve Meng, 2013; Meng vd., 2014; Su vd., 2014), ve turizmde (Dwyer vd., 2010; Puig vd., 2017) farklı metotları kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir. Toplam sera gazı emisyon miktarının birim karbondioksit eşdeğeri cinsinden ifade edilmesi ile karbon ayak izi belirlemesi yapılmaktadır. IPCC, GHG Protokol, UNFCCC, ISO 14064 standardı bu konuda ülkelere, işletmelere, üreticilere ve tüketicilere vb. yol gösterici olmaktadır.

Kişisel Karbon Ayak; Birincil Karbon Ayak İzi ve İkincil Karbon Ayak İzi olmak üzere kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. Birincil Karbon Ayak İzi: Bireylerin doğrudan kontrolünün olduğu (örneğin elektrik tüketimi, araç yakıt tüketimi vb.) CO₂ emisyonlarının ölçüsüdür. İkincil Karbon Ayak İzi: Bireylerin tükettikleri mal ve hizmetlerden kaynaklı dolaylı CO₂ emisyonlarının ölçüsüdür. Bu ayak izi mal ve hizmetlerin üretimi sürecinde meydana gelmektedir (Bekiroğlu, 2011).

Kurumsal Karbon Ayak İzi Doğrudan Karbon Ayak İzi, Dolaylı Karbon Ayak İzi ve Diğer Dolaylı Karbon Ayak İzleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Doğrudan Karbon Ayak İzi: Kurumların üretim faaliyetlerini gerçekleştirebilmeleri için kullandıkları fosil yakıtlardan kaynaklı emisyonların ölçüsüdür. Örneğin kömür, doğalgaz, vb. gibi. Dolaylı Karbon Ayak

İzi: Kurumların tükettiği elektrik enerjisinin neden olduğu emisyonlar, kurumun başka bir kurumdan satın aldığı buhar, soğutma veya sıcak suya bağlı emisyonların ölçüsüdür.

Diğer Dolaylı Karbon Ayak İzi: Kurumların kullandıkları ürünlere (örneğin hammaddeden reklam amaçlı broşürlere kadar), aldıkları taşıeron faaliyetlerine, kurumun kiralık araçlarının kullandığı yakıtlara, kurum çalışanlarının iş amaçlı kara, deniz ve hava ulaşımına bağlı tüm emisyonlarının ölçüsüdür (Bekiroğlu, 2011).

CF (Karbon ayak izi) , üretilen ürün başına salınan karbondioksit ve diğer sera gazlarının miktarıdır. Karbon ayak izi kavramı 1996 yılında ekolojik ayak izi ile ilişkili olarak ortaya çıkmıştır (Wackernagel ve Rees, 1996). Bir ürünün veya hizmetin tüm yaşam döngüsü süreçlerinin sonucunda doğrudan ve dolaylı olarak ortaya çıkan sera gazı salınımı olarak tanımlanmaktadır (Carbon Trust, 2007; IPCC, 2006; IPCC, 2007). Bu kavram, hammadde, ürün veya hizmet prosesleri, ürünün kullanımı ve ömrünü tamamlayan ürünün atık haline gelmesi gibi tüm yaşam döngü süreçlerinde açığa çıkan sera gazı emisyonlarını içermektedir. Ürünün üretilmesi için gerekli olan tüm süreçlerden ortaya çıkan emisyon miktarının sonucu, birim ürün başına ortaya çıkan eşdeğer karbondioksit miktarı olarak da tanımlanır (Patel, 2006).

Hâlihazırda karbon ayak izi ölçümleri için iki farklı yaklaşım vardır. Yaklaşım, Ürün Karbon Ayak İzi ya da Örgütsel (Kurumsal) Karbon Ayak İzi temelinde olabilir. Bir çalışma kapsamında dikkate alınacak çeşitli karbon salımı kaynakları vardır (Klopffer ve Grahl, 2014).

Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda belirtildiği gibi Karbon Ayak İzi, kurum veya bireylerin ulaşım, ısınma, elektrik, yakıt tüketimi vb. faaliyetlerinden kaynaklanan toplam sera gazı emisyon miktarının birim karbondioksit cinsinden ifade edilmesidir.

1.1.1.1 Ağaç İşleri, Kağıt ve Kağıt Ürünleri

Yapılan araştırmada Ege Bölgesi'nde bulunan 56000 m²'si kapalı olmak üzere yaklaşık 270000 m²'lik bir alanda hammadde olarak %100 hurda kağıt kullanan kağıt ve kutu üretimi yapan uluslararası bir tesis için karbon ayak izi belirleme çalışması gerçekleştirmiştir. Örnek tesiste yapılan çalışmalar neticesinde tesisin belirtilen kapsamdaki faaliyetlerinden ortaya çıkan CO₂ salımının 98896057 kg olduğu, şirket araçlarından kaynaklı CO₂ miktarı 52372 kg olduğun toplamda ortaya çıkan CO₂ salımı için sunulan çözüm önerileri ile birlikte

enerji verimliliği çalışmalarından sonra CO₂ salımında önemli ölçüde azalma olacağı vurgulanmıştır (Özlem, 2013).

Çin’de Kağıt Endüstrisinde 2005-2012 yılları arasında CO₂e emisyonu üzerine hesaplama çalışmaları yapılmış ve 126 Megaton ile 155 Megaton arasında değiştiği gözlenmiştir. 2005 yılında CO₂e emisyonu 126 Megaton iken 2012 yılında 148 Megaton olarak belirlenmiştir. CO₂e emisyonlarının yıllık artışı %2,3’lük artış oranı ile %17’nin üzerinde arttığı gözlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalar ile kıyaslandığında bu çalışmada tahmin edilen enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂e emisyonlarının yerel emisyon envanterinin benimsenmesi ile %4,7 daha düşük çıktığı kanıtlanmıştır. Kâğıt endüstrisinde fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması ile karbon azaltımının olabileceği vurgulanmıştır. Temiz üretim, yenilenebilir enerji teşvikleri ve geri kazanımların önemi vurgulanmıştır (Wang ve ark., 2016).

1.1.1.2 Cam, Çimento ve Toprak

Üç adet farklı tiplerde çimento tesislerine kurum-ürün yaklaşımının (OP-LCA) MC3 metodolojisi uygulanarak karbon ve ekolojik ayak izi hesaplanması yapılmıştır. Klasik bir entegre tesis (A), bir öğütme tesisi (B) ve mevcut en iyi teknikleri sunan entegre bir tesis (C) olarak üçe ayrılmıştır. A tesisi için karbon ayak izi 1,00, B tesisi için 0,91 ve C tesisi için 0,79 CO₂/ton çimento olarak hesaplanmıştır. A tesisi için doğrudan emisyonlar (%75,33) ve atıklar (%17,98), B tesisi için malzemeler (%75,07) ve hizmetler (%14,60), C tesisi için doğrudan emisyonlar (%77,06) ve atıklar (%15,18)’in oluşturduğu da çalışmada belirlenmiştir (Cagiao ve ark., 2011).

Hindistan’da Karad kentinde yığın tipi fırınlarda üretilen tuğlalar ve diğer fırınlarda üretilen tuğlaların karbon ayak izi beşikten beşiğe olarak hesaplanmış ve değerler karşılaştırılmıştır. Yığın tipi fırınlarda Dolochar olmak üzere başlıca üç yakıt yakıldığı ve küspe yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonu ve hammadde taşınması hariç 162 gram CO₂/kg ateş tuğla olduğu, küspe yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonu ve hammadde taşınması dahil edildiğinde bu değer 195 gram CO₂/kg ateş tuğla olduğu hesaplanmıştır. Yapılan karşılaştırmalar nedeni ile tuğla üretimi yapılırken seçilecek teknolojiye karar verilmesinde önemli bir rol oynayacağına değinilmiştir. Karad yığınlarında üretilen tuğlaların ABD, Kanada ve İngiltere’deki üretilen tuğlalardan daha düşük karbon ayak izine sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bunun sebebi olarak Karad yığın fırınlarında insan gücünün daha

fazla kullanılması ile birlikte enerji girdisinin az olması olabileceği belirtilmiştir (Kulkarni ve ark., 2016).

Optik fiber üretimi OFS Norcross Fabrikasında tesiste ultra saf cam çubukların yapımından uzatılmış sıcak elyaflara kadar tüm süreç, yüksek hacimde kimyasallar ve yoğun enerji kullanmayı içerdiğinden karbon ayak izini hesaplamışlardır. Tesisteki tüketimler Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 olarak ayrılmış ve hesaplamalar yapılmıştır. Kapsam 1 Emisyonları 2013-2016 yılları arası için 2013 yılında 7452, 2014 yılında 6148, 2015 yılına 5369, 2016 yılında 5839 (2016) ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Kapsam 2 emisyon değerleri, 2013 yılında 65264443, 2014 yılında 67335370, 2015 yılında 71039097 ve 2016 yılında 72051735 kg CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Kapsam 3 emisyonları ham madde kaynaklı olanların gizlilik açısından verilmemesi sebebiyle açıkça belirtilmemiştir. Son olarak belirlenen emisyon faktörleri sırasıyla 2013 yılı için 6,60, 2014 yılı için 5,17, 2015 yılı için 4,77, 2016 yılı için 4,81 (2016) ton CO₂e /milyon metre fiberdir. Kapsam 1 emisyonları son birkaç yılda azalmaktadır ancak Kapsam 2 emisyonları önemli ölçüde artmıştır. Çalışma sektör açısından öncü kabul edilirken çalışmada karbon salınımı azaltmak için geliştirilen projelerden bahsedilmiştir (Inakollu ve ark., 2017).

İçecek sektöründe kullanılan cam ambalajın tesis inşaatı ve kurulumu, ham madde elde edilmesi ve işlenmesi, ulaşım, üretim ve tesis atık yönetimi aşamalarındaki çevresel etkileri uluslararası standartlar olan ISO 14040 ve ISO 14044 serisine göre uygulanmıştır. CML 2001 etki değerlendirme yöntemi kullanılarak on bir adet çevresel etki kategorisi değerlendirilmiştir. Çalışmada 1 kg cam şişe üretiminin küresel ısınma potansiyeli 1,2 kg CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Cam şişenin yaşam döngüsü karbon ayak izinin yaklaşık olarak %84'ü üretim, %7'si ham madde elde edilmesinden, %5'i taşımacılıktan, %3'ü tesis kurulumu ve kalan kısmının da atık yönetimi basamağından kaynaklandığı bulunmuştur. Hesaplanan çevresel etkiler incelendiğinde en fazla etkinin geldiği yaşam döngüsü basamağının enerji yoğunluğundan dolayı cam üretimi (%4,6 ADP-%89,0 MAETP) olduğu görülmüştür. Yapılan çevresel sürdürülebilirlik çalışması sonucunda üretim basamağından kaynaklanan emisyonların azaltılması için enerji ve ham madde girdileri ile ilgili iyileştirme çalışmalarına yoğunluk verilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur (Türkmen, 2020).

1.1.1.3 Gıda Sektörü

Gıda maddelerinde ambalaj olarak kullanılan, geri dönüştürülen polietilen tereftalattan beşikten beşiğe karbon ayak izi üzerine çalışmalar yürütülmüştür. %85 geri dönüştürülmüş 1 kg tepsi için karbon ayak izinin 1,538 kg CO₂e olduğu hesaplanmıştır. Ham madde %45, imalat %38 ikincil paketlenme % 5 nakliye %3 ve ömür sonu aşamalarının %9 yaşam döngüsünde sera gazlarını oluşturulduğu belirlemiştir. Tepsinin geri dönüştürülmemiş içerik kullanılarak üretildiği durumda karbon ayak izi 3,64 kg CO₂e /kg olduğu, şu anda tepsileri %85 geri dönüştürülmüş polietilen tereftalattan ile üreterek, geri dönüştürülmüş içeriğin kullanılmadığı duruma kıyasla karbon ayak izinin %58 oranında azaltıldığı da ayrıca belirlenmiştir. Eğer tepsi %100 geri dönüştürülmüş içerik kullanılarak üretilirse, karbon ayak izinin mevcut %85 geri dönüştürülmüş içerik senaryosuna göre %24 oranında daha azaltılabileceği üzerinde durulmuştur (Dormer ve ark., 2013).

Taze süt ürünleri, tereyağı ve tereyağı harmanları, peynir, süt tozu ve peynir altı suyu bazı ürünler ve diğerlerinin karbon ayak izi hesaplanmıştır. Bu sektör oldukça geniş bir üretim ağına sahiptir. Hesaplamalar neticesinde taze süt ürünleri 1 kg CO₂e /kg, tereyağı ve tereyağı karışımı 1-8 kg CO₂e /kg, peynir 1-6 kg CO₂e /kg, süt tozu ve peynir altı suyu bazı ürünler 5-7,4 kg CO₂e /kg ve diğer ürünler 1,2 kg CO₂e /kg karbon ayak izine sahip olduğu tespit edilmiştir (Flysjö ve ark., 2014).

Meksika'daki dört şeker fabrikası örneklem kabul edilerek şekerin tarladan nihai ürüne kadar tüm sürecini araştırmaya dahil edilmiş olup karbon ayak izi hesaplanmıştır. Sonuçlara göre şeker üretiminin 0,45–0,63 kg CO₂e / kg aralığında karbon ayak izi değerlerine sahip olduğunu belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde tarımsal aşamanın (%59-74), enerji tüketiminin (%14-%30), ulaşımın ise (%10-13) katkıda bulunduğu hesaplanmıştır. Diğer ülkeler işle karşılaştırılma yapılmış ve diğer ülkelere göre sonucun yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu değerler Brezilya için 0,23-0,24 kg CO₂e /kg şeker aralığında, Mauritius için 0,255 kg CO₂e /kg şeker ve Tayland içinse 0,55 kgCO₂e /kg şeker olduğuna ve Tayland için bulunan sonucun kendilerinininkine olan benzerliğine değinilmiştir (Garcia ve ark., 2016).

Arjantin'de üretilen balın proses analiz temelli aşağıdan yukarıya (bottom-up) yaklaşımı ile ISO 14040'a LCA yöntemi kullanılarak karbon ayak izi hesaplaması Ulusal olarak karbon ayak izi hesaplanmasının yapılabilmesi için ülkeye özgü enerji ((başta elektrik, doğal veya tüp gaz) ve teknoloji koşulları belirlenmiştir. Ulusal seviyedeki karbon

emisyoununun 2,25 kg CO₂ /kg bal'a kadar ulařtıđı ve bu deđerin ortalama (2,11±0,093) kg CO₂ /kg bal)'dan %6,6 daha yůksek olduđu hesaplanmıřtır. Buenos Aires eyaletindeki bal ۆretiminde toplam karbon emisyonunun 2,17±0,13 kg CO₂/kg bal olduđu da ayrıca belirtilmektedir. Bal ۆretimi ve limana ulařtırılmasından kaynaklanan toplam karbon emisyonunun proses emisyonlarının %90,7'lik, kovan yۆnetiminin %7,6'lık ve nakliyenin %1,7'lik katkısıyla ortalama 2,50±0,17 kg CO₂/kg bal olduđu da verilenler arasındadır. Ayrıca, Entre Ríos, Mendoza ve Misiones eyaletlerinin, ekstraksiyon iřleminde daha dűřűk enerji verimliliđi nedeniyle daha yůksek karbon ayak izi gۆsterdiđi, Buenos Aires ve Cordoba'nınsa, temelde, proses ekstraksiyonu sırasında dűřűk spesifik enerji sarfıyatı nedeniyle karbon emisyonlarında daha az etkili olduđu tespit edilmiřtir (Mujica ve ark., 2016).

Bursa bۆlgesinde faaliyet gۆsteren 72 bař sađmal sűt sıđırı kapasiteli bir sűt sıđırı iřletmesi Tier 1 yaklařımı kullanarak karbon ayak izi hesaplaması yapılmıřtır. İřletmenin karbon ayak izi 1 litre sűt ۆretimine karřılık 2,9 kg CO₂ olarak belirlenmiřtir. İřletmenin girdi ve ۆıktılarının karbon ayak izi ۆzerindeki etkileri açısından deđerlendirildiđinde en bűyűk kısmını enterik CH₄ emisyonunun oluřturduđu ve iřletmede kullanılan elektriđin ise en kűűk paya sahip olduđu tespit edilmiřtir. Bu kapsamda, enterik CH₄ emisyonunu azaltacak, yem rasyonunda deđeriklik, yeme ilave maddeler eklenmesi, sindirim oranını artıracak kimyasal maddeler ve enterik metan ۆretiminde bűyűk rol oynayan iřkembedeki mikroorganizma sayısının azaltılması gibi çeřitli stratejilerin uygulanması ۆnerilmektedir (Kılıç ve ark., 2017).

Aydın ili Sultanhisar ilçesinde kurulu bulunan bir meyve suyu fabrikasındaki konsantre řeftali pűresi ۆretim hattı ۆrnek olarak incelenmiř ve gerçek ۆretim verileri kullanılarak, ISO 14040 ve 14044'te belirtilen adımlar izlenerek karbon ayak izi hesaplanmıřtır. Sonuç olarak, birim ۆrűn için karbon ayak izi 0,82 kg CO₂e/kg konsantre ۆrűn, enerji ayak izi 4443 kJ/kg konsantre ۆrűn ve su ayak izi 2,59 m³ su/kg konsantre ۆrűn olarak hesaplanmıřtır. Tarımsal ۆretim karbon ayak izi ve su ayak izinin en ۆnemli etkeni olduđu enerji ayak izine ise en bűyűk etkenin ısı enerjisi olduđu ۆzerinde durulmuřtur (Gűneř, 2020).

1.1.1.4 İnřaat Sektűrű

Zonguldak ilinin Gűkebey ilçesinde faaliyetlerini sűrdűren anakcılar Seramik Sanayi Ticaret ve Anonim řirketi'nin karbon ayak izini ve karbon maliyetleri hesaplamıřtır.

Tesis sağlık gereçleri seramik ve vitrifiye fabrikasının 2015 yılı üretimine ait bütün karbon ayak izi miktarı 7967 ton CO₂ bu miktarın 7553 tonu doğrudan karbon ayak izi olarak gerçekleşirken, 414 tonluk kısmı dolaylı karbon ayak izi olarak gerçekleşmiştir. 2016 yılında ise toplam karbon ayak izi 9054 ton CO₂ bu miktarın da 8511 tonu doğrudan karbon ayak izi olarak gerçekleşirken, 542 tonluk kısmı dolaylı karbon ayak izi olarak gerçekleşmiştir. Her iki yılda da toplam karbon ayak izinin yaklaşık %95’lik kısmı doğrudan karbon ayak izinden oluşurken geriye kalan %5’lik kısım dolaylı karbon ayak izi olduğu ve bunun sebebinin doğalgaz kullanımından meydana geldiğı gözlenmiştir. Dolaylı karbon ayak büyük bir bölümü elektrik enerjisi kullanımından kaynaklandığı belirtilmiştir (Küçüker, 2017).

1.1.1.5 Kimya, Petrol, Lastik ve Plastik

Türkiye’de faaliyet gösteren ve yıllık üretimi ortalama 17500 ton kauçuk ürün olan bir firmanın karbon ayak izinin belirlemiş ve farklı sektörlerle karşılaştırma yapmışlardır. Hesaplamalar “Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Yaklaşımı” kapsamında IPCC’nin Tier-1 metodolojisine ait formül kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda kaynaklara göre değerlendirildiğinde 42609000 kg CO₂e /yıl ham madde, 6900000 kg CO₂e /yıl elektrik tüketimi, 3774096 kg CO₂e/yıl doğalgaz tüketimi, 1595145 kg CO₂e/yıl motorin, 140328 kg CO₂e/yıl taşımacılık, 39000 kg CO₂e/yıl endüstriyel atık olmak üzere yıllık toplam karbon ayak izi miktarı yaklaşık 55000000 kg CO₂e/yıl bulunmuştur. Çalışma sonucunda tahmin edilen kauçuk sektörü karbon ayak izi değeri farklı sektörlerde yapılan çalışmalarla karşılaştırılmış ve kağıt üretimi ile 2, çimento ile 4 ve şeker üretimi ile 6 kat daha fazla karbon ayak izine sahipken fiber optik sektöründe 23 tekstil sektöründen de 27 kat daha az karbon ayak izine sahip olduğu kanıtlanmıştır (Mutlu ve ark., 2018).

1.1.1.6 Metal Sektörü

Çanakkale ili yakınlarında bulunan, yaklaşık 120000 m²’lik alanda (13058 m²’si kapalı) yolcu ve her türlü gemi yük hizmetlerini karşılayabilecek yapısı, atık kabul tesisi ve atık alım)tankerleri ile Çanakkale Boğazı demir mevkilerine de hizmet veren ISPS koda sahip bir atık kabul tesisi için karbon ayak izinin belirlenmesini ve öngörülen atık yağın proseste işlenmesi yerine denizcilik yakıtı üretmek için piroliz ünitesi kurulması, kimyasal atık su arıtma ünitesine DAF veya NF-UF membran sisteminin ilave edilmesi, kazanlarda kalorifer yakıtı yerine doğalgaz kullanımı, saha aydınlatmalarında led lambaların kullanılması, şirket araçlarının yakıtının veya şirket araçlarının elektrikli araçlarla değiştirilmesi, karbon kredisi

satın alınması ve ağaçlandırma senaryoları ile karbon ayak izinin ne kadar azalacağını araştırılması yapılmıştır. İşletme, liman sahası (gümrüklü saha) ve atık kabul tesisi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Tesisteki sera gazı emisyon hesabı yapılırken IPCC 2006 Kılavuzu baz alınarak Tier-1, Tier-2, Tier-3 yöntemleri kullanılmıştır. 2013 yılında atık alım gemileri ile açıkta bekleyen limana yanaşan gemilerden 203528 m³ atık alınmıştır. 2013 yılında liman ve atık kabul tesisine bağlı olarak işletmeden kaynaklanan toplam sera gazı emisyonu 3217 ton CO₂/yıl eşdeğeri" Bu miktarın %46"sı atık alım gemilerinde kullanılan yakıttan, %39"u elektrik tüketiminden, %7"si kazanlarda kullanılan yakıt tüketiminden, %6"sı su tüketiminden, %2"si şirket araçlarında kullanılan yakıt tüketiminden ve çok küçük bir kısmı da sahada kullanılan vinç ve forkliftlerden (%< 0.1) kaynaklanmaktadır. Öngörülen senaryolar kapsamında piroliz ünitesi kurulması tesiste toplam sera gazı emisyonları dolaylı olarak %100, kimyasal atık su arıtma ünitesine NF-UF sistemi ilave edilmesi halinde %10, kazanlarda doğalgaz kullanımı %2, şirket araçlarının elektrikli araçlarla değişimi %1 oranında azaltacağı vurgulanmıştır. Karbon kredisi satın alınması ve ağaçlandırma yapılması tesisten kaynaklanan sera gazı emisyonlarını sıfırlayacaktır. Bu çalışmada ortaya koyulan senaryoların ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen, maliyetler 1-2 senede kendini amorti edebileceği vurgulanmıştır (Toröz, 2015).

Demir-çelik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede 2016-2017 yıllarına ilişkin kütle denge yöntemi ile karbon ayak izi hesaplanmış ve çevresel maliyetleri ile karbon maliyetleri yorumlanmıştır. 2016 yılındaki karbon ayak izi 4,78 ton CO₂ emisyonu iken, 2017 yılında 4,22 ton CO₂ emisyonu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca 2016 yılında birim karbon maliyeti 128,04 TL/ton iken 2017 yılında bu rakam 117,95 TL/ton olarak azalmıştır. Ayrıca işletmenin 2016 ve 2017 yılında emisyon kaynaklı maliyetlerin, toplam çevresel maliyetlerin %99'unu oluşturduğu görülmektedir. 2016 yılında işletmenin ton başına üretim maliyetleri içerisindeki karbon emisyon maliyetleri yaklaşık % 9 oranında iken, 2017 yılında ise % 8 oranına düştüğü tespit edilmiştir. Bu yüzden karbon ayak izi çalışmalarının devamlılığının, ölçülmesinin ve önleme çalışmalarının önemine değinilmiştir (Demircioğlu ve ark., 2020).

1.1.1.7 Otomotiv Sektörü

Hyundai Motor Company'de otomobil sektöründe karbon ayak izi ve tedarik zinciri yönetimini incelemek üzere 1. derece tedarikçi gruplarından oluşan 10 katılımcı şirket ile çalışma yürütülmüştür. CO₂ ölçüm metodolojisi bakımından Avrupa Birliği-Emisyon Ticaret

Sistemi, hesaplama tabanlı bir metodoloji ve doğrudan ölçüm temelli bir metodolojiye olarak sağlamıştır. Ekim 2009 ile Mart 2010 arasında gerçekleştirilen bu örnek çalışmada seçilmiş tedarikçilerin toplam kapsam 121613 ton CO₂e ve toplam kapsam 2 emisyonları 80692 ton CO₂e ve toplam karbon ayak izi 102305 ton CO₂e değerleri sırasıyla olarak belirlenmiştir (Lee, 2011).

Çalışan sayısı 2341 olan, toplam alanı 550000 m² olan ve 38000 ağaç tesis içerisinde bulunan otomotiv fabrikasının karbon ayak izi, IPCC tier 1 yaklaşımına ait formül kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, sera gazı protokolünde bulunan kapsamlar (kapsam 1, kapsam 2, ve kapsam 3) hesaplanmıştır. 1702458 ton CO₂e Kapsam 1, 1478236 ton CO₂e Kapsam 21430388 ton CO₂e Kapsam 3 gelmektedir. Çalışmada karbon ayak izini azaltmak için bunun azaltılması için güneş enerjisi ve karbon yatağı olarak yeşil alanların genişletilmesi için ağaç dikilmesi önerilmiş ve bununla ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda fabrikada özellikle güneş enerjisi kullanarak bir yılda azaltılan karbon miktarından toplam olarak kazanç:7434078 € olacağı belirtilmiştir. Aynı zamanda fabrikada çalışan sayısı olan 2.341 kullanılarak çalışanların bir yılda yaklaşık 1365 ton CO₂e karbon ayak izi ürettiği belirtilmiş ve rakamsal değer olduğu üzerinde durulmuştur. Tesiste bir metre karede bir yılda 5,81 ton CO₂e /m² üretilmiştir (Sreng, 2016).

1.1.1.8 Tekstil, Hazır Giyim, Deri

Çin’de 2010 ve 2011 yıllarında Shandong ve Jiangsu’da iki tekstil firmasının on bir tekstil fabrikası üzerinde on üç tip kumaş için karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Karbon ayak izi için endüstriyel süreçler karbon ayak izi ve dolaylı karbon ayak izi olarak iki kısma ayrılmıştır. Doğrudan karbon ayak izi, kimyasal reaksiyonların neden olduğu proses emisyonları veya fosil yakıt yakma emisyonları gibi doğrudan tekstil endüstriyel proseslerinden gelen sera gazı emisyonları kaynaklıdır. Dolaylı karbon ayak izi, endüstriyel hammadde, yardımcı malzemeler ve ikincil enerji tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarıdır. Yün kumaşlar için 13,81 kilogram (kg) CO₂e/kg ve pamuk kumaşlar için 5,34 kg CO₂e/kg karbon ayak izi hesaplanmıştır. Gri kumaş ise 1,81 kg CO₂e/kg ile en düşük karbon ayak izine sahiptir. Gri kumaş üretiminde düşük karbon ayak izinin sebebi diğer kumaşlara göre prosesinin daha basit olmasından kaynaklandığı vurgulanmıştır. Toplam karbon ayak izi 86,34 kg CO₂e/kg) olarak belirlenmiş olup dolaylı karbon ayak izi doğrudan karbon ayak izinden yaklaşık 9 kat fazla olduğu çalışmalarda kanıtlanmıştır. Son olarak çalışmada, tekstil kumaşının karbon ayak izinin ana kaynağının enerji tüketimi özellikle de

elektrik tüketimi olduğu üzerine durulmuş, enerji verimliliği çalışmaları ile karbon ayak izinin azaltılabileceği vurgulanmıştır (Yan ve ark., 2016).

Marmara bölgesinde doğalgaz enerjisi, elektrik enerjisi ve dizel yakıt tüketen, kumaş ve halı üreten tesis için Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli (IPCC) 2006 Kılavuzuna (IPCC, 2006) uygun olarak Tier yöntemleri kullanılarak enerji ayak izi ve karbon ayak izi hesaplanmıştır. Tesiste 450 ton ham yün ve 150 ton ham polyester kullanılarak, yıllık 475 ton kumaş (% 80 yün-% 20 polyester karışımı) üretilmiştir. Hammadde üretiminin oluşturmuş olduğu karbon ayak izi değeri olan 21,4 kg-CO₂e/kg-kumaş tüm süreçler arasında en yüksek değeri oluşturmaktadır. Bu değeri sırasıyla kazan dairesi faaliyetleri, iklimlendirme faaliyetleri ve (ofis + atık su arıtma) faaliyetleri takip etmektedir. En düşük karbon ayak izi değerini 0,14 kg-CO₂e/kg-kumaş ile gaze işleme oluşturmuştur. Tesisteki üretimden kaynaklanan toplam karbon ayak izi 31,2 kg-CO₂e/kg-kumaş olarak hesaplanmıştır. Yün ve polyester hammaddelerin üretimleri sırasındaki ve üretilen kumaşların nakliyatı sonucu ortaya çıkan emisyonlar dahil olmak üzere, kumaş üretiminin toplam karbon ayak izi 52,8 kg-CO₂e/kg-kumaş olarak bulunmuştur (Keskin ve ark., 2017).

1.1.2 Endüstrilerde Su Ayak İzi İle İlgili Literatür Çalışmaları

Dünya üzerinde hayatın kaynağı olarak adlandırılan suyun, dünyamızın üçte ikisini insan vücudunun %70'ni kapladığını görüyoruz. İkinci enerji unsurlarımızdan olan su yaşamsal faaliyetlerimizde olmazsa olmazımızdır. Dünyanın su rezervlerinin sadece %3'nün tatlı su olduğunu biliyoruz. Sahip olunan bu %3'lük kısımdaki tatlı suların kaynaklarının bir kısmı yeraltında bir kısmı ise kutuplardadır. Bu ekosistemde hayatını sürdüren insanların tatlı suya erişme imkanları %1'dir. Maalesef suyun önemi halen anlaşılmış değildir. İklimde sadece iki derecelik bir artış bile 1-4 milyar insanın suya ulaşmasına engel olacaktır. İklimle bağlı su döngüsünün sistemi bozulduğunda bazı yerler su sıkıntısı çekerken bazı yerler sular altında kalacaktır. Su dengesinin bozulması insalara kuraklık veya seller olarak yansımaktadır.

Dünyada 2.6 milyar insanın hijyen olanaklarından yoksun olduğu bilinmekle birlikte 884 milyon insanın ise temiz su kaynaklarına erişiminin olmadığı bilinmektedir. Günümüzde nüfusun altıda birinin günlük temizlik ihtiyaçlarını gidermek için 50 litre temiz su kaynakları bulunmamaktadır. Güncel bir Mckinsey raporuna göre bugün 4500 milyar metreküp olan su ihtiyacının, 2030 yılında ise 6900 milyar metreküpe kadar artacağı öngörülmüyor. Bu artış kullanılabilir ve güvenli su kaynaklarının yüzde 40 fazlasını ifade etmektedir. Bu gidişat

hepimiz için tehlike arz ediyor. Tam da bu noktada, elimizde bulunan su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımının ne kadar önemli olduğu karşımıza çıkıyor. Suyu korumak ve su yönetimini sağlayabilmek sürdürülebilirliğin baş koşuludur (Türkiye'nin Su ayak izi raporu, 2014 aktaran: Alper, 2015).

Şekil 1.3'te gösterilen 'Su Ayak İzi' terimi, Su Ayak İzi Ağı (Water Footprint Network-WFN) ile Hollanda'daki Twente Üniversitesi tarafından ortaya çıkarılmıştır. Bir hizmet veya ürün üretmek için tüm yaşam döngüsü süreçlerini kapsayan gerekli tatlı su miktarının boyutunu gösteren su ayak izi; tüketicinin ürünü kullanmasından hammaddenin işlenmesinden ve ömrünü tamamlayan ürünü atığa dönmesine kadar geçen tüm döngüsünü kapsar. Su ayak izi kavramı bu şekilde hem dolaylı hem de doğrudan su kullanımını içermektedir. Su ayak izi çalışmaları ilk olarak, herhangi bir ülkenin su kaynaklarını ve doğrudan üretimdeki suya olan ihtiyacı ortaya çıkarmak için tüm ülkede yapılmıştır. Her geçen gün dünyanın gündeminde daha fazla yer olan su ayak izi çalışmaları; şirketler, şahıslar, ticari ürünler, özel sektör tarafından da şirketlerin tedarik zincirlerinin incelenmesinde kullanılmaya başlanmıştır (Türkiye'nin Su ayak izi raporu, 2014).



Şekil 1.3 Su Ayak İzi (Alper, 2015)

Günümüzde tükenebilen doğal kaynak olarak görülmeyen suyun aslında tükenme tehdidi ile karşı karşıyayız. Bu bağlamda su kullanımının ölçümü ve etkisi sürdürülebilirlik raporlarının konu başlıklarından birini oluşturmaktadır.

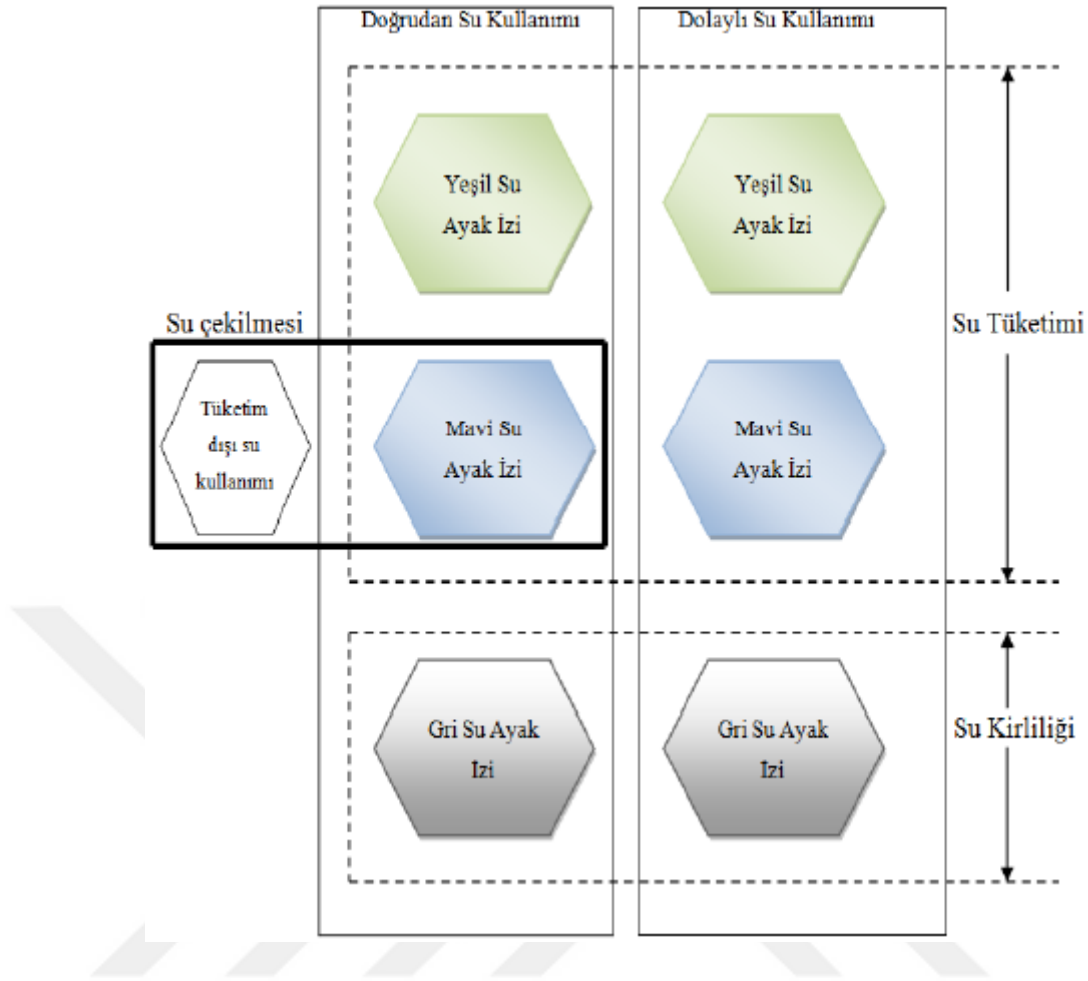
Su Ayak İzi, birim zamanda harcanan (buharlaşıma dâhil) ve/veya kirletilen su miktarı ile ölçülmektedir. Bir bireyin, toplumun veya iş kolunun su ayak izi; bireyin veya toplumun tükettiği malların ve hizmetlerin üretimi için kullanılan veya üreticinin mal ve hizmet üretimi için kullandığı toplam temiz su kaynaklarının miktarıdır (Water Footprint Network, 2012).

Su ayak izi kavramı su kullanımına yönelik alternatif bir göstergedir. Sistemden çekilen su miktarı yerine tüketilen su miktarını inceleyen su ayak izi, bu anlamda geleneksel su istatistiklerinden farklıdır (Hoekstra, 2003). Şekil 1.4'te gösterildiği gibi mavi, yeşil ve gri su ayak izi; su ayak izinde su kullanımını ve kalitesini temsil eden üç bileşendir.



Şekil 1.4 Genel tanımlar (Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu, 2014).

Yeşil su ayak izi, yağmur suyu tüketimini belirterek; özellikle mahsul üretimi ile ilgilidir. Mavi su ayak izi, yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının tüketimini ifade ederek; buharlaşan veya başka bir su toplama alanına dönüşü olan veya bir ürüne eklenerek tüketilen su hacmi olarak tanımlanır. Mavi su ayak izi çoğu kez su çekilmesinden daha küçüktür, çünkü su çekilmesiyle bir kısmı yeraltı veya yüzey suyuna genellikle dönebilir. Gri su ayak izi, tatlı su kirliliği derecesinin bir göstergesidir ve mevcut ortam suyu kalitesi standartlarına göre kirlileti yükünün bertaraf edilmesi ya da azaltılması için gerekli tatlı su hacmi olarak tanımlanır (Hoekstra ve Mekonnen, 2012). Su ayak izini değerlendirmede genel amaç, insan faaliyetlerinin veya belirli ürünlerin su kısıtlılığı ve kirliliği ile ilgili olduğunu, faaliyetlerin ve ürünlerin su perspektifinden nasıl daha sürdürülebilir hale gelebileceğini analiz etmektir (Dursun, 2019). Şekil 1.5'te su ayak izi bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 1.5 Su Ayak İzi Bileşenleri (Hoekstra vd., 2011)

Su ayak izi sadece suyun hacimsel miktarını değil, kullanılan suyun türünü (yeşil, mavi, gri), nerede ve ne zaman kullanıldığını da gösteren bir değerlendirmedir. Su ayak izi bir ürünün, çok kapsamlı bir ifadesidir. Gömülü su veya saklı su içeriği kullanılan suyun sadece miktarı üzerine bilgi verir. Miktar, kullanılan suyun sadece bir teknik bilgisidir. Kullanılan suyun zaman, yeri, türü de miktar kadar önemli teknik bilgilerindendir. Bir üreticinin ya da tüketicinin saklı su içeriğinin yanı sıra su ayak izinden bahsetmek çok daha etkin olmaktadır (Türkiye'nin Su ayak izi raporu, 2014).

Su Ayak İzi hesaplaması sürdürülebilirlik kavramı ile ilişkilendirilip yeni önem kazanmaya başlayan bir ekolojik süreçtir. Yeni uygulanmakta olan bir süreç olduğu için birçok alanda kullanılsa da, literatürde çok fazla yer almamaktadır. Yine de alt uygulamalarla bağdaştırıldığında bazı kaynaklara ulaşılabilmektedir.

1.1.2.1 Cam, Çimento ve Toprak Sektörü

Yapılan çalışmada su tüketimi ayak izi (mavi ve yeşil su ayak izlerinin toplamı) ve teorik su kirliliği ayak izi (gri su ayak izi) ölçmüşlerdir. Bir tuğlanın toplam su tüketim ayak izi 2.02 L, mavi su 1,71 L (%84,8) ve yeşil su 0,31 L (%15,2) olarak belirlenmiştir. Bir tuğlanın teorik gri su ayak izi 1,3 L olarak bulunmuştur; bu değer, atık su deşarjından önce yerinde atık su arıtımı yapılmasaydı daha yüksek olacaktı. Bir tuğlanın su ayak izini azaltmak için tuğla üretim süreçlerinde su tutam analizi teknikleri uygulanmış, doğrudan yeniden kullanım/geri dönüşüm ve su rejenerasyonu olmak üzere iki su geri kazanım şeması araştırılmıştır. İlki için, su hedeflemesi ilk olarak malzeme geri kazanım sıkıştırma diyagramı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, su kaynaklarının daha fazla yeniden kullanım/geri dönüşüm için kısmen saflaştırılması için bir durdurma ünitesinin kullanıldığı su rejenerasyonunun hedeflenmesi için cebirsel bir teknik kullanılmıştır. Daha sonra en yakın komşu algoritması kullanılarak su debisi hedeflerini karşılayan ağ tasarlanmıştır. Hesaplama, standart su tüketimi ayak izinin yalnızca %15,6 oranında azalmasıyla doğrudan yeniden kullanım/geri dönüşüm planının azaldığını göstermektedir. Su rejenerasyon planı ise (sistemik olmayan bir su rejenerasyon planına dayanan) mevcut değeri %56,4 oranında iyileştirmiştir. Analiz, tuğla üretim endüstrisi sürdürülebilir su yönetimi stratejileri uyguladığında bir tuğlanın su tüketimi ayak izinin iyileştiğini açıkça göstermektedir (Skouteris ve ark., 2018).

Batı İran'da bulunan çimento fabrikasının sistem sınır analizi kullanarak enerji tüketiminin türüne, ulaşım ve insan etkilerine dayalı olarak çimento üretiminin su ayak izini değerlendirmek için yapılmıştır. Seçilen çimento fabrikasının toplam su ayak izinin 2016 yılında $3614 \times 10^6 \text{ m}^3$ olduğunu ve her bir ton çimento üretimi başına 2126 m^3 su tüketim yoğunluğunun kuru bölgelerde çimento endüstrisinin hayatta kalma riskini gösterdiğini göstermektedir. Seçilen çimento fabrikasında sanal su tüketiminin toplam su ayak izi değerinin yüzde 90'ına katkıda bulunduğunu göstermiştir. Sanal su tüketiminin yoğunluğunun, vaka çalışması tesisinin doğrudan su tüketiminden 9.3 kat daha fazla olan enerji kaynaklarıyla ilgili olduğunu göstermektedir. Su ayak izinin en etkili şekilde rüzgar ve güneş enerjisinin daha büyük katkılarına geçilerek azaltılabileceği üzerinde durulmuştur (Hosseinian ve ark., 2018).

Yapılan çalışmada, hem proses işlemlerin uygulaması sırasında kullanılan su miktarlarını hem de ürün olarak satılan mamullerin sanal su ve su ayak izini hesaplanmıştır.

Blok ve plak üretiminde sanal su ve su ayak izi en düşük olan ürün m^3 başına sanal su 630 litre, mavi su ayak izi 630 litredir. Katrak plakaların sanal su ve su yak izlerinin daha fazla olduğu gözlenmiştir. En büyük oran ise katrak Plaka Cilalı Ebatlı m^3 başına sanal su 6650 litre, mavi su ayak izi 1330 litre, gri su ayak izi ise 5320 litredir. Moloz ve Strip üretiminde sanal su ve su ayak izine bakıldığında en düşük ürün ham moloz m^3 başına sanal su 380 litre, mavi su ayak izi 380 litredir. En yüksek ürün ise S/T cilalı ebatlı m^3 başına sanal su 4185 litre mavi su 837 litre, gri su 3348 litre sonucuna varılmıştır (Mutlutürk, 2018).

1.1.2.2 Gıda Sektörü

İtalya'da kurulan Barilla şirketindeki makarna üretiminin su ayak izini Yaşam Döngüsü Değerlendirme (ISO 14040) metodu yardımıyla incelemişlerdir. Yapılan hesaplamada bir kg Barilla makarnası için İtalya'da 1,336 l/kg su ayak iziyken Türkiye'de 2,847 l/kg olduğu saptanmıştır (Ruini ve ark., 2013).

Romanya'da orta ölçekli bir şarap üretim tesisinde üretilen 750 ml'lik bir şişe şarabın, farklı yağış rejimleriyle 4 yıllık bir süre için değerlendirilen su ayak izi değerlendirmesine odaklanmışlardır. Değerlendirme, kaynaktan nihai ürüne kadar ilgili süreç aşamalarının yanı sıra mevcut emisyonlar ve çevresel etkilerin sunulduğu üretim zinciri şemasına dayanmaktadır. Toplam su ayak izinin neredeyse %99'unun, %82'si yeşil, %3'ü mavi ve %15'i gri olmak üzere tedarik zinciri su kullanımıyla ilgili olduğunu göstermiştir. Ayrıca şarapçılık endüstrisi için sürdürülebilir uygulama önerileri seçilmiş ve uluslararası ilgili örneklerle dayalı olarak kısaca tartışılmıştır (Ene ve ark., 2013).

Avustralya'daki üç vaka çalışmasında karbon ve su ayak izleri düşük hassasiyetli bir tarama düzeyinde gerçekleştirilmiştir: Smith'in patates cipsi, OneHarvest Calypso™ mango ve seçili Hazine Şarap Tarlaları ürünleri içeren gıda endüstrisinde çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Smith'in patates cipsi için, su kullanımının büyük çoğunluğu (%87) patates bitkilerinin sulanmasında meydana geldiği ortaya çıkmıştır. Diğer gıda bileşenlerinin (bitkisel yağlar ve aroma bileşenleri) üretiminin çok daha az su (%10) gerektirdiğini ve diğer değer zinciri aşamalarında su kullanımı önemsiz olduğu vurgulanmıştır. Bazı patates tarım bölgelerinin su stresinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmasının bir sonucu olarak, su ayak izi büyük ölçüde patates sulama ile belirlenmiştir (%96). OneHarvest Calypso™ mango durumunda, değer zincirinde tüketilen su kullanımı da ağırlıklı olarak mahsul sulaması olduğu vurgulanmıştır (%98). Meyve bahçesi sulaması, su ayak izinin yalnızca %63'ünü temsil ettiği

analiz edilmiştir. Ambalaj malzemelerinin imalatı (ağırlıklı olarak oluklu mukavva kutu) su ayak izine %20, tarım kimyasallarının imalatı ise %14 daha katkıda bulunmuştur. Hazine Şarap Siteleri ürünlerinin seçimi için, tüketilen su kullanımı esas olarak bağda (%97)'dir (Ridoutt ve ark., 2016).

2001–2008 dönemi boyunca İspanyol domuz sektörünün su ayak izini hesaplamayı amaçlamışlar ve ortalama 19,5 milyar m³ /yıl (%82 yeşil, %8 mavi, %10 gri) olarak tahmin etmişlerdir. Bu dönemde su ayak izinin, artan ihracat nedeniyle %23 arttığı çalışmada vurgulanmıştır. Konsantre yem üretmek için gereken suyun yarısının İspanya'dan geldiği ve kalan %50'si ithal hammadde ürünlerinden kaynaklandığı bilindiği vurgulanmıştır. Dört farklı domuz üretim sisteminin su ayak izinin değerlendirilmesi, kapsamlı sistemlerde yetiştirilen domuzların, bir ton canlı hayvan başına en büyük su ayak izine sahip olduğunu gösterdiği söylenmiştir. Domuz sektörü, İspanya'daki en büyük doğal kaynak tüketicilerinden biridir ve bu nedenle tarım, çevre ve su politikalarında önemli bir odak noktası olması gerektiği çalışmada vurgulanmıştır (Hoekstra ve ark., 2015).

Çinli işletmenin süt ürünleri sanayi zincirindeki bir süt çiftliği ve beş işleme tesisini, ISO 14046 kullanılarak kapsamlı bir su ayak izi değerlendirmesi için seçmişlerdir. Sonuçlar, tesislerdeki su ayak izinin sadece toplam tatlı su tüketimi ve üretimi ile ilgili olmadığını aynı zamanda su kaynaklarının kıtlığı ile de ilişkili olduğunu göstermiştir. Mandıra için dolaylı su ayak izi, toplam su ayak izinin %92'sinden fazlasını oluşturduğunu ve doğrudan su kıtlığı ayak izinden çok daha büyük olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada su kirlenmesi ayak izi sonuçları, su ötrofikasyonu kirliliğinin (NH₃-N, TP ve TN) etkisinin organik kirlilikten (COD) daha büyük olduğunu ortaya koymuştur. Su ötrofikasyonuna, nitrojen kirleticilerinin fosfor kirleticilerinden çok daha fazla katkıda bulunduğu vurgulanmıştır (Bai ve ark., 2018).

Süt endüstrisi atık su arıtma tesislerinin gri su ayak izi hesaplanmıştır. Bu çalışmada, arıtma prosesi olmayan (Senaryo-1), Çözünmüş Hava Flotasyonu (DAF) kullanılarak birincil arıtma (Senaryo-2), DAF ve Yukarı Akışlı Çamur Yatağı (UASB) reaktörü kullanılarak ikincil arıtma (Senaryo-3) olmak üzere dört arıtma senaryosu kullanılmıştır. Ters ozmoz (RO) (Senaryo-4) uygulayan bir yeniden kullanım uygulamasına sahip bir DAF ve UASB, tam ölçekli bir süt endüstrisi su arıtma tesisi için incelenmiştir. Bu dört senaryo için WFN yöntemi kullanılarak gri su ayak izi değerlendirmesi üç kirletici parametre, kimyasal oksijen talebi, yağ ve gres ve toplam askıda katı maddeler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar kimyasal oksijen ihtiyacı için Senaryo-4'ün gri su ayak izinin 5,6 m³/gün değeriyle en düşük

olduğunu ve Senaryo-1 toplam askıda katı madde 41026 m³/gün ile en yüksek gri su ayak izine sahip olduğunu göstermiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre, yeniden kullanım uygulamaları gri su ayak izini değerlerini düşürdüğü sonucuna varılmıştır (Yapıcıoğlu, 2019).

İspanya’da şarabın aşağıdan yukarı bir metodoloji kullanarak mavi ayak izini hesaplamışlardır. Üzüm bağlarını sulamak için su kullanımının 1935'ten 1990'ların başına kadar çok düşük seviyelerde kaldığını ancak 1994'ten itibaren mavi su ayak izinin giderek arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, bu önemli artış Castilla-La Mancha'nın dört ilinde yoğunlaşmıştır. Bu bölge düşük fiyatlı şarap segmentinde uzmanlaşmış olmasına rağmen, ilave su uygulaması mahsulün verimliliğini ve karlılığını artırmıştır. Bu nedenle, şarap mavisi su ayak izinin analizi, ilk olarak güçlü büyümesinin zaman ufkunu ve mekânsal dağılımını kesin olarak belirlemesini sağlamıştır. Şarap mavi su ayak izinin artması sulanan üzüm bağları alanındaki artış ile doğru orantılı olduğu ve Castilla-La Mancha bölgesindeki su basıncı sorunlarına ve su kaynaklarının tükenmesine ne ölçüde katkıda bulunduğunu belirlenmesini sağlamıştır (Ayude ve ark., 2020).

İnek sütü üretimindeki su ayak izi parametreleri belirlenmiştir. Çiftlik ve fabrika olarak iki bölümde değerlendirilmiş ve dört bölümden oluşan bir denklem ile su ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda günlük 1 ton inek sütü üretiminde ineklerin tükettiği su miktarı 1714 litre, ineklerin tükettiği yemin su ayak izi 218953 litre, fabrikada kullanılan enerjinin su ayak izi 7789 litre ve makinelerin temizlenmesi için kullanılan su miktarı 2670 litre olarak bulunmuştur. Bunların toplamında 1 ton inek sütü üretimi için günlük su ayak izi 231126 litre (231,126884 m³) olarak belirlenmiştir. İnek sütü üretiminin su ayak izinde hayvanların tükettiği yem miktarı en etkin faktör olarak öne çıkmaktadır. Kullanılan yemleri üretiminde daha az su tüketimine sahip yem bitkilerinin seçilmesi su ayak izini azaltabilmektedir. Çalışmaya ek olarak bireysel süt tüketimi için bir anket çalışması da yapılmıştır. Ankette 750 katılımcıya inek sütü tüketimi ile ilgili sorular yönetilmiş ve su ayak izi değerlendirilmesi yapılmıştır. Haftada 1 bardak süt tüketen kişilerin haftalık su ayak izi 46,22 litre iken haftada 5 litre süt satın alan kişilerin haftalık su ayak izi 1156 litredir (Teke ve Kahya, 2021).

1.1.2.3 İnşaat Sektörü

Beş inşaat malzemesinin yaşam döngüsü envanteri ve su ayak izi muhasebe prosedürleri izlenerek üretim zincirleri boyunca mavi ve gri su ayak izini

değerlendirmişlerdir; krom-nikel alaşımsız çelik, alaşımsız çelik, Portland çimentosu (CEM I), Portland kompozit çimentosu (CEM II/B) ve soda-kireç camı. Krom-nikel alaşımsız çelik, kritik kirletici olarak kadmiyum ile 77 l/kg mavi su ayak izine ve 1500 l/kg gri su ayak izine sahip olduğunu bulmuşlardır. Alaşımsız çeliğin mavi su ayak izi 11 l/kg ve gri su ayak izi 2300 l/kg'dır ve yine kritik kirletici olarak kadmiyum bulunduğunu vurgulamışlardır. Portland çimentosu (CEM I), alçı kaynağına bağlı olarak 2,0–2,6 l/kg mavi su ayak izine sahip olduğu bulunmuştur. Üretim için baca gazı kükürt giderme işleminden elde edilen alçıtaşı kullanılıyorsa, gri su ayak izi 210 l/kg'dır. Alçı taşı kullanılmadığında, kritik kirletici olarak kadmiyum ile gri su ayak izi 0,63 l/kg'dır. Portland kompozit çimentosu (CEM II/B), 1,7–2,1 l/kg mavi su ayak izine sahip olduğu bulunmuştur. Gri su ayak izi 210 l/kg olduğu çalışmada bulunan farklı bir değerdir. Baca gazı kükürt giderme işleminden kaynaklanan alçı olmadan gri su ayak izi kadmiyum tarafından belirlenen 0,45 l/kg olarak bulunmuştur. Soda-kireç düz camın mavi su ayak izi 5,8 l/kg bulunmuştur. Kritik kirletici askıda katı maddelerle birlikte düz camın gri su ayak izinin 1300 l/kg olduğu bulunmuştur (Gerbens-Leenes ve ark., 2018).

1.1.2.4 Kimya, Petrol, Lastik ve Plastik Sektörü

0,5 litrelik bir pet şişedeki karbonatlı bir içeceğin tedarik zinciri sürecindeki su ayak izini hesaplamışlardır. Çalışmada içeceğin bileşenlerinin (şeker kamışı, şeker pancarı, su, tatlandırıcı) ve fabrikada kullanılan şişe ve ambalaj malzemelerinin (kapak, tutkal, etiket) su ayak izleri dikkate alınmıştır. İşlemde kullanılan şekerin en yüksek mavi su ayak izi (124 litre) Pakistan'dan şeker kamışı baz alınarak, en düşük (7 litre) ise Hollanda'dan şeker pancarı baz alınarak; gri su ayak izi en düşük (2,4 litre) Brezilya'dan şeker kamışı baz alınarak ve en yüksek (12 litre) tatlandırıcı Çin baz alınarak hesaplanmıştır. Bir şişenin üretimi için kullanılan mavi su ayak izi 0,5 litre, yeşil ve gri su ayak izi ise sıfır olarak hesaplanmıştır (Ercin ve ark., 2011).

Brezilya'daki bir kozmetik şirket tarafından tedarik zinciri, operasyonel, operasyonel(enerji),dağıtım, kullanım aşaması, bertaraf aşaması olmak üzere su ayak izi hesaplanmıştır. Yıl bazında tedarik zincirinin su ayak izi gri su ayak izi 198826785m³,mavi su ayak izi 16391764 m³, yeşil su ayak izi 58958665 m³, olmak üzere 268 milyon m³ olduğu bulunmuştur. Operasyonel su ayak izi yıl bazında mavi su ayak izi 104496m³, gri su ayak izi 87649 m³ toplam su ayak izi 196145 m³ olduğu bulunmuştur. Yapılan incelemelerde en büyük su ayak izi olarak gri (%52,3) ve ardından yeşil (%30.5) ve mavi (%17.2) su ayak izi olduğu sonucuna varılmıştır (Francke ve Castro, 2013).

Türkiye'de bulunan tam ölçekli bir boya sanayi atık su arıtma tesisi için su ayak izinin mevsimsel değişimi hesaplanmıştır. Gri su ayak izi, Su Ayak İzi Ağı metodolojisi ile değerlendirilmiştir. Kimyasal Oksijen İhtiyacı, Toplam Askıda Katı Madde ve Yağ ve Gres kirletici parametrelerdir. Tesisin su tüketimi, çamur arıtımı, proses suyu kullanımı ve diğer konut faaliyetlerini içeren mavi su ayak izi bileşeni olarak tanımlanmaktadır. Sonuçlara göre maksimum gri su ayak izi Mayıs ayında $2455 \text{ m}^3 / \text{ay}$ değeri olarak ölçülmüştür. En az toplam gri su ayak izi $536 \text{ m}^3 / \text{ay}$ ile Ağustos ayına ilişkindir. Mart ayında toplam mavi su ayak izi $4867 \text{ m}^3 / \text{yıl}$ ve tepe değeri $422 \text{ m}^3 / \text{Ay}$ 'dır. Araştırmaya göre gri su ayak izi, mavi ayak izinden daha yüksektir. Sonuçlar, su ayak izini azaltmak için KOİ giderim verimliliğinin artırılması ve atık su yeniden kullanım alternatiflerinin uygulanması gerektiğini ortaya koymaktadır (Yapıcıoğlu ve ark., 2019).

1.1.2.5 Metal Sektörü

Doğu Çin'deki bir demir fabrikasını örnek olarak kullanarak, doğrudan ve sanal su ayak izlerini içeren bir su ayak izi hesaplama modeli geliştirilmiştir. Demir-çelik endüstrisinin özelliklerini bir yaşam döngüsü değerlendirmesi perspektifinden analiz edilmiştir. Su ayak izi hesaplamalarının sonuçlarına göre bir su risk değerlendirmesi yapmıştır. Seçilen demir fabrikasının 2011 yılında sanal su dahil $2,24 \times 10^7 \text{ m}^3$ su tüketim (mavi su) ayak izine ve $6.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ teorik su kirliliği (gri su) ayak izine sahip olması, işletmenin ciddi bir risk oluşturduğu sonucunu ortaya çıkmıştır (Gu ve ark., 2015).

1.1.2.6 Otomotiv Sektörü

Veriler Volvo'nun İsveç'teki (Umea ve Tuve) iki üretim tesisinde toplanır ve Umeå'da su arıtımında membran damıtma (MD), Umeå'da su ve yağ giderme maddesinin devridaimi, Umeå'da fosfatlama işleminde devridaim edilen suyun elektro-deiyonizasyonu (EDI), Tuve'de silan bazlı metal yüzey işleme, su kullanımı, elektrik kullanımı ve malzeme kullanımı açısından kaynak verimliliği, kirliliğin önlenmesi, yeniden kullanan, geri dönüştüren veya geri kazanılan teknolojilere odaklanarak döngüsel ekonomi olmak üzere yedi adet senaryo test edilmiştir. İmalat endüstrisinde su ayak izinin niteliksel ve niceliksel değerlendirmesi için bir yöntem oluşturulmuştur. Bu çalışmada süreçlerdeki kaç değişikliğin göstergeleri etkilediğini anlamak için yöneticilere farklı senaryoları karşılaştırmak amacıyla oluşturulmuştur (Romeni ve ark., 2019).

1.1.2.7 Tarım, Avcılık ve Balıkçılık

Diyarbakır ilinde tarım, hayvancılık, endüstriyel üretim ve evsel kullanımından kaynaklanan mavi ve yeşil su ayak izlerinin detaylı olarak analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmasını yaparken il genelinde su kullanan sektör ve süreçlerin karşılaştırmalı olarak incelenmiş, şehrin su yönetim ve planlama çalışmalarına destek olmayı hedeflemiştir. Bu bağlamda tarım ve hayvancılık sektörleri ile evsel ve endüstriyel su kullanımlarının mavi ve yeşil su ayak izleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bölgedeki sanayi hacminin nispeten az olması ve il genelindeki su kirliliği verilerinin kısıtlı olmasından dolayı gri su ayak izi bu çalışma kapsamında incelenmemiştir. Bölgede ekimi çok yapılan 32 farklı bitki türünün toplam su kullanımları ve sanal su muhtevaları modellenmiştir. Su kullanımı yönünden en önemli tarımsal ürünler; arpa, buğday, mercimek, mısır, pamuk ve üzüm olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında yetiştirilen en önemli ürün ise buğday olarak belirlenmiştir. Bunlara ilaveten, kurak sezonda, tarımsal ürün hasat miktarlarının düşmesine rağmen bitki su ayak izlerinin arttığı bulunmuştur. Mavi su kullanımının sulak sezonda düştüğü, kurak sezonda ise yaklaşık iki katına çıktığı hesaplanmıştır. Mavi su kullanımının yüksek olması, özellikle çalışma alanının karasal iklim kuşağında yer alması dolayısıyla evapotranspirasyon miktarlarındaki yükseklik ile açıklanmıştır (Muratoğlu, 2019).

1.1.2.8 Tekstil Sektörü

Mavi su ayak izi ve doğrudan gri su ayak izini tekstil sektörü düzeyinde su ayak izi metodolojisi ile birlikte analiz etmek için çalışma yapılmıştır. Mavi su ayak izinin 2001'den 2011'e kadar sürekli arttığını göstermiştir. Mavi su ayak izi 2004'ten beri 0,92 gigametre-küp /yılı aşmış ve 2007'de 1.09 gigametre-küp /yıl ile zirve değerine yükselmiştir. Hem gri hem de mavi su ayak izi kimyasal oksijen ihtiyacının konstrasyonuna dayalı olarak hesaplanmıştır. Çin tekstil endüstrisinin üç alt sektörü arasında, tekstil sektörünün yıllık mavi su ayak izi ve gri su ayak izi imalatı, tekstil giyim, ayakkabı, şapka imalatı ve kimyasal elyaf imalatı sektöründen çok daha büyük olduğu vurgulanmıştır. Tatlı su kullanımı, atık su üretimi ve deşarjı ile su tasarrufu ve atık su arıtma teknolojilerinin yaygınlaştırılmasına ilişkin kısıtlama politikalarının çıkarılması çabalarıyla yıldan yıla küçüleceğinin önemi vurgulanmıştır (Wang ve ark., 2013).

Pamuk ürünü yetiştirmek için Aydın, Adana, Antalya, Diyarbakır, İzmir ve Şanlıurfa illerinde su ayak izi ayrı ayrı hesaplanarak hangi ilde su ayak izinin daha az olacağı

araştırmasını Cropwat programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve örnek tekstil proseslerinde su ayak izi hesaplamaları uygulanmıştır BAT dokümanı referans alıp örnek proseslerde de iyileşmeye gidilerek ve seçilen birinci firmada % 54 su , % 22 enerji, ikinci firmada de % 30 kimyasal, % 50 doğalgaz tasarrufunu sağlamış olup 150 L su ile 1 kg kumaş boyanırken 150 L 40 L düşürülmüştür. Böylelikle %70 oranında tasarruf sağlanmıştır. Pamuk bitkisinin dünyada mavi su ayak izinin, yeşil su ayak izinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Adana ili 5,13 ton/ha verimi ile en yüksek verime sahip ildir. Mavi ve Yeşil su ayak izleri toplamına baktığımızda en düşük ildir. Bu sonuçlara göre eğer pamuğu Adana'da üretimini artırırsak diğer illere göre su tasarrufunu da artırılmış olunur (Alper, 2015).

Çin'in tekstil sektörünün 2001 yılından 2014 yılına kadar mavi su ayak izi, gri su ayak izi ve toplam su ayak izindeki değişimleri hesaplanmıştır. Su ayak izi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki daha sonra Tapio ayrıştırma modeli kullanılarak incelenmiş olup logaritmik ortalama Divisia indeksi (LMDI) yöntemi ile su ayak izini etkileyen faktörler belirlenmiştir. Çin tekstil endüstrisinin su ayak izinin beş yıl boyunca (2003, 2006, 2008, 2011 ve 2013) güçlü bir şekilde ayrıştığını ve dört yıl boyunca (2005, 2007, 2009 ve 2010) zayıf bir şekilde ayrıldığını göstermektedir. 2001–2014 yılları arasında bir ayrışma eğilimi meydana gelmiş ancak istikrarlı bir ayrışma gerçekleşmemiştir. Çalışmada ayrışma analizine göre, toplam su ayak izi, üretim ile birlikte büyük ölçüde arttığı gözlenmiştir (Li ve ark., 2017).

Çin tekstil endüstrisini ve onun üç alt endüstrisinin su ayak izi ve ayrıştırma teorileri ile birlikte su tüketimi, ayrıştırması, atık su deşarjı ayrıştırması ile su tüketiminin ve atık su deşarjının çifte ayrıştırılmasının analiz edilmesi üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmada su ayak izi hesaplamaları, ayrıştırma modeli ile harmanlanıp yorumlanmıştır. Tekstil endüstrisinin su ayak izi (WF) ile tekstil endüstrisinin toplam çıktı değeri (G) ayrıştırma ilişkisi ortaya konulmuştur. D_{G_WF} Bağıntısı ile su ayak izi ile tekstil endüstrisinin ekonomik büyümesi arasındaki ayrıştırma esnekliği endeksi olarak tanımlamak için ayrıştırma esnekliği yöntemi benimsenmiştir. Çin'in tekstil endüstrisinde su tüketimi ayrıştırması ve atık su deşarjı ayrıştırması daha yüksektir. 2002'den 2015'e kadar olan 14 hesaplama sonucu arasında, su tüketimi ayrışmasına göre 7 yıl güçlü ayrışma (2003, 2006, 2008, 2009, 2011, 2013, 2015) ve 3 yıl zayıf ayrışma (2005, 2007, 2010) göstermektedir. Atık su deşarjı ayrıştırmasına göre, yedi yıl güçlü ayrıştırma (2002, 2003, 2008, 2010, 2013, 2014, 2015) ve 6 yıl zayıf ayrışma (2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2011) göstermektedir. Çin'in tekstil endüstrisinde su tüketimi ve atık su deşarjının çifte ayrıştırılma belirlenebilmesi adına 14 hesaplama yapılmıştır.

14 hesaplamanın sonuçları; 6 yıl güçlü ayrışma (2003, 2006, 2008, 2011, 2013, 2015) ve 4 yıl zayıf ayrışma (2005, 2007, 2009, 2010) göstermektedir. Genel olarak, tekstil endüstrisinin su tüketimi ve atık su deşarjının çifte ayrışması daha yüksektir. Su tüketiminin ve atık su deşarjının çifte ayrılması, tekli su tüketiminin ayrıştırılmasından veya tekli atık su deşarjının ayrıştırılmasından daha etkilidir. Su tüketimi ve atık su deşarjının çifte ayrıştırılmasını sağlamak için gereken yıl sayısı açısından, 10 yıl çifte ayrıştırma, 6 yıl güçlü ayrıştırma ve 4 yıl zayıf ayrıştırma göstermiştir. Su tüketimi ayırma ve atık su deşarjı ayırma ile karşılaştırıldığında, çift ayırma sonucu daha düşüktür. Ayrıştırma yıllarında ayrıştırma indeksi açısından, çift ayrıştırma yıllarında elde edilen toplam, 249 olup, yüksek ayrıştırma yıllarında su tüketimi (250) ve atık su deşarjından (325) daha düşüktür. Genel olarak, Çin'in tekstil endüstrisindeki su tüketimi ve atık su deşarjının çifte ayrıştırılması, tekli su tüketimi ayrıştırması ve tekli atık su deşarjı ayrıştırmasına kıyasla iyimser değil. Bu senaryo, su tüketimi ve atık su deşarjının çifte ayrıştırılmasının sağlanması için koşulların daha katı olduğunu doğrular, bu da su kaynaklarının yönetim düzeyinin iyileştirilmesi için daha yüksek bir referans önemi anlamına gelir (Li ve ark., 2019).

1.1.3 Endüstrilerde Enerji Ayak İzi İle İlgili Literatür Çalışmaları

Enerji, bir ulusun medeniyet seviyesinin yükseltilmesi, ekonomik ve sosyal kalkınması için oluşturacağı tüm sistemlerin temel girdilerinden birisidir. Medeniyet seviyesi ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak, kullanıcıların ihtiyaç duyduğu veya istediği konfor koşullarını sağlamak için enerji kullanımı gerekli olmaktadır. Dolayısıyla, sürdürülebilir bir kalkınma ve refah seviyesi için sürekli ve kaliteli bir enerji talebine gerek olacaktır (Karaca, 2011). Dünyada çarpıcı derecede artan sanayileşme ve sosyal refah seviyesi artışı doğrultusunda enerji kullanımının artması enerji kaynakları, enerji tüketimi ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi konuları sürekli gündemde tutmaktadır.

Enerji tüketiminin artması sera gazlarından ikisinin (CO_2 ve H_2O) atmosfere pompalanmasına sebep olduğundan küresel ısınma ve küresel iklim değişikliğine sebebiyet verir demektir. CF ürün ve işlemlerin yaşam boyunca çevreyi kirletmeleri ile ilgili olup insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın birim karbondioksit veya karbon cinsinden ölçülen miktarıdır. CF iki gurutpan oluşur: Birincil ayak izi evsel enerji tüketimi ve ulaşım (otomobil, kamyon, uçak gibi) dahil olmak üzere fosil yakıtlarının yanmasından ortaya çıkan doğrudan CO_2 emisyonlarının ölçüsüdür. İkincil ayak izi kullandığımız ürünlerin tüm yaşam

döngüsünden bu ürünlerin imalatı ve en sonunda bozulma veya hurdaya dönmesiyle ilgili olan dolaylı CO2 emisyonlarının ölçüsüdür.

Örneğin ikincil enerji olan elektrik enerjisinin 1 kWh'i; üretim sürecinde atmosfere ½ kg'a yakın CO2 emisyon salınımı yapar. Enerji kullanmadan; bir fabrikayı işletmek, seyahat etmek, tarım ürünleri üretmek, mal ve hizmetleri üreticiden tüketiciye ulaştırmak imkânsızdır (Aslan ve Yamak, 2006). EF ve CF, mal ve hizmetlerin ekolojik ayak izleri ile yakın ilişkili parametrelerdir.

Genelde sanayi tesislerinde yüksek verimli motorların kullanılması, basınçlı hava sistemlerinden oluşan kaçakların engellenmesi, kompresör emiş havasının dışarıdan alınması, yakma havasının ısıtılması, kirlenmiş maddeden ısının geri kazanılması, buhar boru sistemlerinin yalıtımı, tesislerdeki elektrik güç faktörünün düzeltilmesi gibi birçok tedbir alınarak enerji verimliliği sağlanabilir. Motor veriminin artırılması bu önlemlerin en yaygın uygulanabilecek olanıdır. Gelişmiş özellikteki motorların farklı yüklerdeki verimleri, eski tip teknolojiye sahip motorlara kıyasla daha yüksek olduğu için enerjiyi daha verimli bir biçimde kullanmaktadır (Kavak, 2005). Sanayide enerji verimliliği sağlamanın bir yolu da klima sistemlerinin optimizasyonu, toz tutma üniteleri, verimli aydınlatma armatürlerinin kullanılmasıdır (Karyeyen, Özgören ve Kaçak, 2012).

Enerjinin ülkemizde verimli yönetilememesi cari açıkta enerji payının yüksek olmasına sebebiyet vermektedir.2013 yılının verilerine göre 56 Milyar \$'lık enerji ithalatı, cari açığın %85'inden fazlasına karşılık gelmektedir (Anonim, 2014).

Enerjiye erişim, sürdürülebilir kentsel şehirlerin su kaynaklarının azalmasına ve su kirliliğine neden olan bir engel olabilir. Ayrıca, artan iklim endişeleri, enerji tasarrufu, enerji verimliliği ve enerji ikamesi, tüm dünyada yaygın bir kalkınma ilkesi haline gelmiştir (Friedrich ve ark., 2008).

Enerji analizi, birçok ekonomik ve teknik kapsamlı çalışmayı gerektirmesine karşılık, temelde pazara sunulacak olan ürün veya hizmetin üretiminin, enerji kullanım etkinliği açısından mümkün olup olmadığını irdelemek amacıyla yapılmaktadır. Enerji analizinde üretim sisteminin daha çok mühendislik boyutu ön plana çıkmaktadır (Öztürk, 2011).

Endüstriyel tesislerde enerji verimliliğini sağlayabilmek adına makine ve ekipmanların periyodik bakımı, teknolojiye ayak uydurması ve ayarlanması, ısı kaybını ve enerji kaybını

önleyebilmek için ısı ve enerji yönetiminin kullanılması, uygun yalıtım malzemelerinin kullanılması, bir prosesteki enerji ve ısı atıklarının başka bir proseste girdi olarak kullanılması, enerji verimliliğini arttırabilmek için proses kontrolünün olumlu olarak iyileştirilmesi, süreçlerin enerji verimliliği arttıracak düzeyde düzenlenmesi, girdilerin yeniden kullanılması ve geri dönüşümü vb. farklı teknik işlemlerle geliştirilebilir (Tanaka, 2011).

Sürdürülebilir kalkınmanın temel esasları arasında enerjinin temininin sürekliliğinin sağlanması, doğal dengeye etkisinin en aza indirgenmesi ve enerji temininin sosyal maliyetinin azaltılması yer almaktadır. Enerji ayak izi ise üretilen ürün başına tüketilen enerji miktarıdır.

1.1.3.1 Ağaç İşleri, Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri Sektörü

Avrupa ülkelerindeki (Hollanda, Polonya ve İsveç) kâğıt fabrikalarının enerji maliyetlerini, birincil enerji kullanımını ve CO₂ emisyonlarını azaltıp azaltamayacağını araştırmışlardır. Doğal gazın uzun vadeli yurt içi mevcudiyeti nedeniyle büyük ölçüde Hollanda'da uygulanan bir doğal gaz kombine çevriminin en düşük birincil enerji talebine sahip olduğu bulunmuştur. Birçok İsveçli değirmen, bir enerji kaynağı olarak biyokütle kullanır ve ulusal şebekenin düşük CO₂ emisyonları nedeniyle İsveç kâğıt endüstrisinin CO₂ emisyon profili çok düşük olduğu bulunmuştur. Ortalama 800 kg CO₂/ton kâğıt azaltımıyla, kömürden biyokütleyle geçiş, Polonya kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrisinde CO₂ emisyonlarını yaklaşık 0,6 Mton/yıl azaltacağı öngörülmüştür. Doğal gazın yüksek payı nedeniyle, Hollanda kâğıt endüstrisinin CO₂ emisyonu azaltma potansiyeli (1.5 Mton/yıl) Polonya'dakinden bile daha fazla olduğu ortaya çıkarılmıştır. Doğal gazın yüksek biyokütle fiyatları ve nispeten düşük CO₂ emisyon profili nedeniyle, Hollanda'da bir değişimi tetiklemek için 60 €/ton CO₂'den fazla bir karbon fiyatlarına ihtiyaç duyulacağı düşünülmektedir. Birkaç alternatifle sağlanan Hollanda'daki en etkili strateji, enerji verimliliğinin artırılması üzerinde vurgu yapılmıştır (Laurijssen ve ark., 2012).

Stora Enso Co. Ltd.'yi (Beihai, Çin) ait dört şehrin 15 ilçesine kadar uzanan 1600 hektarlık alanda 900000 ton ağartılmış okalıptüs kimyasal hamuru üretim ve süreçlerinde enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını Sera Gazı Protokolüne Göre: Kurumsal Muhasebe ve Raporlamaya göre hesaplamışlardır. Ana enerji arzı kaynakları sırasıyla 30057300 GJ ve 14854000 GJ sağlayan fosil yakıtlar olduğu ayrıca dizelin malzeme taşımacılığında ürettiği

enerji 11624256 GJ'ye ulaştığı vurgulanmıştır. Ana enerji tüketim süreçleri, yardımcı mühendislik projeleri, malzeme taşımacılığı, kâğıt yapımı, alkali geri kazanımı, kâğıt hamuru ve diğer üretim atölyelerini içerdiği ortaya çıkarılmıştır. Enerji tüketim yüzdeleri %26, %18, %15, %10 ve %6, sırasıyla. başlıca karbon kaynakları sırasıyla 770000 tona ve 1,39 milyon tona ulaşan kömür ve orman biyokütlesidir. Karbon emisyonları ağırlıklı olarak yakıt yanmasında ve malzeme taşımacılığında dizel yanmasında meydana gelmekte olduğu sırasıyla 6,8 milyon ton ve 790 ton karbona ulaştığı çalışma sonucu elde edilen verilerdendir (Zhao ve ark., 2019).

Çeşitli gramajlarda kuşeli ve kuşesiz karton üretimi yapan bir tesise ait 4020 m³/gün kurulu kapasite ile 24 saat çalışan bir atık su arıtma tesisi verilerine dayanılarak tesisin enerji tüketimlerinin karşılaştırılması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, arıtma işlemi sırasında tüketilen enerji; elektrik, mekanik, iş gücü ve kimyasal enerji olarak kWh/m³ olarak (2017-2018) yıllarında 6 aylık saha izleme yoluyla hesaplanmıştır. Sonuç olarak enerji; elektrik, mekanik, iş gücü ve kimyasal enerji olarak ayrı ayrı saptanmıştır. Toplam harcanan enerji 1,95 kWh/m³ olarak bulunmuştur. Enerji çeşitleri arasında ise elektrik enerjisinin %80,60'lık, kimyasal enerjinin ise %18,05'lik bir paya sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla; 1 ton karton üretiminde harcanan 8,3 m³ suyu arıtmak için; 16,3 kWh/ton enerji harcandığı tespit edilmiştir (Yarar, 2019).

1.1.3.2 Çevre Sektörü

Amol Sanayi Bölgesi'nin atık su arıtma tesisinde yapılan bir çalışmada arıtma tesisi tarafından tüketilen enerji miktarını belirlemek için, 2012 ve 2013 yıllarındaki elektrik faturaları incelenmiş ve günlük ortalama elektrik enerjisi tüketiminin 1 m³ atık su için sırasıyla 6.62 kWh ve 6.24 kWh olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, tesiste bulunan elektromekanik ekipmanlar da her birimde ayrı ayrı incelemişlerdir. Tesisin bu ekipmanlar için harcadığı günlük elektrik enerjisi miktarı 4,45 kWh olarak hesaplanmıştır. Ayrıca tesiste her 1 birim elektrik enerjisi başına 1 kilogram kimyasal oksijen ihtiyacı giderimi sağlandığı bulunan sonuçlar arasındadır. Bu enerji tüketimine sahip arıtma tesisi; ekipmanlar ve elektrik enerjisi fiyatlarındaki hızlı artış sebebi ile enerji yönetimi konusunu ciddiye alınması üzerinde durulmuştur (Saghafi ve ark., 2015).

1.1.3.3 Gıda Sektörü

Yapılan araştırmada inek sayısı ile üretilen süt miktarının su ısıtma enerji arasındaki bağlantı açıklanmış ve tüketilen sıcak su miktarı belirlenmiştir. Çalışmada su ısıtma için ne kadar enerji tüketildiğini gözlerken harcanan enerjinin büyüklüğünü ve toplam enerji harcamaları arasındaki yerinin önemini vurgulamışlardır. Süt soğutma için enerji kullanım indeksini 1.02 kWh/cwt olarak hesaplamışlardır (Eden ve ark., 2003).

Türkiye’de bulunan modern süt üretim tesislerinin elektrik enerjilerinin tüketiminin değerlendirilebilmesi için 235 adet üretim tesisi içeren bir araştırma yapılmıştır. Tesislerin yıllık ortalama elektrik enerjisi tüketimleri 114,1 kWh/ton-yıl ve 741,3 kWh/inek-yıl olarak belirlenmiştir. Tesisler sağmal inek kapasitelerine göre 26-50, 51-100, 101-200 ve 200 üzeri olarak ayrılmış ve sonuçlar sırası ile 116,4 kWh/ton ve 789,9 kWh/inek, 105,3 kWh/ton ve 639,4 kWh/inek, 91,9 kWh/ton ve 568,3 kWh/inek, 81,9 kWh/ton ve 563,7 kWh/inek olarak saptanmıştır (Duman ve ark., 2013).

Çalışma, örneklem tesis olarak Tekirdağ Muratlı’da 1800 baş sağmal hayvan kapasiteli büyük bir çiğ süt üretim işletmesi seçilmiştir. Tesiste rotary(döner) tip sağımlı sistemi bulunmaktadır. Rotary 1 ve Rotary 2 alanı bulunmakta olup Rotary 2 alanı güncel kullanılmadığından dolayı kapatılmıştır bu yüzden hesaplamalar Rotary 1 alanı üzerinde yapılmıştır. 1800 baş sağmal hayvan kapasiteli büyük ölçekli modern bir çiğ süt üretim işletmesinde yapılmıştır. İşletmede rotary (döner) tip sağımlı sistemi bulunmaktadır. Hesaplamaların sonucu vakum pompasının günlük enerji tüketimi 60,4 kWh soğutma sisteminin günlük enerji tüketimi 459 kWh, basınçlı hava sisteminin günlük enerji tüketimi 281,6 kWh, aydınlatma sisteminin her bir ahır için günlük enerji tüketimi 186,4 kWh olarak bulunmuştur. Tesisin SET değerleri vakum pompasının SET değeri 0,002 kWh/l, soğutma sisteminin SET değeri 0,015 kWh/l, basınçlı hava sisteminin SET değeri 0,009 kWh/l, aydınlatma sisteminin SET değeri 0,006 kWh/l olarak hesaplanmıştır. Verimlilik artırıcı projelerin uygulanması durumunda toplam enerji kazanımı 334719 kWh/yıl olarak belirlenmiştir (Altan, 2017).

1.1.3.4 Metal Sektörü

Endonezya'daki imalat sanayi sektöründeki, endüstriyel süreçte enerji kullanımını araştırmak için imalat sanayi sektöründeki enerji akış haritasını oluşturulmuştur. Bu haritayı oluşturmak için imalat sektöründeki enerji tüketiminin %80'ini temsil eden veri örneği

kullanmışlar ve oluşturulan harita ısıtma sisteminin tüm enerji ekipmanları arasında en büyük enerji tüketicisi olduğunu ve enerji kayıplarının birincil kaynağı olduğunu gösterdiği sonucuna varılmıştır. Ek olarak, şeker, çimento, kâğıt hamuru ve kâğıt ve tekstil gibi endüstri gruplarının ısıtma sistemi kaynağı olarak çok büyük miktarda enerji kullandıklarını tespit edilmiş ve temel kimya, metal ve tekstil gibi endüstriler, motorlu makineleri için en büyük elektrik tüketicileri olduğu sonucu ortaya çıkarılmıştır. Spesifik Enerji Tüketimi karşılaştırması ile birlikte enerji akışı analizi, daha ileri enerji tasarrufu önlemleri için odak noktası olması gereken alanları gösterdiği vurgulanmıştır (Vivadinar ve ark., 2016).

Endüstriyel bir soğutma sisteminde enerji verimliliği ile ilgili avantajlar araştırılmıştır. Enerji verimliliğinin ölçülebilirliği arttırmak için bir sistem yaklaşımının benimsenmesi gerektiği belirtilmiştir. Enerji verimliliği potansiyelini değerlendirmek için bir sistem yaklaşımı kullanmanın önemi tartışılmıştır. Ayrıca, sistem yaklaşımının, makine ve ekipman verimliliğini arttırmak için hem enerji azalımı hem de fırsatlarını doğru bir şekilde belirleyerek enerji tüketim birimlerinde tasarrufa gidilmesi sağlanmıştır. Bu tasarruflar enerji tüketim birimlerinde, 814700-1479500 kWh arasında tahmini enerji tasarrufu ve 37800 \$-70500 \$ arasında tahmini maliyet tasarrufu sağlandığı tespit edilmiştir (Tillou ve ark., 2011).

1.1.3.5 Tekstil Sektörü

1991'den 2015'e kadar Çin tekstil endüstrisinin enerji ayak izini ölçülmüş ve enerji ayak izi ile tekstil sektörünün ekonomik büyüme arasındaki ilişkisi araştırılmıştır. Sonuçlar Çin tekstil endüstrisinin enerji ayak izi 1991'den 2015'e birden fazla kez arttığını göstermiştir. 1996-2007 döneminde ortalama en yüksek artış olduğu gözlenmiştir. Ayırışma analizi, Çin'in tekstil endüstrisindeki enerji ayak izi ve ekonomik büyümenin araştırma döneminde çoğu yıl için göreceli bir ayırışma durumunda olduğunu göstermiştir. Tekstil ve giyime yönelik artan talepler, daha büyük miktarlarda enerji tüketen liflerin, ipliklerin, kumaşların ve nihai ürünlerin endüstriyel üretimini teşvik ettiği araştırma sonucu ortaya çıkan verilerdendir. Enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, enerji tüketimini azaltmanın tek yolu olduğu araştırmada vurgulanan önerilerdendir (Wang ve ark., 2017).

Shaoxing'in tekstil endüstrisinin 2005'ten 2018'e kadar olan enerji ayak izini ve ayırıştırma kullanarak Shaoxing'in tekstil endüstrisi enerji tüketimi ile ekonomik kalkınma arasındaki ilişkisi analiz edilmiştir. Shaoxing'in tekstil endüstrisinin enerji ayak izini etkileyen ana faktörleri araştırmak için Logaritmik Ortalama Divisia İndeksi ayırıştırma

yöntemini kullanmışlardır. Sonuçlara göre Shaoxing'in tekstil endüstrisinin toplam ürün çıktı değerinin büyüme oranı, 2005'ten 2007'ye kadar enerji ayak izi büyüme oranından daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Enerji ayak izi ve ekonomik büyüme, temel olarak Shaoxing'in tekstil endüstrisinin 2008'den 2015'e (2011 hariç) güçlü ayrışmasına dayandığı ve enerji ayak izi yoğunluğunun daha da azaldığı gözlenmiştir. Tekstil endüstrisindeki ekonomik durgunluk, 2016'dan 2018'e kadar Shaoxing'de yoğun olduğu buna bağlı olarak enerji ayak izinde azalma olduğu gözlenmiştir. Ayrışma durumu, resesif bir ayrışma (2016) ve zayıf bir negatif ayrışma (2017 ve 2018) olarak ortaya çıktığı ve EFP (Enerji Ayak İzi) yoğunluğu önce artıp sonra azaldığı gözlenmiştir (Wang ve ark., 2020).

Marmara bölgesinde doğalgaz enerjisi, elektrik enerjisi ve dizel yakıt tüketen, kumaş ve halı üreten tesis için Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli (IPCC) 2006 Kılavuzuna (IPCC, 2006) uygun olarak Tier yöntemleri kullanılarak enerji ayak izi ve karbon ayak izi hesaplanmıştır. Çalışmada tesiste üretimden kaynaklanan toplam enerji ayak izi 87,7 kWh/kg-kumaş olarak bulunmuş, 30,8 kWh/kg-kumaş kazan dairesi faaliyetleri için kullanılan enerji ayak izi süreçler arasında en yüksek olan belirlenmiştir. Bu değeri sırasıyla hammadde olarak kullanılan yün ve polyesterin üretimleri sırasındaki faaliyetler, iklimlendirme faaliyetleri ve (ofis + atık su arıtma) faaliyetleri takip etmektedir. En düşük enerji ayak izi değerini 0,6 kWh/kg-kumaş ile forklift kullanımı kaynaklı faaliyetler oluşturmuştur. Tesiste 450 ton ham yün ve 150 ton ham polyester kullanılarak, yıllık 475 ton kumaş (% 80 yün-% 20 polyester karışımı) üretilmiştir. Bu kapsamda, 2015 yılındaki kumaş üretimi için 20.455.740 kWh elektrik enerjisi ve 18.825.600 kWh doğal gaz enerjisi tüketilmiştir (Keskin ve ark., 2017).

1.1.4 Karbon, Su ve Enerji Ayak İzi Literatür Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Ekolojik ayak izi ile bağlantılı olan karbon, su ve enerji ayak izlerinin işletmelerde takibi, kontrolü ve azaltmaya yönelik çalışmaları sürdürülebilirlik kavramı ile ilişkilendirilip yeni önem kazanmaya başlayan bir ekolojik süreçtir. Yeni uygulanmakta olan bir süreç olduğu için birçok alanda kullanılsa da, literatürde çok fazla yer almamaktadır. Yine de alt uygulamalarla bağdaştırıldığında bazı kaynaklara ulaşılabilir. Yine de alt uygulamalarla bağdaştırıldığında bazı kaynaklara ulaşılabilir.

Çizelge 1.1 Literatürde Çalışılan Farklı Sektörler İçin Ayak İzi Değerleri

ANA SEKTÖR	ALT SEKTÖR	REFERANS	KA	SA	EA
CAM, ÇİMENTO VE TOPRAK	Çimento 1	(Cagiao ve ark., 2011)	1 CO ₂ e/ton		
	Çimento 2	(Cagiao ve ark., 2011)	0,91 CO ₂ e/ton		
	Çimento 3	(Cagiao ve ark., 2011)	0,79 CO ₂ e/ton		
	Çimento 4	(Hosseinian ve ark., 2018)		2126 m ³ su / ton çimento	
	Tuğla 1	(Kulkarni ve ark., 2016)	195 gram CO ₂ e/kg		
	Tuğla 2	(Skouteris ve ark., 2018)		2,02 L/tuğla adet	
	Optik Fiber	(Inakollu ve ark., 2017)	4,81 ton CO ₂ e/milyon metre fiber		
	Cam Şişe	(Türkmen, 2020)	1,2 kg CO ₂ e/kg cam şişe		
	Katrak Plaka Cilalı Ebatlı	(Mutlutürk, 2018)		6650 litre/ m ³ katrak plaka	
	Moloz ve Strip	(Mutlutürk, 2018)		380 litre/ m ³ moloz ve strip	
	S/T Cilalı Ebatlı	(Mutlutürk, 2018)		4185 litre/ m ³ S/T Cilalı Ebatlı	
GIDA	Ambalaj	(Dormer ve ark., 2013)	1,538 kgCO ₂ e / kg ambalaj		
	Tereyağ	(Flysö ve ark., 2014)	1-8 kg CO ₂ e/kg		
	Peynir	(Flysö ve ark., 2014)	1-6 kg CO ₂ e/kg		
	Süt Tozu ve Peynir Altı Suyu	(Flysö ve ark., 2014)	5-7,4 kg CO ₂ e/kg		
	Şeker	(Garcia ve ark., 2016)	0,45-0,63 kg CO ₂ e/kg		

Çizelge 1.1 Literatürde Çalışılan Farklı Sektörler İçin Ayak İzi Değerleri (Devamı)

ANA SEKTÖR	ALT SEKTÖR	REFERANS	KA	SA	EA
GIDA	Şekerli İçecek	(Ercin ve ark., 2011)		WF mavi: 124 litre/0,5 litrelik şişe	
	Bal	(Mujica ve ark., 2016)	2,25 kg CO ₂ e/kg bal		
	Süt 1	(Kılıç ve ark., 2017)	2,9 kg CO ₂ e/litre süt		
	Süt 2	(Teke ve Kahya, 2021)		231126 L/ ton inek sütü	
	Süt 3	(Duman ve ark., 2013)			116,36 kWh/ton
	Süt 4	(Duman ve ark., 2013)			105,33 kWh/ton
	Süt 5	(Duman ve ark., 2013)			91,86 kWh/ton
	Süt 6	(Duman ve ark., 2013)			81,91 kWh/ton
	Süt 7	(Altan, 2017)			SET: 0,032 kWh/l
	Meyve Suyu	(Güneş, 2020)	0,82 kg CO ₂ e/kg konsantre ürün	2,59 m ³ su / kg konsantre ürün	4443 Kj/konsantre ürün
	Makarna	(Ruini ve ark., 2013)		1,336 L/ kg makarna	
İNŞAAT	Krom-Nikel Alaşımsız Çelik	(Gerbens-Leenes ve ark., 2018)		WF mavi: 77 L/kg WF gri: 1500 L/kg	
	Alaşımsız Çelik	(Gerbens-Leenes ve ark., 2018)		WF mavi: 11 L/kg WF gri: 2300 L/kg	
	Portland Çimentosu	(Gerbens-Leenes ve ark., 2018)		WF mavi: 2-2,6 L/kg WF gri: 210 L/kg	
	Portland Kompozit Çimentosu	(Gerbens-Leenes ve ark., 2018)		WF mavi: 1,7-2,1 L/kg WF gri: 210 L/kg	

Çizelge 1.1 Literatürde Çalışılan Farklı Sektörler İçin Ayak İzi Değerleri (Devamı)

ANA SEKTÖR	ALT SEKTÖR	REFERANS	KA	SA	EA
	Soda-Kireç Camı	Gerbens-Leenes ve ark., 2018)		WF mavi: 5,8 L/kg WF gri: 1300 L/kg	
KİMYA	Kauçuk	(Mutlu ve ark., 2018)	3,14 kg CO ₂ e/kg kauçuk		
	Pet Şişe	(Ercin ve ark., 2011)		WF mavi: 0,5 l/ 0,5 litrelik şişe	
METAL	Atık Kabul Tesisi	(Toröz, 2015)	3217 ton CO ₂ e/yıl		
OTOMOTİV	Otomotiv	(Sreng, 2016)	5,81 ton CO ₂ e/m ²		
TEKSTİL	Kumaş Tesisi 1	(Yan ve ark., 2016)	13,81 kg CO ₂ e/ kg yünlü kumaş		
	Kumaş Tesisi 2	(Yan ve ark., 2016)	5,34 kg CO ₂ e/ kg pamuklu kumaş		
	Kumaş Tesisi 3	(Yan ve ark., 2016)	1,81 kg CO ₂ e/ kg gri kumaş		
	Kumaş Tesisi 4	(Keskin ve ark., 2017)	31,2 kg CO ₂ e/ kg kumaş		
	Kumaş Tesisi 4	(Keskin ve ark., 2017)	52,8 kg CO ₂ e/ kg yün ve polyester kumaş		
	Kumaş Tesisi 5	(Keskin ve ark., 2017)			43,06 kWh/ kg kumaş
	Kumaş Boyama	(Alper, 2015)		150 L /kg kumaş İyileştirmeden sonra: 40 L/ kg kumaş	

Çizelge 1.1 Literatürde Çalışılan Farklı Sektörler İçin Ayak İzi Değerleri (Devamı)

ANA SEKTÖR	ALT SEKTÖR	REFERANS	KA	SA	EA
ÇEVRE	Süt Endüstrisi AAT Ters Ozmoz	(Bai ve ark., 2018)		5609 m ³ /gün	
	Kağıt AAT	(Yarar, 2019)			16,263 kWh/ton kağıt
	AAT	(Saghafi ve ark., 2015)			6,62 kWh/m ³ su

Özellikle karbon ayak izi çalışmalarına daha fazla yer verildiği gözlemlenmiş olup su ve enerji sarfiyatları ile çalışmaların oldukça kısıtlı olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürde yer alan karbon ayak izi çalışmalarında karbon ayak izini arttırıcı sebeplerin başlarında endüstriyel proseslerin enerji sarfiyatları ve özellikle de yakıt kullanımı gelmektedir. Bu çalışmaların genellikle Ağaç İşleri, Kağıt ve Kağıt Ürünleri Sektörü, Cam Sektörü, Gıda Sektörü, İnşaat Sektörü, Kimya Sektörü, Metal Sektörü, Otomotiv Sektörü ve Tekstil sektöründe yürütüldüğü tespit edilmiştir. En fazla karbon emisyonuna sebep olan sektörlerin başında tekstil ve metal sektörlerinin geldiği sonucuna varılmıştır. Yapılan incelemelerde karbon salınımı ile ilgili yürütülen teknik çalışmaların tekstil ve gıda sektörü üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Sektörel dağılıma bakılmaksızın endüstri proseslerinin karbon emisyonları ve diğer sera gazı emisyonlarının çevreyi ve ekolojik süreçlere taribat yaptığı bugünkü geline nokta küresel ısınma, iklim değişikliği ile karşımıza çıkmaktadır. Tüm endüstriyel süreçlerde karbon emisyonları önlenmesi, azaltılması, izlenmesi ve ölçülebilmesi için endüstriyel ölçekte mutlaka bir altyapı oluşturulması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Su ayak izi çalışmaları incelendiğinde ise beşikten beşiğe süreçlerinde en fazla su ayak izinin tarımsal sulamadan kaynaklandığı görülmüştür. Su ayak izi çalışmaları literatürde incelendiğinde Ağaç İşleri, Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri Sektörü, Cam Sektörü, Gıda Sektörü, İnşaat Sektörü, Kimya, Petrol, Lastik ve Plastik Sektörü, Metal Sektörü, Otomotiv Sektörü,

Tarım, Avcılık ve Balıkçılık Sektörü ve Tekstil sektöründe yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Su ayak izi miktarlarını özellikle tarımsal sulamadan dolayı arttığı sonucuna varılmıştır.

Endüstri süreçlerinde ise yer altı sularının proseslerde kullanılarak kirlendiği üzerinde durulmuştur. Yapılan incelemelerde su ayak izi miktarlarının özellikle gıda ve tekstil sektörlerinde fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Suyun yeniden kullanımı, arıtma çalışmalarının teknolojik olarak ilerlemesi özellikle tarımsal alanda yapılan sulamalarda özellikle damla sulama yöntemlerine geçilerek su ayak izi miktarlarında ciddi düşüşler sağlanabileceği öngörüsü oluşmuştur. Yapılan araştırmalar sonucu su ayak izi üzerine çalışmalarının artırılması gerektiği kaçınılmaz bir sonuçtur.

Enerji ayak izi çalışmalarına bakıldığında enerji tüketimleri dolaylı yoldan karbon emisyonuna sebep verdiği için enerji ayak izi karbon emisyonları ile hesaplandığı görülmüştür. İncelenen çalışmalar neticesinde Çevre Sektörü, Gıda Sektörü, Metal Sektörü, Tekstil sektöründe enerji ayak izi çalışmalarının yürütüldüğü belirlenmiştir. Enerji ayak izi çalışmalarında endüstriyel süreçler göz önüne alındığında enerji verimliliği uygulamalarının gerçekleşmesi ile enerji sarfiyatında ciddi bir düşüş olacağı öngörülmüştür. Literatürde yapılan incelemeler neticesinde sektörlere bağlı olarak ayak izi çalışmaları Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Yönetim sistemleri ile bağdaştırılıp proses iyileştirme, verimlilik esaslarına dayanarak makine teknik bakım ve onarımlarının, geri kazanım ve yeniden kullanım çalışmalarının yapılması ile karbon, su ve enerji ayak izlerinde ciddi bir düşüş olacağı sonucuna varılmıştır. Süreç ve proses iyileştirmelerin ilk yatırım maliyetleri yüksek bile olsa karbon, su ve enerji ayak izlerine harcanan finansal giderler göz önüne alındığında kısa sürede yatırımın geri dönüşünün alınarak uzun vadede önemli kaynak ve mali tasarruflar sağlanabileceği anlaşılmaktadır.

Küresel pazarda firmalar kendi çevre bilinçleri, tedarikçi-müşteri istekleri, üniversite çalışmaları, rekabet gücü kazanmak adına bu çalışmaları yürütmektedir. Her işletmeye Çevre Kanunları kapsamında zorunlu olarak karbon, su ve enerji sarfiyatları hesaplama, takip etme, kontrol altına alma ve azaltma ilkesi benimsetilmesi sanayi sektöründe çevresel zarara karşı alınmış önemli bir adım olacaktır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Sürdürülebilirlik kavramı; toplumun sosyal, kültürel, bilimsel, doğal ve insan kaynaklarının tümünün ihtiyatlı kullanılmasını sağlayan ve buna saygı duyma temelinde sosyal bir bakış oluşturan katılımcı bir süreç olarak tanımlanmaktadır. (Gladwin vd., 1995, Aktaran: Tıraş, 2012). Sürdürülebilirlik kavramının çevresel boyutunda yenilenen üretim tekniklerinde yöneticilerin karbon ayak izi, su ve enerji ayak izi dünyanın önem vermesi ile birlikte işletmelerde takibe alınması gereken ve iyileştirmelerin yapılması gereken bir süreç haline gelmiştir.

Sürdürülebilirliğin en temel yapı taşı olan çevresel ayak izleri çevre sorunlarının değerlendirilmesi amacıyla oluşturulmuşlardır. Ekosistemin tüm sınırları çevresel ayak izi bağlantılı olup, ekosistemin kritik değerlerindeki değişimler göz ardı edilirse, doğal çevrenin biyo-fiziksel süreçlerinde baş edilmesi zor değişimleri meydana getirebilmektedir (Hoekstra ve Wiedmann, 2014).

Ekolojik ayak izi ile bağlantılı olan karbon, su ve enerji ayak izlerinin işletmelerde takibi, kontrolü ve azaltmaya yönelik çalışmaları sürdürülebilirlik kavramı ile ilişkilendirilip yeni önem kazanmaya başlayan bir ekolojik süreçtir. Yeni uygulanmakta olan bir süreç olduğu için birçok alanda kullanılsa da, literatürde çok fazla yer almamaktadır.

Özellikle karbon ayak izi çalışmalarına daha fazla yer verildiği gözlemlenmiş olup su ve enerji sarfiyatları ile çalışmaların oldukça kısıtlı olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürde yer alan karbon ayak izi çalışmalarında karbon ayak izini arttırıcı sebeplerin başlarında endüstriyel proseslerin enerji sarfiyatları ve özellikle de yakıt kullanımı gelmektedir. En fazla karbon emisyonuna sebep olan sektörlerin başında tekstil sektörünün geldiği sonucuna varılmıştır.

Su ayak izi çalışmaları incelendiğinde ise beşikten beşiğe süreçlerinde en fazla su ayak izinin tarımsal sulamadan kaynaklandığı görülmüştür. Yapılan incelemelerde su ayak izi miktarlarının özellikle tekstil sektörlerinde fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Suyun yeniden kullanımı, arıtma çalışmalarının teknolojik olarak ilerlemesi su ayak izi miktarlarında ciddi düşüşler sağlanabileceği öngörüsü oluşturmuştur. Yapılan araştırmalar sonucu su ayak izi üzerine çalışmalarının arttırılması gerektiği kaçınılmaz bir sonuçtur.

Enerji ayak izi çalışmalarına bakıldığında ise enerji tüketimeeri dolaylı yoldan karbon emisyonuna neden olduğu için enerji ayak izinin karbon emisyonları temelinde hesaplandığı görülmüştür.

Bu nedenle bu tez çalışmasında; Tekirdağ ilinin Ergene ilçesinde bulunan bir tekstil işletmesinin karbon, su ve enerji ayak izlerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapılması amaçlanmıştır. alışmasının birinci bölümünde sürdürülebilirlik hakkında ve Ayak İzi ailesi hakkında genel giriş bilgileri verilmiş, akademik olarak endüstriyel sektörler için yapılan çalışmaların çevresel tüketim verileri incelenmiştir. Çalışmanın amacı ve kapsamı tanımlanmıştır. İkinci Bölümde ise çalışmanın yapıldığı tesis hakkında bilgi verilmiş, kullanılacak Karbon, Su ve Enerji Ayak İzleri hesaplama yöntemleri ve hangi verilerin kullanılacağı hakkında detay belirtilmiştir. Üçüncü bölümde tesisin çevresel tüketimleri belirlenmiş, veriler temin edilerek hesaplama yöntemi gerçekleştirilmiştir. Dördüncü bölümde çıkan sonuçlar ve kullanılan metotlar değeriendirilmiş ileride yapılacak ayak izi çalışmalarına yol gösterici olmasına adına tavsiyelere yer verilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

2.1.1 Tesis Bilgileri

Tez çalışması kapsamında seçilen sanayi tesisi Trakya bölgesinde olup, iplik boyahane alanında üretim yapmaktadır. Tekirdağ İli, Ergene İlçesi, Ulaş OSB Mahallesiinde adresinde, 7.588 m² yüzölçümlü alan üzerinde, 5.647 m² yüzölçümlü kapalı alanda yer almaktadır. İşletme bobinde iplik boyama konusunda faaliyet göstermekte olup, hava emisyon ve atık su deşarjı konulu Çevre izni bulunmaktadır. Bu İşlemelerde enerji kaynağı olarak kömür, elektrik ve dizel yakıt kullanılmaktadır. Buna ek olarak, dışarıdan temin edilen hammaddelerin üretimi ve nakliyesinde de farklı formlarda enerji tüketilmektedir. Tesiste su ihtiyacı yer altı suyu ve taşıma su ile giderilmektedir. Ayrıca, çalışanların ulaşımı gibi yardımcı faaliyetler de enerji tüketimine katkıda bulunmaktadır

Tez çalışması kapsamında;

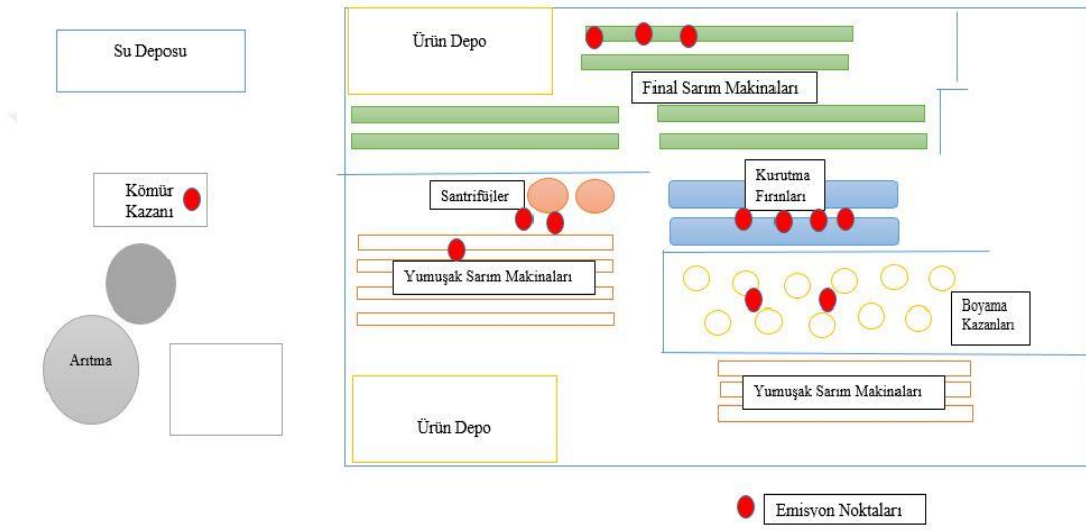
- 2021 yılında üretilen toplam üretim miktarı için Karbon, Su ve Enerji emisyon hesabı,
- 2021 yılı elektrik kullanımı neticesinde Gcal olarak ortaya çıkan Enerji Ayak İzi hesabı,
- 2021 su tüketimi ile ton olarak ortaya çıkan Su Ayak İzi hesabı,
- 2021 yılı taşımadan kaynaklanan Karbon Ayak İzi hesabı,
- 2021 yılı yakıt olarak kömürden kaynaklanan Karbon Ayak İzi hesabı gerçekleştirilecektir.

Bu hesaplamalar gerçekleştirilirken işletmedeki;

- Çalışan sayısı,
- Toplam işletme alanı,
- Yıllık toplam üretim miktarı,
- Toplam araç sayısı(servis aracı),
- Yıllık elektrik tüketimi,
- Yıllık kömür kullanımı,
- Yıllık atık miktarları,

- Yıllık su tüketimi
- Araçların yıl boyunca yol aldığı toplam mesafeler
- Tesisin Karbon, Enerji ve Su Ayak İzi hesaplama kapsamına kullanılacaktır.

Şekil 2,1’de gösterilen iplik boyama ünitesi genel vaziyet planı kapsamında Bobinde İplik Boyama Ünitesi işletmede 7.588 m² alanda (5.647 m²) yer almaktadır. Bu ünite ham iplik siparişi, yumuşak sarım, boyama, santrifüj, kurutma, ticari sarım, büküm, paketlenme ve sevkiyat işlemleri gerçekleştirilmektedir.

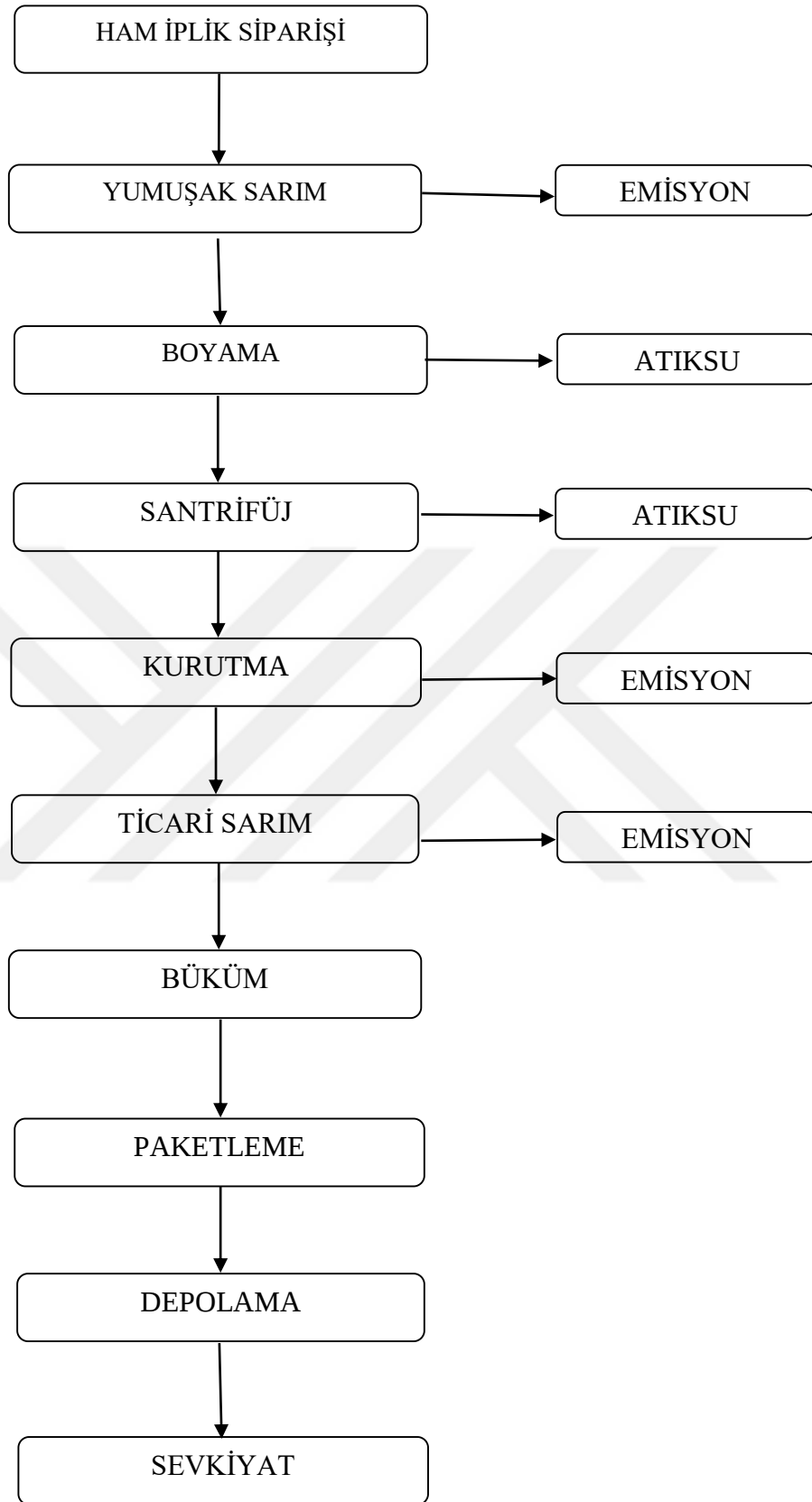


Şekil 2.1 Bobinde İplik Boyama Vaziyet Planı

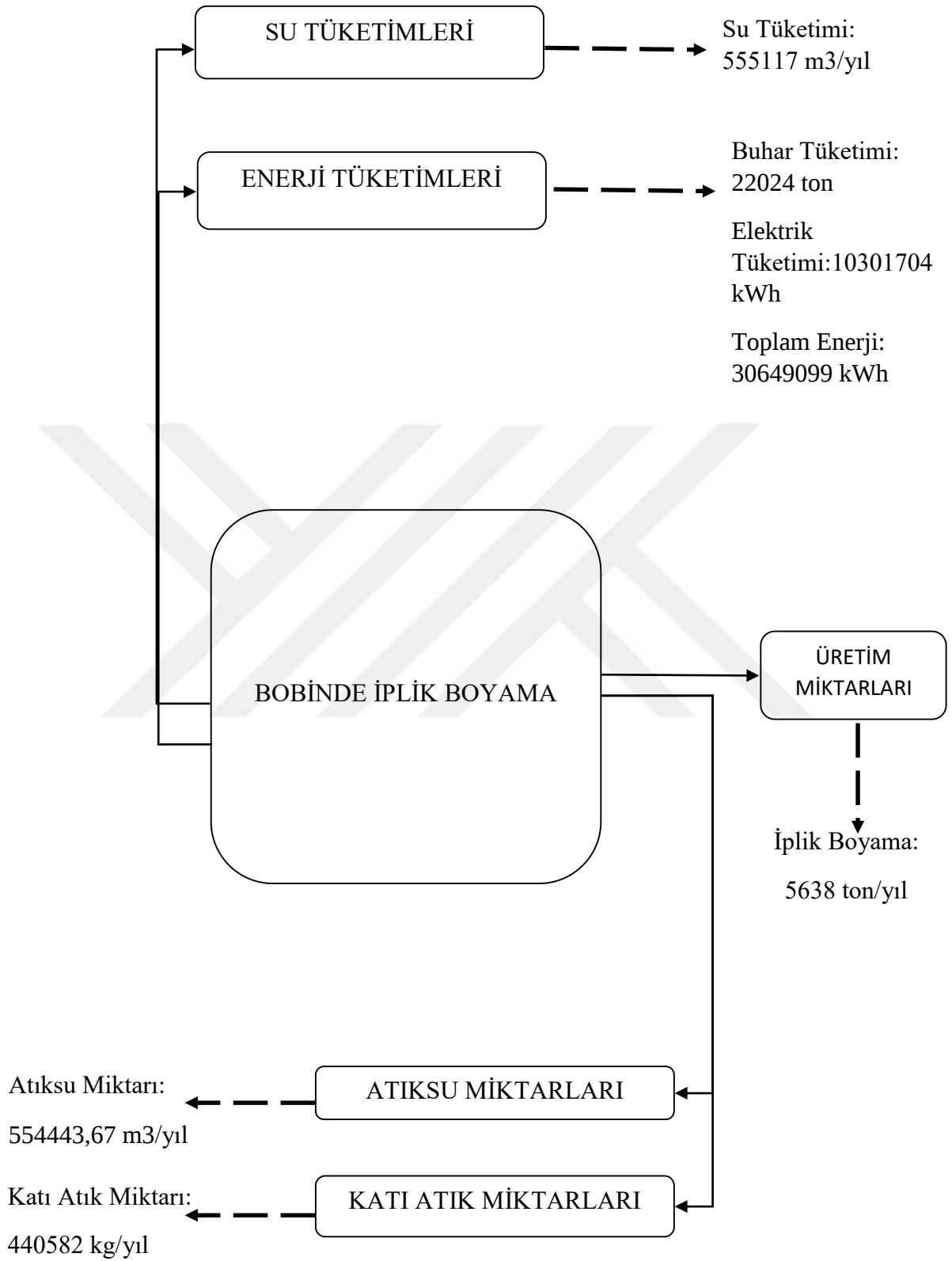
Bobinde İplik Boyama Faaliyeti; İşletmede temin edilen ham iplikler yumuşak sarım ünitesinde delikli bobinlere sarımı yapılarak partileme yapılır. Boyanacak bobinler için boya reçetesi hazırlanır. Boyanacak bobinler boyama için uygun kazanlara düzenli şekilde yerleştirilir. Kazanların boyama için uygun basınç, sıcaklık ve benzeri teknik özellikleri ayarlanır ve boya işlemine geçilir. Boyama işlemi sırasında istenilen renge bağlı olarak boya ve kimyasal maddeler kullanılır. Boyama sonrası işlem kontrolü yapılır. Planlanan kalitede bir boyama yapılmış işe diğer adıma geçilir. Eğer istenilen kalitede boyama yapılmamış ise boyama işlemi tekrarlanır. Tutan renkler kazandan çıkarılır ve santrifüjde sıkma işlemi yapılır. Sıkılan bobinler kurutma makinelerine aktararak kurutma işlemine tabii tutulur. Kurutma işlemi yapıldıktan sonra iplikler dinlendirmeye alınır. Dinlenme sonunda nem ölçme cihazı ile nem ölçülür. İstenen duruma geldiğinde ticari sarım ünitesine aktarılır. Burada delikli bobinlerden karton bobinlere aktarılır. Müşterinin isteği üzerine iplikler büküm ünitesinde

büküm yapılarak bobine aktarılır. Aktarımı tamamlandıktan sonra kalite kontrolden geçen bobinler paketleme ünitesine iletilerek paketlenir ve satışa hazır hale getirilir. Tesis 14.476.522 kg/yıl bobinde iplik boyama ve 489.345 kg/yıl iplik bükümü kapasitesine sahiptir.





Şekil 2.2 Bobinde İplik Boyama Ünitesi İş Akım Şeması



Şekil 2.3 Bobinde İplik Boyama Ünitesi Kütle Ve Enerji Denkliği Akış Şeması

Tesisin iş akım şeması Şekil 2.2’de gösterildiği gibi olup süreç açıklamaları;

- Ham İplik Siparişi: Müşterinin talebine göre belirlenmiş olan ham iplik temin edilir.
- Yumuşak Sarım: Ham iplik boyama öncesi yumuşak olan delikli bobinlere sarımı yapılır. Sarım esnasında telefler fan ile tutulmakta ve satışı yapılmaktadır. Bu faaliyet sırasında emisyon oluşmaktadır.
- Boyama: Yumuşak sarımı yapılan ham iplik istenilen renklerde boyama kazanlarında boyanır. Boyama sonrası kazanların sıcaklıkları kömür yakıtlı buhar kazanından sağlanmaktadır. Bu faaliyet sırasında atık su oluşmaktadır.
- Santrifüj: Boyama kazanlarından çıkan ipliği bünyesindeki suyun alınması için santrifüje sokulur. Bu işlem sırasında atık su oluşur.
- Kurutma: Boyanan iplikler kurutma fırınlarında kurutulur. Bu işlem sırasında emisyon oluşur.
- Ticari Sarım: Boyanan iplik piyasaya sürülmek üzere delikli bobinlerde karton bobinlere aktarılarak son sarımı yapılır. Sarım esnasında tekstil atığı oluşmaktadır. Emisyon oluşumu mevcuttur.
- Büküm: Ticari sarımı yapılan iplikler müşterinin isteği üzerine büküm işlemi ile sarımı yapılır.
- Paketleme: Satışa hazır hale gelen iplikler paketleme ünitesinde paketlenerek depolama ve sevkiyat ünitesine gönderilir.
- Depolama: İpliğin işlem gördükten sonra müşteriye teslimatına kadar bekletildiği aşamadır.
- Sevkiyat: İpliğin satışının yapılarak müşteriye teslim edildiği aşamadır.

2.2 Metot

2.2.1 Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemi

Bu çalışmada IPCC Tier 1 metodolojisi kullanılarak, ‘Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Yaklaşımı’ kapsamında kirleticilerin CO₂e cinsinden miktarı, diğer bir ifadeyle ‘Karbon Ayak İzi’ değeri hesaplanacaktır. (IPCC, 2006; IPCC, 2007)

Literatüre göre aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. (IPCC, 2006; IPCC, 2007)

$$\text{Karbon Ayak İzi (CF)} = \text{Faaliyet Verisi (AD)} \times \text{Emisyon Faktörü (EF)} \quad (2.1)$$

$$\text{CF} = \text{AD} \times \text{EF} \quad (2.2)$$

CF: Elektrik Tüketimi, su tüketimi, üretim vb. süreçler sonucu bir tesisten atmosfere yayılan hava kirleticilerinin karbondioksit eşdeğer (CO₂e) cinsinden miktarını gösterir.

AD: Bir proses tarafından tüketilen veya üretilen ürün veya maddelere ait veriyi gösterir

EF: Belirli bir kirleticinin birim değeri (Hacim, Kütle, Zaman, Alan) için ortalama

Atmosferde sıcaklık tutma kapasitesini yükselten sera gazlarıdır. Sera gazlarının ufak bir bölümü doğal olarak oluşmakla birlikte %90 insan aktivitelerinden oluşmaktadırlar. Fosil yakıtların yanması, orman bölgelerinin tahrip edilmesi, tarımsal faaliyetler vb. sera gazlarının oluşmasında başlıca etkili faktörlerdir. Atmosfere belirli zaman ve alanda salınan sera gazları emisyon olarak adlandırılmaktadır. Atmosferde bulunan gazların %1’ni sera gazları oluşturur. (Engin, 2010). Sanayi ve enerjinin sebebiyet verdiği karbondioksit başta olmak üzere karbon monoksit, metan, azot dioksit ve diğer gazlar atmosferde birikme sonucu yeryüzü ve güneş arasında bir tabaka halini alırlar. Atmosferde tabaka halinde biriken bu gazlar yeryüzüne gelen ışına karşı geçirgen olurken geri salınan yer ışınına karşı daha az geçirgen bir durum sergilerler bu sebeple yeryüzüne gelen enerjinin bir kısmı uzaya ulaşamayarak atmosferdeki sera gazları tarafından emilir ve yer kürenin olması gerekenden daha fazla ısınmasına sebebiyet verirler. Sera etkisi olarak adlandırılan bu doğal süreç (Bayraç ve Emrah, 2016) küresel ısınma ve iklim değişimine neden olur. İklim değişikliği flora, fauna ve insan üzerinde olumsuz etkilere neden olur. Küresel ısınmaya sera gazlarının etkileri değerlendirildiğinde miktarlarına, atmosfer bulundukları süreye ve sıcaklığı tutma kapasitelerine bağlı olduğu gözlenmiştir. Bakıldığında metanın karbondioksit oranlar kızıl ötesi ışınları tutma olasılığı

daha fazla olmakla birlikte metanın küresel ısınma potansiyeli de karbondioksitin yirmi bir katıdır. Karbondioksit en fazla üretilen sera gazı olması sebebiyle sera etkisinin temel nedenini oluşturmaktadır. (Dulkadiroğlu, 2018).

Sera gazı hesaplama ve raporlamada belirlenmiş üç kapsam mevcuttur. Üretimin proses sürecinde sahip olunan veya kontrolü gerçekleştirilebilen yanma sonucu oluşan emisyonlar Kapsam 1, satın alınan ve üretim süreçlerinde kullanılan elektriğin tüketiminden ortaya çıkan emisyonlar Kapsam 2, tesis tarafından sahip olunmayan veya kontrol edilemeyen kaynakların sebep olduğu dolaylı tüm emisyonlar Kapsam 3 olarak kabul edilmektedir. Kapsamlarına göre direkt emisyonlar, enerji dolaylı emisyonlar ve diğer kaynaklı emisyonlara ait karbon ayak izi Çizelge 2.1’de verilmiştir. Karbon hesaplarında kullanılan emisyon faktörleri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Kapsamlarına Göre Karbon Ayak İzi Kaynakları (IPCC, 2006; IPCC, 2007)

Kapsamlar				Emisyon Kaynağı
Kapsam 1- Direkt Emisyonlar				Kömür
Kapsam 2- Emisyonlar	Enerji	Dolaylı		Elektrik
Kapsam 3- Emisyonlar	Diğer	Kaynaklı		Üretim-Ham madde, Atık, Ulaşım, Su

Çizelge 2.2 Karbon Hesaplamalarında Kullanılan Emisyon Faktörleri (IPCC, 2006)

Faaliyet Verisi	Emisyon Faktörleri	Gazlar/Birimler
Servis aracı Büyük Yakıt Tüketim	240	gr/km
Servis Aracı Küçük Yakıt Tüketim	80	Gr/km
Servis Aracı	3,169	Kg/kg
Elektrik Tüketimi (Toplam)	0,481	tCO ₂ /MWh
Kömür Tüketimi	94600	CO ₂ için kg CO ₂ e/Tjoule
Kömür Tüketimi	1	CH ₄ için kg CO ₂ e /Tjoule
Kömür Tüketimi	1,5	N ₂ O için kg CO ₂ e /Tjoule
Atık	143.000	CO ₂ için kg/Tj
Atık	837	CH ₄ için kg/Tj
Atık	1.092	N ₂ O için kg/Tj
Su Tüketimi	0,149	kg CO ₂ e/m ³

Karbon ayak izi hesabına bakıldığında üç temel gazın baz alınması söz konusudur. Bu gazlar CO₂, CH₄ ve N₂O'dur. Her bir gazın ısı tutma kapasiteleri farklı olduğundan karbon ayak izi değerleri de birbirinden farklıdır. Küresel ısınma potansiyelleri Çizelge 2.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.3 Küresel Isınma Potansiyelleri (IPCC 6. değerlendirme raporu, 2021 (AR6))

CO ₂	1
CH ₄	27,9
N ₂ O	273

2.2.2 Su Ayak İzi Hesaplama Yöntemi

Tesis içerisinde soğutma, yıkama, proseste kullanma gibi birçok alanda su kullanılmaktadır. Yakın bir döneme kadar özellikle su yönetimi kapsamında su tüketimi ve kirliliği üretim süreci ve tedarik aşaması ile birlikte değerlendirilmemiştir. (Hoekstra ve ark., 2011). Bu yüzden de zamanla su ayak izi hesaplamasında birbirinden iki farklı yöntem gelişmiştir. Bu yöntemlerden birincisi WFN (Su Ayak İzi Ağı) tarafından belirlenen suyun üretken olmasına dayanan hacimsel olarak değerlendirilen yaklaşımdır (Pfister ve ark., 2017). Tedarik zinciri ve üretim süreçlerinin suyun kaynaklarına olan etkisinin değerlendirilmesi 2003 yılında ilk kez Hoekstra tarafından Su Ayak İzi kavramının ortaya atılmasıyla gündemde ilgi görmeye başlamıştır. Bu kavram WFN adlı sivil toplum örgütünün girişimiyle 2011 yılında benimsenerek geliştirilmiş ve bu yöntemi tanımlayan bir kılavuz oluşturulmuştur (Hoekstra ve ark., 2011). Su ayak izi WFN tarafından bir mal veya hizmet üretmek amacıyla tüm süreçlerde kullanılması gereken tatlı su miktarıdır (WWF, 2014). Su ayak izi iki farklı tüketimi göstermektedir. Bunlardan ilki doğrudan su tüketimi diğeri ise dolaylı su tüketimidir (Hoekstra ve ark., 2011). Su ayak izi ve sanal su kavramları birbirinden oldukça farklı tanımlardır. Sanal su yalnızca ürün ve hizmetin arkasında bulunan tüm su hacmini kapsarken, su ayak izi suyun türü, kullanım yeri ve suyun kullanılacağı zamanı değerlendirmektedir (WWF, 2014). Su ayak izi, üreten, ürün ve tüketen kapsamında tatlı su kaynak kullanım ilişkisine daha kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadır (Hoekstra, 2015). Hoekstra'nın Nebraska Üniversitesi sanal su ve su ayak izi dersinde anlattığı gibi nihai tüketicilerinde aynı sistem içerisinde değerlendirilmesi ile su yönetim sürecinin etkinleştirilmesinde önemli bir rol oynayacaktır (Water Footprint Assessment: An Evolving Research Field, 2017). Su ayak izi, tüketim ve su kirliliğinin çevresel etkisinin boyutlarını ve zararlarını ölçen bir ölçüm aracı değil, suyun insani faaliyetler ile arasındaki bağlantısını gösteren bir araçtır (Hoekstra ve ark., 2011). WFN yönteminde su ayak izi mavi, yeşil ve gri olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır. Su ayak izi hesaplamasında kullanılan formül denklem 2.3'te verilmiştir.

$$WF_{\text{Toplam}} = WF_{\text{Mavi}} + WF_{\text{Yeşil}} + WF_{\text{Gri}} \quad (2.3)$$

Mavi su ayak izi (WF_{Mavi}); bir ürünü veya hizmeti üretmek için kullanılan tatlı su hacmini; yeşil su ayak izi ($WF_{\text{Yeşil}}$) ise kullanılan yağmur suyu hacmini ifade eder. Gri su ayak izi (WF_{Gri}) kirlilik göstergesi olarak kullanılmaktadır ve alıcı ortamı, kirletici deşarjı sonrası doğal konsantrasyonları ve su kalite standartları baz alarak doğal kalitesine döndürmek için gerekli olan tatlı su hacmi olarak tanımlanmıştır (Hoekstra, 2015).

Denklem 2.4'te WF hacim/zaman cinsinden ifade edilmiştir. Mavi ve yeşil su ayak izleri su tüketimini, gri su ayak izi ise su kirliliğini hacimsel tüketim cinsinden ifade etmektedir.

Su ayak izi WFN kapsamına göre dört aşamadan gerçekleşmektedir. Bunlar:

1. Amaç ve kapsamın belirlenmesi
2. Su ayak izi muhasebesi
3. Su ayak izi sürdürülebilirlik değerlendirmesi
4. Su ayak izi yönetimi

Su ayak izi çalışmasında amaç net olarak belirlenmeli ve alanlar net çizilmelidir. Bunun sebebi de ürün, proses veya organizasyonun hangi kapsamda değerlendirileceği, hangi süreçlerin çalışmaya dahil edilip hangilerinin dahil edilmeyeceği, çalışmalarının sonuçlarının ne amaçla kullanılacağı, ne önlemler ve iyileştirmeler alınacağını ilk adımda belirlenmesi ve objektif olarak ortaya konulması ve çalışmanın bu sınırlar dahilinde yapılandırılmasıdır. İkinci adım olan su ayak izi muhasebesinde ise amaç ve kapsama uygun seçilen veriler ilgili departmanlardan toplanır ve su ayak izi belirlenen metoda uygun olarak hesaplanır. Çalışmanın üçüncü adımında sürdürülebilirlik; sosyal, ekonomik ve çevresel olarak değerlendirmeye tabii tutulur. Su ayak izi yönetiminde ise hesaplanan su ayak izine nasıl bir reaksiyon verileceği, nasıl bir süreç işleneceği ve strateji önerilerinin geliştirilmesi gerçekleştirilir. Yapılacak bir su ayak izi çalışmasında bu aşamalarının hepsinin uygulanması şart değildir. İlk kez WFN tarafından geliştirilen bu yöntem; sınırları net çizilmiş bir yönerge olmaktan çok, bir kılavuz olarak tanımlanmıştır (Hoekstra ve ark., 2011). Gri su ayak izi hesaplaması ise aşağıda denklem 2.4'e göre yapılmaktadır.

$$WF_{Gri} = \frac{L}{C_{MAX} - C_{NAT}} = \frac{Effl \times C_{effl} - Abstr \times C_{act}}{C_{MAX} - C_{NAT}} \quad (2.4)$$

C_{max} : Alıcı ortamda izin verilen en yüksek kirlletici konsantrasyonunu (kütle/hacim)

C_{nat} : Kirleticinin deşarj öncesi alıcı ortamdaki doğal konsantrasyonunu (kütle/hacim)

L : Kirlletici Yüğü (kütle/zaman)

$Effl$: Deşarj debisini (hacim/zaman)

C_{effl} : Deşarj konsantrasyonu (kütle/hacim)

$Abstr$: WF_{Gri} hesaplamasına dahil edilmeyecek debiyi (hacim/zaman)

C_{act} : Prosese giriş suyu kirlletici konsantrasyonunu (kütle/hacim)

Bir diğerk yaklaşımd ise etkilerin değerkendirildiğı Yaşamd Döngüsü Değerkendirme (LCA) temelli su ayak izi hesaplama yöntemidir (Pfister ve ark., 2017). LCA yöntemi ile su ayak izi hesaplaması ISO tarafından 2014 yılında ilk kez standart olarak erişimi sağlanmıştır (Hoekstra, 2016). BSI (2016) tarafından 14046 standardında su ayak izi; suyla alakalı çevresel faktörlerin ölçüldüğü süreçler olarak tanımlanmış ve kapsam belirleyicinin kararına bırakılmıştır. Aynı standartta su ayak izi değerkendirilmesi ise bir ürün, süreç veya organizasyonun su tüketimi veya suyla olan etkileşimi ile ilgili girdi, çıktı ve çevresel etkilerinin belirlendiğı ve değerkendirildiğı yöntem olarak tanımlanmıştır. 14046 standardında (BSI, 2016) belirtildiğı üzere yürütölen bir su ayak izi değerkendirmesi:

- Yaşamd döngüsü değerkendirmesine dayanmakta,
- Modöler yapıya sahip (örneğin yaşamd döngüsündeki birbirinden benzersiz aşamaların su ayak izlerinin toplamı, toplam su ayak izini temsil etmektedir),
- Suyla olan çevresel etkileri belirlemekte,
- Amaca uygun coğrafi ve geçici boyutları dahil etmekte,
- Su kullanımını ve su kalitesindeki değışimi belirlemekte ve,
- Hidrolojik bilgiyi kullanmaktadır.

Bunun yanında su ayak izi değerkendirmesinin ürün, proses veya organizasyonların tüm çevresel etkilerinin değerkendirmesinin mümkün olmadığı üzerinde durulmuştur. Bu yaklaşım baz alınarak su ayak izi tek başına oluşturulup değerkendirilebileceğı gibi daha kapsamlı bir yaşamd döngü çalışmasıyla daha etkin bir şekilde değerkendirilebilir. LCA yöntemine göre bir su ayak izi değerkendirmesi aşğıdaki dört adımdan oluşmaktadır (BSI, 2016)

1. Hedef ve kapsamın tanımlanması
2. Su ayak izi envanter analizi
3. Su ayak izi etki değerkendirmesi
4. Sonuçların yorumlanması

Hedef belirtilirken örneklem alanı, belirlenen kitle, çalışmanın kapsam ve amacı, tek bir çalışma mı yoksa yaşamd döngüsü değerkendirilmesinin alt alanı mı olduğu net bir şekilde belirtilmelidir. Kapsamın belirlenmesinde ise sistem sınırları, fonksiyonel birimler, çalışmanın geçici ve coğrafi kapsam ve ayrımları, veri ve veri kalitesi, sınır kriterleri, tedarik

yöntemleri, kabuller, seçilen değerler ve opsiyonel değerler, su ayak izi değerlendirme yöntemi ve etki alanları, çalışmanın kapsam boyutu, belirsizlikler ve sınırlar, kıyaslanabilir net değerler, raporlama tipi, kapsam dışı bırakılanların sebepleri ve riskli incelemelerin her biri değerlendirilmeli ve açıkça tanımlanmalıdır (BSI, 2016).

Standartta anlatıldığı üzere su ayak izi oldukça detaylı bir değerlendirmenin sonucudur ve bu değerlendirme yapılırken suyla ilgili çevresel etkilerin tamamının seçilen etki alanında olduğu gösterilmelidir. Standardın belirttiği gibi tam kapsamlı bir su ayak izi çalışması yürütülmeyecekse su ayak izinin niteleyici bir kelimeyle birlikte kullanılma kullanılması (örneğin, su kıtlık ayak izi, su ötrofikasyon ayak izi vb.) şartı konulmuştur.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde WFN yönteminde ayak izi mavi, yeşil ve gri olmak üzere üç hacimsel bileşene ayrılmakta, LCA yönteminde ise böyle bir ayırım yapılmamaktadır. Tesisimize uygulamaya karar verdiğimiz WFN yöntemidir. Daha önce yapılan çalışmalarda WFN yöntemine ait formüller ve çıktılar baz alınmıştır.

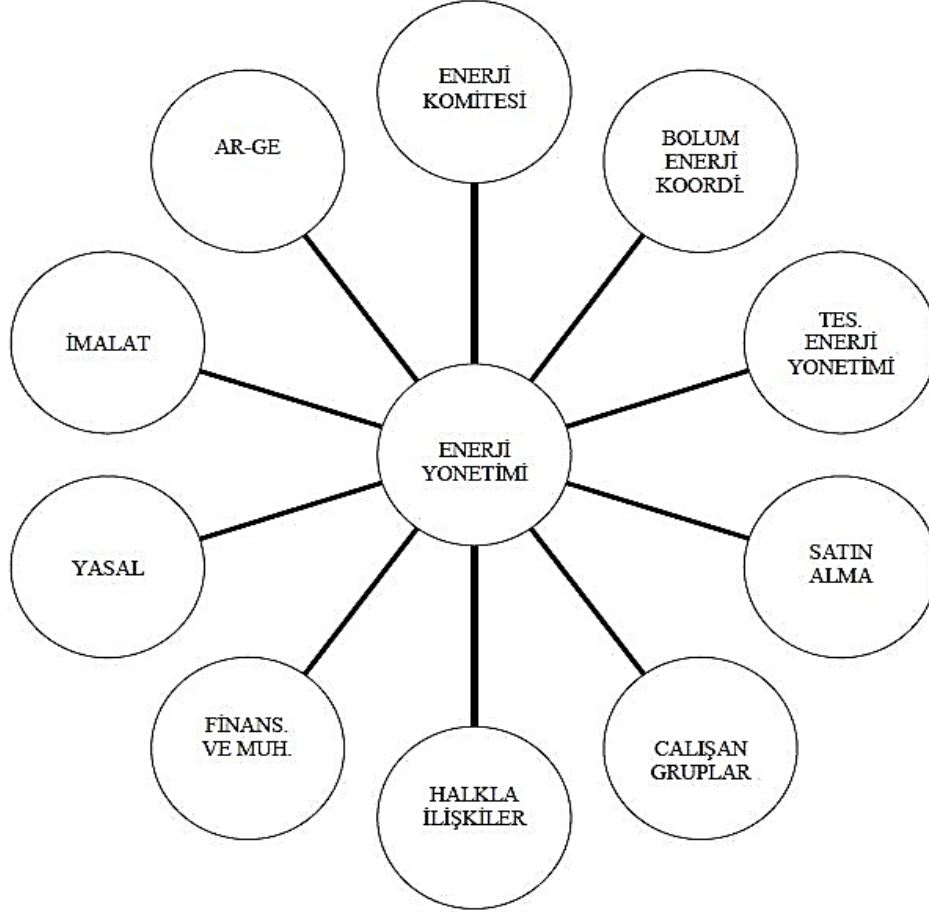
2.2.3 Enerji Ayak İzi Hesaplama Yöntemi

Bir işletmedeki üretim maliyetleri; hammadde, işçilik, işletme ve enerji maliyetlerinin toplamını içermektedir. Genellikle enerji ise toplam üretim maliyetlerinin içine dahil edilerek ayrı bir kalem olarak dikkate alınmaz. Enerji maliyetleri işletmelerin özelliğine bağlı olarak toplam üretim maliyetlerinin bir kısmını ve bazen oldukça büyük bir kısmını teşkil etmektedir ve genellikle bu durum fabrika yöneticileri tarafından pek önemsenmemektedir. Enerji maliyetleri İmalat sanayi sektöründe, kullanılan proseslere, ham maddelere ve imal edilen son ürüne bağlı olarak toplam üretim maliyetlerinin %50'sinin üzerine çıkabilmektedir (Anonim, 2004).

Tekstil sektöründe, üretim proseslerinde genellikle enerji olarak doğal gaz ve elektrik kullanıldığı saptanmıştır. Sektörde elektrik tüketimi önemli hale getiren sebeplerin başında makine ve ekipmanların yurtdışından getirilmesi ve eski teknoloji olması ve bu sebeple elektrik tüketiminin fazla olmasıdır. Enerji ile ilgili problemi çözebilmek adına enerji geri kazanımı konusunda çeşitli adımlar atmakta ve buhar ihtiyacı için birleşik ısı güç santrali planlamaktadır (Anonim, 2004).

Enerji yönetiminde amaç; karlarını maksimum seviye ulaştırmak, gider sarfiyatını minimuma indirmek, rekabet durumunu arttırmak için enerjinin rasyonel, etkin ve verimli

kullanılmasını sağlayabilmek için sinerjiyi yaratmaya çalışmaktadır. Özetle Planla, Uygula, Kontrol Et ve Önlem Al-Düzelt çevriminin farklı bir şekilde ifade edilmesidir.(Ulutürk, 2010) Enerjinin etkin kullanılarak verimin artması ile doğru bir orantısı mevcutken çevresel tüketimlerin azalması ile de ters bir orantı oluşturacaktır. Enerji yönetim sistemi Şekil 2.4'te gösterilmektedir.(Shinkawa, 1998)



Şekil 2.4 Enerji Yönetim Sistemi (Shinkawa, 1998)

Tesisin enerji ayak izi çıkarılırken Spesifik Enerji Tüketimi hesaplanarak raporlama yapılır. Spesifik enerji tüketimi; birim ürün başına kullanılan enerji olarak tanımlanmaktadır. (Ulutürk, 2010) Hesaplamalarda Denklem 2.5 baz alınmıştır.

$$\text{Spesifik Enerji Tüketimi} = \frac{\text{Enerji Tüketimi}}{\text{Üretim Miktarı}} \quad (\text{Ulutürk, 2010}) \quad (2.5)$$

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

3.1 Tesiste Karbon, Enerji ve Su Yönetimi İle İlgili Mevcut Durum

Tekstil sektörü ile ilgili verilere ulaşmak için örnek tesisle gerçekleştirilen görüşmeler temel alınmıştır. Varsayımlar yeterli delil olmadığı durumlarda veri edinmek için kullanılmıştır. Tüm veriler 2021 yılı için geçerli olmaktadır. Bu bilgiler dahilinde; yıl sonunda boyanan iplik boyama miktarından kaynaklanan, elektrik kullanımı neticesinde ortaya çıkan, taşımacılık faaliyetinden kaynaklanan, yakıt olarak kullanan kömürden kaynaklanan ve kullanılan motorinden kaynaklanan emisyon hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Tesis karbon, su ve enerji verilerini düzenli olarak kayıt altına almaktadır. Ancak bununla ilgili her hangi bir ayak izi çalışması yapılmamıştır. Yapılan çalışma bu noktada tesisin ayak izlerinin çıkarılmasında destek olacağı gibi bundan sonraki süreçlerde hesaplamalarına devam edebilmeleri açısından oldukça büyük önem taşımaktadır.

Tesiste enerji kaynağı olarak kömür kullanılmaktadır. Kömür fabrikada kullanılmak üzere buhar enerjisine dönüştürülmektedir. Elektrik enerjisi fabrikada üretilmemekte ve dışarıdan hazır olarak temin edilmektedir.

Tesiste üretim aşaması ve üretime yardımcı diğer aşamalardan kaynaklı birçok atık oluşmaktadır. Oluşan atıklar, atık sahasında depolanmakta ve lisanslı firmalara bertaraf ve geri dönüşüm için verilmektedir. Karbon Ayak İzi hesabı yapılırken Kapsam 3 kapsamında bu veriler kullanılmıştır. Bu atıkların tesisteki sınıflandırması ve miktarları Çizelge 3.1’de yer almaktadır.

Çizelge 3.1 Tesiste Oluşan 2021 Yılı Atık Miktarı

ULUSLARARASI		MİKTAR
ATIK KODU ¹	ATIK ADI	(Kg/Yıl)
040219	Saha içi atık su arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	2620
040219	Saha içi atık su arıtımından kaynaklanan tehlikeli madde içeren çamurlar	14380
040222	İşlenmiş tekstil elyafı atıkları	4730
100101	(10 01 04'ün altındaki kazan tozu hariç) dip külü, cüruf ve kazan tozu	407770
150101	Kâğıt ve karton ambalaj	84000
150102	Plastik Ambalaj	38000
150110	Tehlikeli maddelerin kalıntılarını içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ambalajlar	8595
150110	Tehlikeli maddelerin kalıntılarını içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ambalajlar	2325
160213	16 02 09'dan 16 02 12'ye kadar olanların dışındaki tehlikeli parçalar içeren ıskarta ekipmanlar	160
180103	Enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olan atıklar	2

¹ Atık Yönetim Yönetmeliği kapsamında tesis için belirlenen atıklar

Personelin sosyal ihtiyaçlarının karşılanması için kişi başına gerekli su miktarı 150 lt/gün alınırsa (Sreng, 2016);

$$\text{Personelin toplam su ihtiyaı} = \text{Personel Sayısı} \times \text{Kişi Başı Su Miktarı} \quad (3.1)$$

$$= 165 \times 150 \text{ lt/gün}$$

$$= 24750 \text{ lt/gün}$$

$$= 24,7 \text{ m}^3/\text{gün olacaktır.}$$

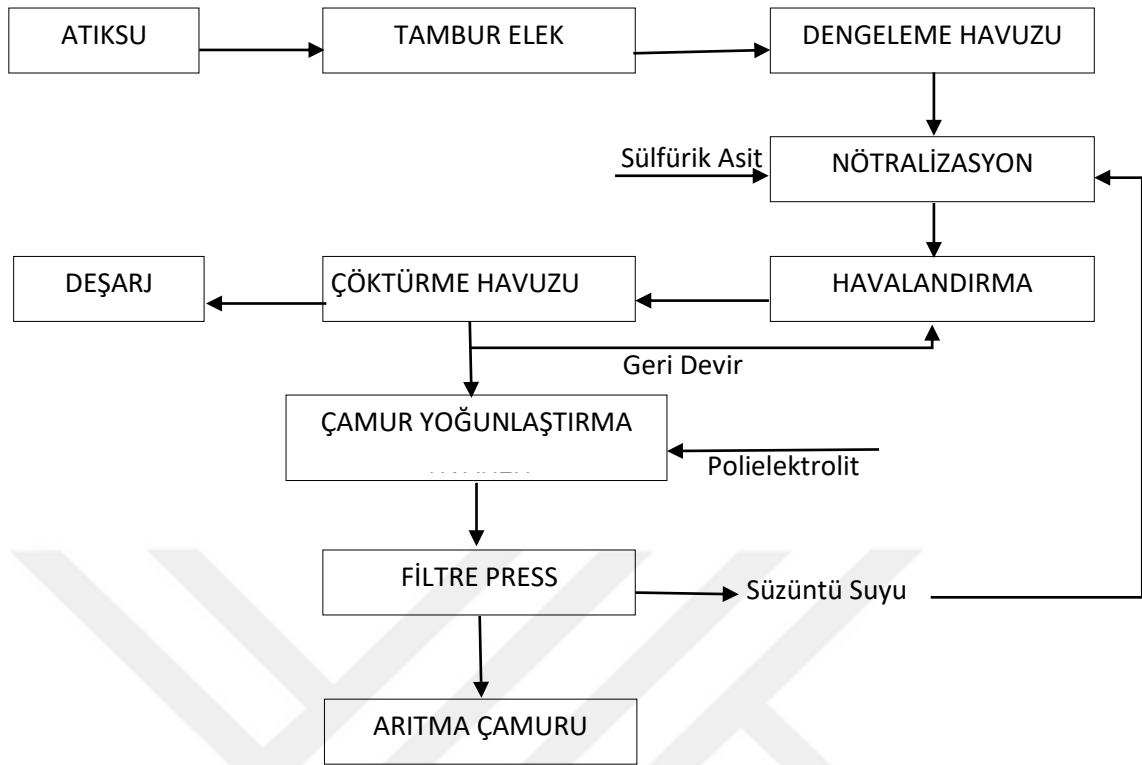
Tesiste su ihtiyaı yer altı suyu ve taşıma su ile giderilmektedir. Evsel ihtiyaç suyu 24,7 m³/gün 'dür. Tesiste üretimde kullanılan proses suları yer altı ve taşıma suyundan temin edilmektedir. Ham su yumuşatma ünitesinden geçirilip gerekli özellikleri test edilerek proseslerde kullanıma hazır hale getirilmektedir. 496 m³/günü yeraltı suyundan, 1000 m³/günü taşıma suyundan karşılanmaktadır. Bölümlere göre ortalama günlük su kullanımı izelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 Tesisin 2021 Yılı İçin Bölümlere Göre Su Kullanımı

Su Kullanılacak Bölüm	Kullanılacak Su Miktarı (m³/gün)
Boyama	1.100
Santrifüj	100

İşletme içerisinde tüketilen suyun büyük bir kısmı atık su olarak çıkmaktadır. Atık su ortak arıtma tesisine gönderilmektedir. Tesiste 1500 m³/gün kapasiteli Biyolojik sistem Atıksu Arıtma Tesisine bulunmaktadır. İşletme tam kapasite çalışmaktadır. Arıtma tesisi uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi olarak çalışmaktadır. Tesis, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre tablo 10.1 Tekstil Sanayi (Açık Elyaf, İplik Üretimi Ve Terbiye) ve tablo 10.3 Tekstil Sanayii(Pamuklu Tekstil ve Benzerleri) tabiidir ve bu standartlara göre atık suyun deşarjı sağlanmaktadır. Tesisin atık su arıtma tesisi iş akım şeması şekil 3.1'de gösterilmiştir.

ATIKSU ARITMA TESİSİ İŞ AKIM ŞEMASI



Şekil 3.1 Tesisin Atık Su Arıtma Tesisi İş Akım Şeması

Atıksu Arıtma Tesisinin üniteleri;

- Fiziksel Arıtma: Cazibe ile gelen proses suyunda, karışım halinde yüksek miktarlarda katı madde vardır. Bu maddeler önce elek ızgaradan geçirilerek hem sistemdeki mekanik ekipmanı korur hem de sistemin arıtma yükü hafifletilmiş olur. Elekten geçen su dengeleme havuzuna alınır ve atık karakterizasyonu sağlanır.
- Nötralizasyon: Nötralizasyon tankına iletilen atıksuya asit yardımıyla pH ayarlaması yapılır. pH düzeltilmesi yapılmış atıksu havalandırma havuzuna iletilir.
- Biyolojik Arıtma: Havalandırma havuzuna iletilen atıksu difüzörler yardımıyla atıksuya oksijen kazandırılır ve atıksudaki mikroorganizmaların gelişimine katkı sağlar. Mikroorganizmalar atıksu içerisindeki kirleticileri indirgeyerek atıksuyun arıtılmasını sağlar. Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi prensibi ile biyolojik olarak arıtma tabi tutulur.
- Çöktürme Havuzu: Havalandırma havuzunda bulunan atıksu çöktürme havuzlarına iletilir. Burada atıksu hidrolik bekleme süresine tabi tutularak çamur çöktürülür. Üstte kalan atıksu biyolojik olarak arıtılmış olarak deşarj edilir.
- Altta kalan çamurun bir kısmı geri devir hattına alınarak havalandırma havuzundaki bakteri konsantrasyonunun stabil kalmasında kullanılırlar.

- Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi: Çöktürme havuzunda oluşan arıtma çamuru çamur yoğunlaştırma havuzuna aktarılır ve polielektrolit yardımıyla yoğunlaştırılır ve çamur stabil hale getirilir.
- Çamur Susuzlaştırma Ünitesi: Oluşan sulu çamurun susuzlaştırılması için kullanılmaktadır. Oluşan susuzlaştırılmış çamur tehlikeli nitelik taşıdığından tehlikeli atık bertaraf tesisine gönderilmek üzere geçici atık depolama sahasında bekletilir. Susuzlaştırma işleminde oluşan süzüntü suyu ise nötralizasyon tankına iletilir.

Çizelge 3.3 Tesisin 2021 Yılı Faaliyet Verileri

Faaliyet Verisi	Birim	Miktar
Üretim (Toplam)	t/yıl	5.638
Bir Çalışma Yılı	İş günü/yıl	295
2021 yılı toplam katı atık üretimi	Kg/yıl	440.582
Servis aracı Büyük	Km/yıl	85200
Servis aracı Küçük	Km/yıl	44020
Elektrik Tüketimi (Toplam)	kWh/yıl	10.301.704
Kömür Tüketimi (Toplam)	t/yıl	2917
Çalışan Sayısı (Toplam)	kişi	165
Tesis Toplam Alanı	m ²	7.588
Su Tüketimi	m ³ /yıl	555.117

Çizelge 3.3'te belirtilen faaliyet verilerin emisyon faktörleri, IPCC, National Greenhouse Gas Inventory Report 2021, elektrik tüketimi için Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü Bilgi Formundan kabul edilmiştir. Servis aracı emisyon faktörü küçük ve büyük araçlar için ayrı ayrı kabul edilerek seçilmiştir. Karbon ayak izi hesabı Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 olarak ayrı ayrı hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

3.2 Karbon Ayak İzi Hesapları

Karbon ayak izi hesabı faaliyet verileri ile emisyon faktörlerinin çarpılmasından elde edilmiştir, hesaplamada kullanılan eşitlik Denklem 2.2’de gösterilmektedir. Birim ürün başına karbon ayak izinin hesaplanabilmesi tesisten temin edilen değerler formülde faaliyet verisi değeri olarak kullanılacaktır. Faaliyet verileri 1 kg ürün başına hesaplanacaktır. Karbon ayak izi hesabı için coğrafi olarak en alakalı ve güncel emisyon faktörleri (kg CO₂) kullanılacaktır.

3.2.1 Kapsam 1 Hesaplamaları

3.2.1.1 Kömür Kullanımı Nedeniyle Üretilen Karbon Miktarı

Hesaplamada ilk adım kömürün tüketim miktarlarının belirlenmesidir. Çizelge 3,4’de aylık olarak kömür tüketim miktarları verilmiştir. Tesisten alınan veriler sonucunda yıllık kömür tüketimi 2917 tondur.

Çizelge 3.4 Tesisin Aylara Göre Kömür Tüketimi (2021 yılı)

AYLAR	MİKTAR (ton)
Ocak	227
Şubat	243
Mart	285
Nisan	250
Mayıs	225
Haziran	228
Temmuz	196
Ağustos	236
Eylül	224
Ekim	267
Kasım	270
Aralık	266
Yıllık Toplam	2917

Hesaplamada ikinci adım olarak yakıtların tüketim değerleri ile net kalorifik değerleri çarpılarak enerji tüketimin hesaplanmasıdır. Net kalorifik değerleri 27.10.2011 tarih ve 28097 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren ‘Enerji Kaynaklarının ve Enerji Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelikte’ yer alan değerlerdir. Bu değerler Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Yakıtların Net Kalorifik Değerleri (SKETVAY, 2011)

Yakıt Türü		Net Kalorifik Değeri (kCal/Kg)
Benzin		10400
Motorin		10200
LPG(Sıvılaştırılmış Gazı)	Petrol	10900
Kömür		6100
Doğal Gaz		8250

$$\text{Enerji Tüketimi (TJ)} = \text{Yakıt Tüketimi(t)} \times \text{Net Kalorifik Değer (kCal/kg)} \quad (3.2)$$

Hesaplamada üçüncü adım her yakıt grubu için IPCC kılavuzunda belirlenen karbon emisyon faktörleri (IPCC 2021) seçilir ve bu değer kullanılarak yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyon değeri bulunmaktadır.

$$\text{Enerji Tüketimi} = \text{Yakıt Tüketimi} \times \text{Dönüşüm Faktörü} \quad (3.3)$$

$$\text{Karbon Emisyonu} = \text{Enerji Tüketimi} \times \text{Karbon Emisyon Faktörü} \quad (3.4)$$

CO₂ Emisyon Hesabı:

$$\text{CO}_2\text{e} = 7042860 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{CO}_2\text{e} = 7043 \text{ tCO}_2\text{e}$$

CH₄ Emisyon Hesabı:

$$\text{CH}_4 = 74 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2\text{e} = 2077 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{CO}_2\text{e} = 2 \text{ tCO}_2\text{e}$$

N₂O Emisyon Hesabı:

$$\text{N}_2\text{O} = 112 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2\text{e} = 30487 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{CO}_2\text{e}=30 \text{ tCO}_2\text{e}$$

$$\text{Toplam CO}_2\text{e}=7075 \text{ tCO}_2\text{e}$$

3.2.2 Kapsam 2 Hesaplamaları

Çizelge 3.3 ve Çizelge 2.2 veriler IPCC Tier 1 formülü kullanılarak karbon ayak izi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

3.2.2.1 Elektrik Kullanımından Kaynaklı Olarak Üretilen Karbon Miktarı

$$\text{Elektrik Kullanımı Emisyon Hesabı} = \text{Elektrik Tüketimi} \times \text{Emisyon faktörü} \quad (3.5)$$

$$=4955 \text{ tCO}_2\text{e}$$

3.2.3 Kapsam 3 Hesaplamaları

3.2.3.1 Katı Atıkların Karbon Emisyonu

Çizelge 3.1’de yer alan atıklar baz alınarak hesaplama yapılmıştır. Çöp kaynaklı atıkların ve tehlikeli atıkların karbon salınımları ayrı olarak hesaplanmıştır.

3.2.3.1.1 Evsel Atık Kaynaklı Karbon Emisyonu

$$\text{CO}_2\text{e} =$$

$$\text{Toplam Kişi Sayısı} \times \frac{(\text{Toplam CH}_4 \text{ Üretimi})}{\text{Toplam Türkiye Nüfusu}} \times \text{KIP} \quad (3.6)$$

$$\text{CO}_2\text{e}=40000 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{CO}_2\text{e}=40 \text{ tCO}_2\text{e}$$

3.2.3.1.2 Tehlikeli Atık Karbon Emisyonu

$$\text{CO}_2\text{e}=$$

$$\text{Miktar} \times \text{Kalorifik Değer} \times 4186 \times (\text{EF-CO}_2 + (\text{EF-CH}_4 \times 27,9) + (\text{EF-N}_2\text{O} \times 273)) \quad (3.7)$$

$$\text{CO}_2\text{e}=1272296 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{CO}_2\text{e}=1272 \text{ tCO}_2\text{e}$$

3.2.3.2 Ulaşım Nedeniyle Üretilen Karbon Emisyonu

Çizelge 3.6’da fabrika servislerinin güzergâhları ve yıllık olarak kat ettiği mesafeler gösterilmiştir. Çizelge 3.6’da A-1 ve A-2 büyük araç tipleri 08.00-16.00, 16.00-24.00, 24.00-08.00 olmak üzere günde 3 vardiya seferi yapmaktadır. B-1 ve B-2 servisleri günde bir sefer gerçekleştirmektedir. Hesaplamalar büyük araç ve küçük araç farklı emisyon faktörleri ile birlikte ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Araçlar için daha uygun Tier 3 metodolojisi olmasına rağmen verilere ulaşmak oldukça zorlu olduğundan dolayı Tier-1 metodolojisi kullanılmıştır. Çizelge 3.6’da görüldüğü üzere araçlar 2021 yılı boyunca toplam kat ettiği mesafe 134.225 km’dir.

Çizelge 3.6 Tesisin araçlarının sefer sayıları ve mesafeleri

Güzergâh	Mesafe (Gidiş. Geliş km)	Sefer Sayısı / gün	Toplam Yıllık Mesafe (km)	Araç Tipi
A-1	50	3	44.250	Büyük araç
A-2	50	3	44.250	Büyük araç
B-1	50	1	14.750	Küçük araç
B-2	105	1	30.975	Küçük araç
TOPLAM	255	8	134.225	

3.2.3.2.1 Büyük Araçlar İçin Karbon Emisyonu

$$\text{CO}_2\text{e} = \text{Yakıt Tüketimi} \times \text{Toplam Yıllık Mesafe} \quad (3.8)$$

$$\text{Toplam CO}_2\text{e} = 67310 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{CO}_2\text{e} = 67 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

3.2.3.2.2 Küçük Araçlar İçin Karbon Emisyonu

$$\text{CO}_2\text{e} = \text{Yakıt Tüketimi} \times \text{Toplam Yıllık Mesafe} \quad (3.9)$$

$$\text{Toplam CO}_2\text{e} = 11592 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{CO}_2\text{e} = 12 \text{ tCO}_2\text{e}$$

3.2.3.3 Su Tüketiminin Karbon Emisyonu

$$\text{CO}_2\text{e} = 82712 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

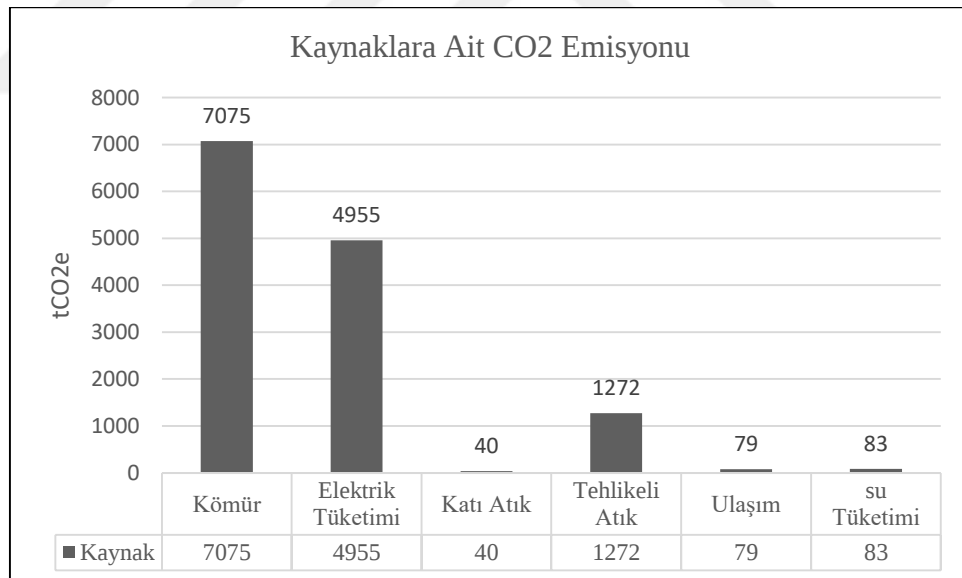
CO₂e=83 tCO₂e

Çizelge 3.7’de 2021 yılı için yapılan hesaplamalar sonucu, kaynaklara ait karbon eşdeğeri sonuçları verilmiştir.

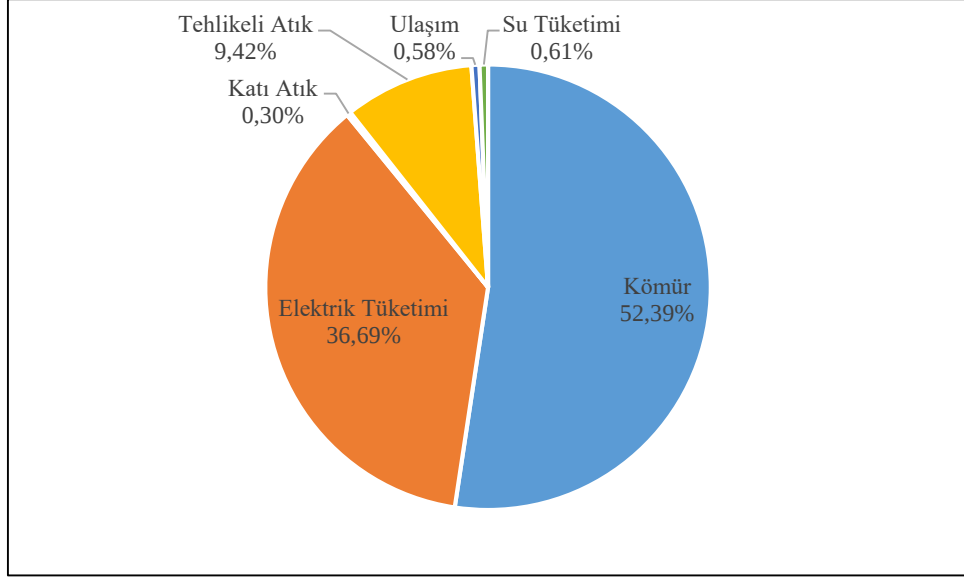
Çizelge 3.7 Kaynaklara Ait CO₂, CH₄, N₂O Emisyonları İçin karbon Eşdeğeri Sonuçları

Kaynak	CO ₂ emisyonu (ton)	CH ₄ emisyonu karbon eşdeğeri (ton)	N ₂ O emisyonu karbon eşdeğeri (ton)
Kömür	7043	2	30
Elektrik Tüketimi	4955		
Katı Atık	40	-	-
Tehlikeli Atık	1272	-	-
Ulaşım	79	-	-
Su Tüketimi	83	-	-
TOPLAM	13472	2	30

Şekil 3.2’de kaynaklara ait CO₂ miktarları grafik olarak gösterilmiştir. Kömür en fazla CO₂ salınımı yapan kaynaktır. En az CO₂ salınımı yapan kaynak ise tesisin su tüketimidir.



Şekil 3.2 Kaynaklara Ait CO₂ Emisyon Miktarları(2021 yılı)



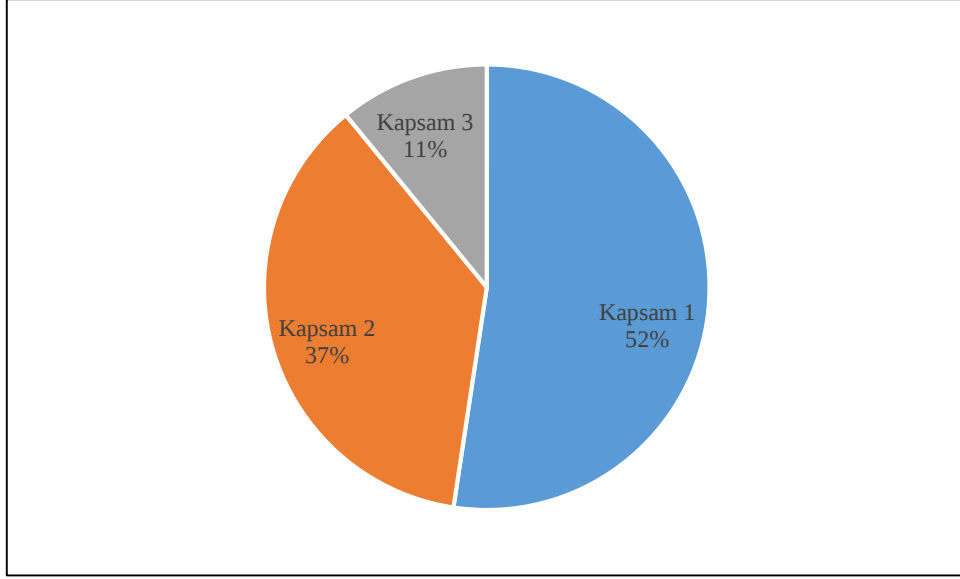
Şekil 3.3 Kaynaklara Ait 2021 Yılı İçin CO₂ Emisyon Miktarının Yüzdesel Dağılımı

Çizelge 3.8’de tesise ait verilere göre yapılan hesaplamaların sonuçları CO₂ eşdeğeri olarak kısaca özetlenmiştir. Toplam yıllık karbon eşdeğeri miktarı 13.504,46 ton bulunmuştur.

Çizelge 3.8 Kapsam İçeriklerine Göre 2021 yılı Karbon Emisyon Miktarları

Kapsamlar	Emisyon Kaynağı	2021 yılı kapsamlara göre ton olarak karbon miktarı
Kapsam 1- Direkt Emisyonlar	Kömür	7075
Kapsam 2- Enerji Dolaylı Emisyonlar	Elektrik	4955
Kapsam 3- Diğer Kaynaklı Emisyonlar	Atık, Taşımacılık, Su	1474

Dünya kaynakları enstitüsü kapsam içeriklerine göre tesisin 2021 yılı için karbon eşdeğeri miktarı ve yüzdesi Şekil 3.4’te gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Kapsamlara Göre 2021 Yılı Yüzde Olarak Karbon Miktarları

Kapsamlarına göre karbon emisyon sonuçlarına bakıldığında Kapsam 1 %52, Kapsam 2 %37 ve Kapsam 3 %11 olduğu görülmektedir. CO₂e olarak en yüksek miktar ve dolayısıyla yüzdelik oran kömür tüketiminden kaynaklanan emisyonlara aittir. Elektrik kullanımı ile ilgili karbon emisyonları ikinci sırada yer almaktadır. Üretim bazlı karbon eşdeğeri hesabı yapılırken tesisin faaliyeti olan iplik boyama prosesinin üretim verileri kullanılmıştır. Bir kg iplik boyama yapılabilmesi için 2,39 CO₂e salınımı yapılmaktadır.

Sonuçlar diğer sektör ile bağdaştırıldığında göstermektedir ki tesisin üretim kapasitesi, büyüklüğü CO₂ emisyon miktarını etkileyen faktörlerdendir. Sektörel kıyaslama yapıldığında tekstil sektörünün CO₂ emisyon miktarlarının daha fazla olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ancak örneklem kabul edilen tekstil sektörü sadece bobinde iplik boyama faaliyetini içerdiği için diğer sektörlerden toplam yıllık CO₂ eşdeğeri daha az çıkarken 1 kg ürün başına CO₂ eşdeğerinin yüksek olduğu görülmektedir.

3.3 Su Ayak İzi Hesaplamaları

Tesisin su ayak izi çalışmasının yürütülebilmesi için öncelikle envanter çıkarılma çalışması yürütülmüştür. Envanter çıkarma çalışmasının ilk aşaması gerekli olan tüm girdilerin ve çıktıların belirlenebilmesidir. Bu bilgilerin sağlanabilmesi için tesisin çevre denetim departmanı ile kişisel görüşmeler yapılmıştır. İşletmeye ait su ayak izi bileşenleri Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Tesise Ait Su Ayak İzi Bileşenleri

Operasyonel Su Ayak İzi		Tedarik Zinciri Su Ayak İzi	
Ürün Üretimi ile doğrudan bağlantılı operasyonel su ayak izi	Genel Operasyonel Su Ayak İzi	Ürün girdileri ile ilgili tedarik zinciri su ayak izi	Genel Tedarik Zinciri Su ayak izi
		Şirket tarafından satın alınan ürün içeriklerinin su ayak izi.	Altyapı su ayak izi (inşaat vb.)
Proses Suyu	Mutfak,temizlik, tuvaletler,bahçe.	Şirket tarafından ürünlerini işlemek için satın alınan malzemelerin su ayak izi.	Genel kullanımdan kaynaklı malzeme ve enerji su ayak izi. (elektrik, ofis malzemeleri vb.)

Çizelge 3.10’da gösterilen, raporlamaya dâhil olan su kaynakları ilgili standarda uygun olarak izlenmektedir. Tüketilen su kaynakları şebeke suyu ve kuyudur. Kirletilen suda, KOI, AKM, yağ-gres, çinko, toplam krom parametrelerine bakılmaktadır. Ancak yağ-gres, çinko ve toplam krom analiz sonuçları çok düşük değerler olduğundan su ayak izi hesaplamasına dahil edilmemiştir.

Çizelge 3.10 Tesisin Tüketilen ve Kirletilen Su Sistem Sınırları Tablosu

Tüketilen/Çekilen Su		Kirletilen Su
Su Kaynağı	Kuyu, Şebeke	Atıksu Arıtma Tesis
Kaynak Tipi	Yeraltı Suyu, Şebeke Suyu	Proses, Tuvalet, Mutfak
Veri Kaynağı	Fatura	Sayaç

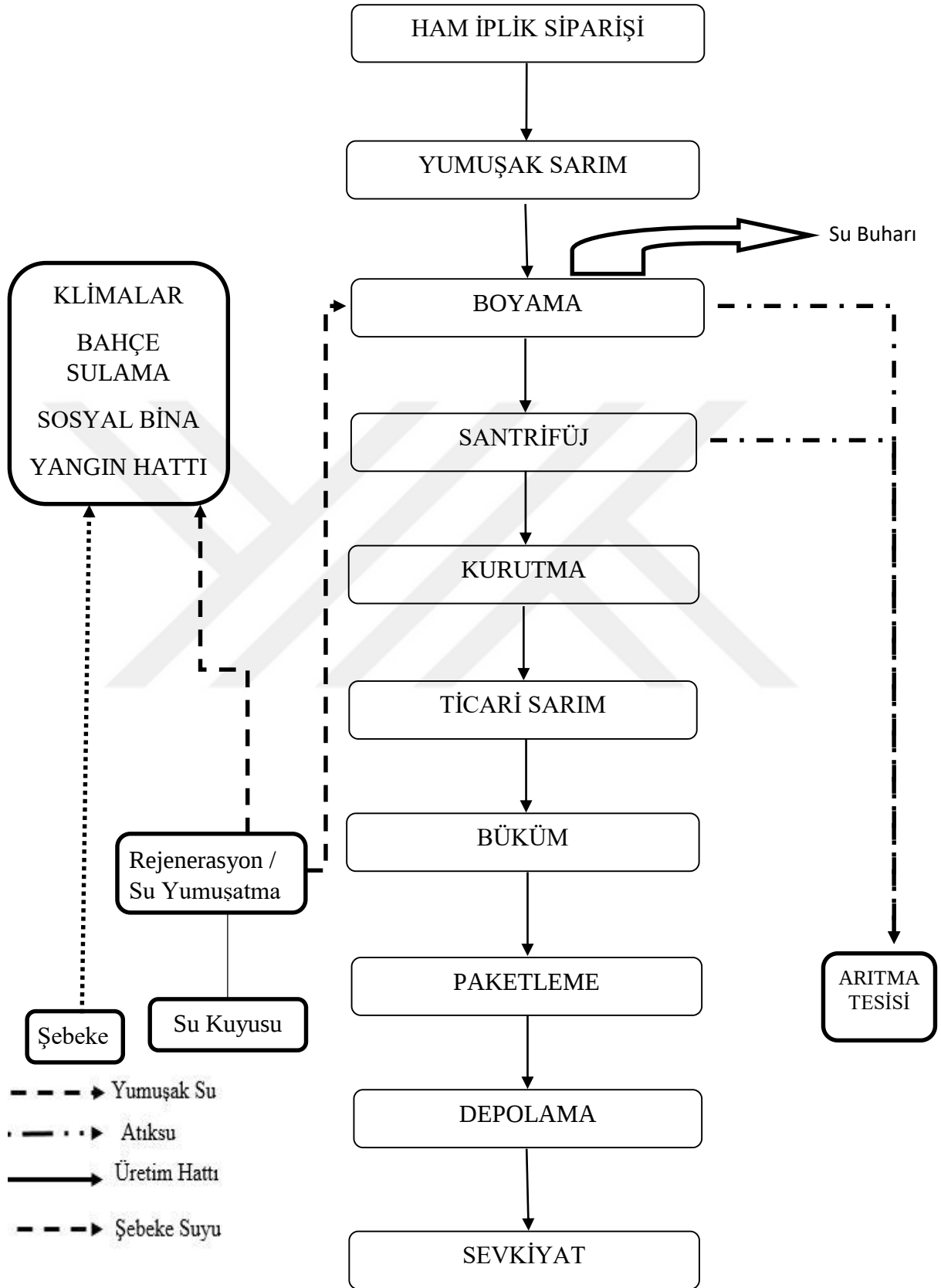
Fabrikanın 2021 yılına ait aylık su tüketimleri Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 Tesisin 2021 Yılı Aylık Su Tüketim Miktarları ve Atık Su Analiz Sonuçları

Su Tüketimi (m ³ /ay)	KOI (mg/l)	AKM (mg/l)
Ocak	40.430	133,07
Şubat	38.110	137,81
Mart	35.977	65,08
Nisan	43.505	141,26
Mayıs	47.751	162,13
Haziran	53.170	212,15
Temmuz	48.496	47,17
Ağustos	54.512	40,17
Eylül	50.518	38,46
Ekim	51.412	40,17
Kasım	43.386	57,27
Aralık	47.850	32,06
Toplam	555.117	

Tesisin su tüketimi, proses, tuvalet, mutfak, bahçe gerçekleştirmektedir. Tesisin su tüketimi, üretim proses aşamalarına göre farklılık göstermektedir. Tesisimizde 2 proseste su tüketiminin gerçekleştiği görülmektedir. Islak işlemler(Boyama) suyu diğer proseslere göre daha fazla tüketmektedir. Diğer bir su kullanılan proses ise Santrifüj bölümüdür.

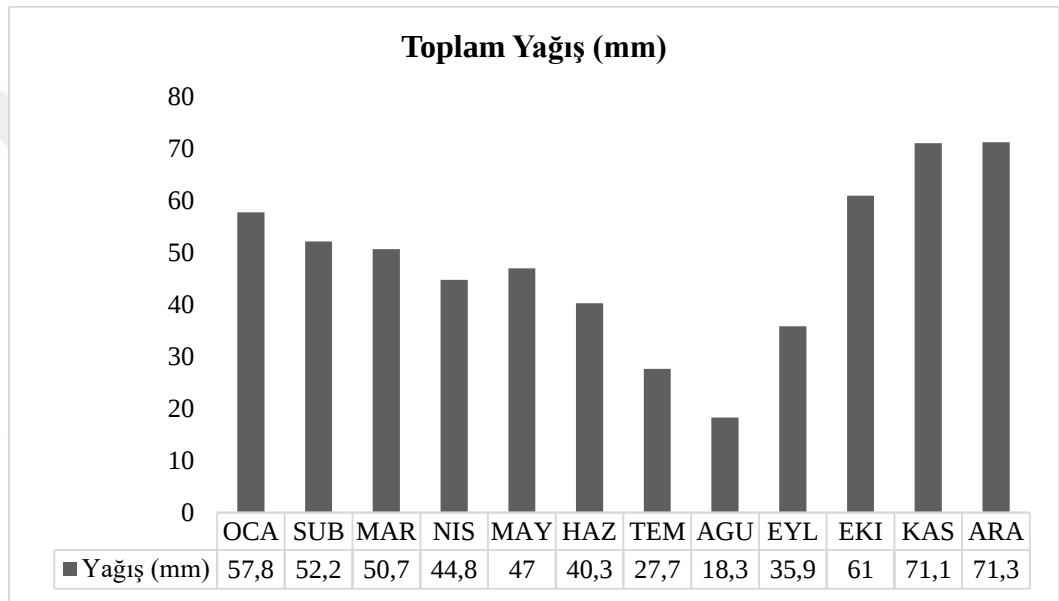
Tesisimizde oluşan atık sular arıtma tesisine gönderilmektedir. Arıtma tesisinde arıtma işlemlerine tabi tutulduktan deşarj edilmektedir. Tüm bu süreçleri içeren su akış diyagramı Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Tesisin Su Akış Diyagramı

3.3.1 Yeşil Su Ayak İzi Hesaplamaları

$WF_{Yeşil}$ hesaplamasında tesisin açık alanına düşen yağış bilgilerinden yararlanılacaktır. Bölgeye en yakın 17054 numaralı meteoroloji istasyonundan 1938-2017 yılları arasında aylık toplam yağış verileri temin edilmiş olup, ortalaması Şekil 3.6'da verilmiştir. Verilerin tamamının aritmetik ortalaması $48,17 \text{ mm} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$ 'dir. Otuz yıllık ortalama baz alındığında yıllık toplam yağış $578,1 \text{ mm} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$ değerine denk gelmektedir. İşletmenin açık alanı 1941 m^2 olarak tesis yetkililerinden alınmıştır. Suyun özgül ağırlığı 1.000 kg/m^3 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.6 Aylık Toplam Yağış Miktarları (Meteoroloji Verisi, 1938-2017)

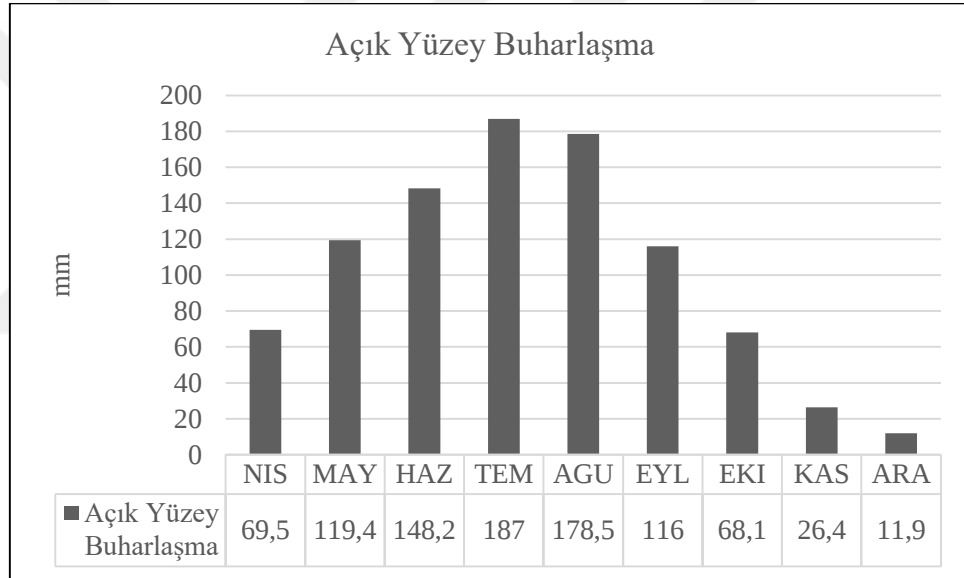
$$WF_{Yeşil, Yağış} = 578,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{yıl}} \times 1941 \text{ m}^2 \times 10^{-3} = 1122 \frac{\text{m}^3}{\text{yıl}}$$

3.3.2 Mavi Su Ayak İzi Hesaplamaları

Tesiste kuyu suyu ve şebeke suyu kullanıldığından mavi su ayak izi bu tüketimlerin tamamına eşittir. Mavi su ayak izi hesabında arıtma kimyasalları, arıtma elektriğin hesaplanabilmesi için daha önceki çalışmalardan elde edilmiş bazı verilerin kabul edilmesi gerekmektedir. Ancak bizim tesisimizde arıtma tesisinden oluşan arıtma çamuru, arıtma tesisinde kullanılan kimyasallar, arıtma tesisinde kullanılan elektrik gibi mavi su ayak izine dahil edilen verilerin işletmede veri kaydı tutulmadığından bu bileşenler su ayak izi hesabına katılamamıştır.

$$WF_{Mavi} = 555117 \frac{m^3}{yıl}$$

Tesis içerisinde kullanılan suyun buharlaşması gerçekleşeceğinden tesis genelinde yıllık buharlaşma miktarı hesaplanacaktır. Buharlaşan su miktarının bulunabilmesi için bölgeye en yakın istasyonundan 1938-2017 yılları arasında 17056 meteoroloji istasyonundan alınan toplam açık yüzey buharlaşma değerleri kullanılacaktır. Bu değerler Şekil 3.7’de verilmiştir. Verilerin tamamının aylık aritmetik ortalaması $115,625 \text{ mm} \left(\frac{kg}{m^2} \right)$ çıkmaktadır. Otuz yıllık ortalama baz alındığında yıllık toplam yağış $925 \text{ mm} \left(\frac{kg}{m^2} \right)$ değerine denk gelmektedir. Suyun özgül ağırlığı 1.000 kg/m^3 olarak kabul edilmiştir. İşletmenin açık alanı 1941 m^2 olarak tesis yetkililerinden alınmıştır.



Şekil 3.7 Aylık Açık Yüzey Buharlaşma Miktarları (Meteoroloji Verisi, 1938-2017)

$$\text{Buharlaşma} = 925 \frac{kg}{m^2.yıl} \times 1941 \text{ m}^2 = 1795 \frac{m^3}{yıl}$$

3.3.3 Gri Su Ayak İzi Hesaplaması

Hesaplamanın yapılabilmesi için tesisin atık su kirletici konsantrasyonlarının bilinmesi gerekmektedir. Kirletici konsantrasyonlarının yıllık ortalaması hesaplarda kullanılmıştır. Her bir parametre için tek tek hesap yapılmalıdır. Çizelge 3.12’de bu değerler görülebilir.

C_{nat} KOI değeri Ergene Nehri Havzası Çevre Koruma ve Havzalar Arası Atıksu Transferi Projesinden, C_{nat} AKM için ZDHC Interim Wastewater Guidelines dokümanı baz alınmıştır. C_{max} ise 31/12/2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmi Gazete 'de yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğindeki sektörel tablolar baz alınarak Denklem 2.4'e göre hesaplamalar yapılmıştır.

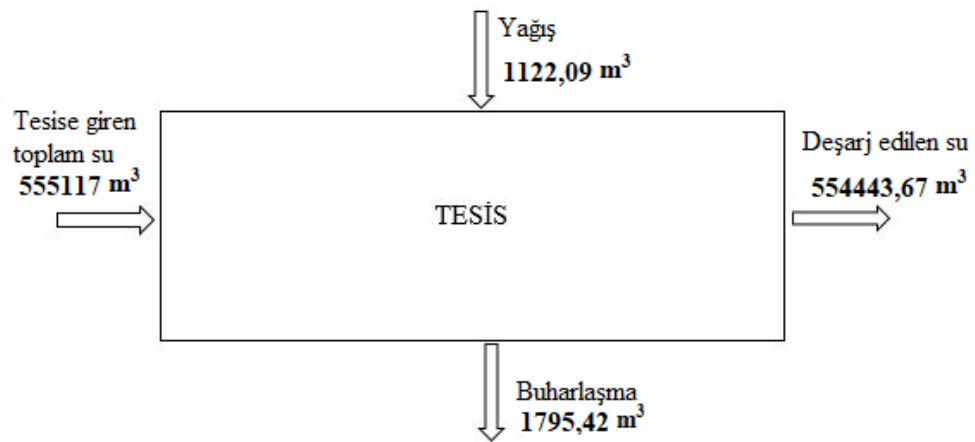
Çizelge 3.12 WF_{GRI} Hesaplamalarında Kullanılacak Değerler

Parametre	L (mg/l)	C_{max} (mg/l)	C_{nat} (mg/l)
KOI	92	200	125
AKM	26	120	70

Çizelge 3.13 WF_{GRI} Hesaplama Sonuçları

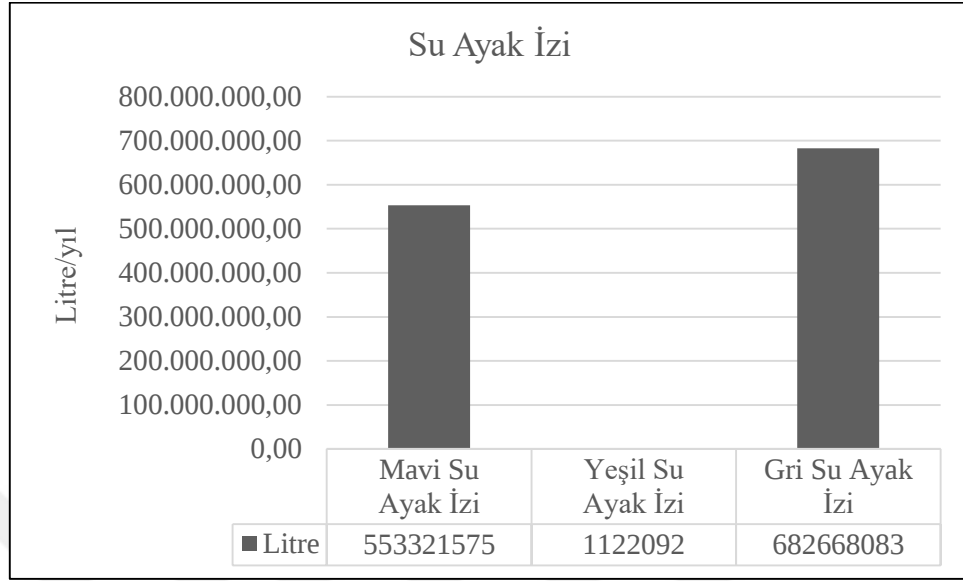
Parametre	$W_{GRI, Toplam}$ (litre/yıl)
KOI	682668083
AKM	292413431

Yapılan hesaplamalar neticesinde tesisin su kütle dengesi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



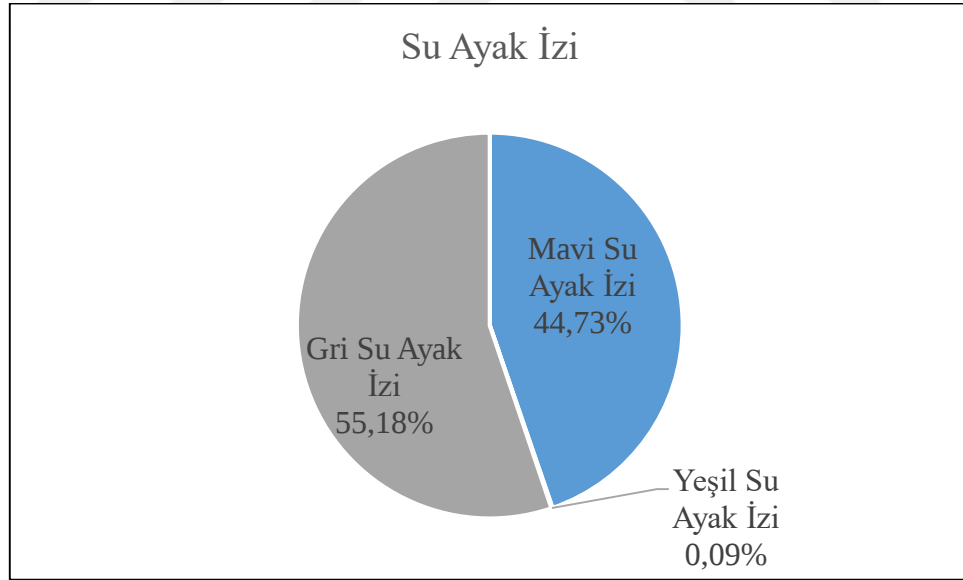
Şekil 3.8 Tesis Yıllık Su Girdi ve Çıktıları

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda Mavi Su Ayak İzi en yüksek Gri Su Ayak İzi ikinci ve Yeşil Su Ayak İzi de en son sırada yer almaktadır. Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Yıllık Toplam Su Ayak İzi Grafiği (2021 yılı)

Su Ayak İzi faaliyetlerinin 2021 yılına toplam su ayak izi yüzdesel dağılımı Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Yıllık Toplam Su Ayak İzi Yüzdesel Dağılım Grafiği(2021 yılı)

Üretim bazlı Su Ayak İzi hesabı yapılırken tesisin faaliyeti olan iplik boyama prosesinin üretim verileri kullanılmıştır. Bir kg iplik boyama yapılabilmesi için 98 litre mavi su ayak izi, 0,20 litre yeşil su ayak izi ve 121 litre gri su ayak izi değeri bulunmuştur. Bir kg iplik boyama yapılabilmesi için toplam su ayak izi 219 litre olarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplama sonuçları diğer sektörlerin su ayak izi kıyaslandığında örneklem kabul edilen tesisin su ayak izinin düşük miktarlarda çıktığı kanıtlanmıştır. Bunun başlıca sebeplerinden biri iş akım şemasında sadece iki proseste su kullanılması gelmektedir. Ayrıca tesisin sadece bobinde iplik boyama faaliyetini gerçekleştirmesinde etkili olmaktadır. Entegre tekstil tesislerinde su ayak izi miktarlarının daha yüksek çıktığı görülmüştür.

3.4 Enerji Ayak İzi Hesaplamaları

İşletme üretimini 5647 m² kapalı alana sahip tesislerinde yapmaktadır. Yıllık kapasitesi 1.476.552 kg/yıl bobinde iplik boyama ve 489.345 kg/yıl iplik bükümü kapasitesine sahiptir. Bobinde iplik boyama yapan işletme ham iplik siparişi, yumuşak sarım, boyama, kurutma, ticari sarım, büküm, paketlenme ve sevkiyat işlemleri gerçekleştirilmektedir. Üretim esnasında kömür, buhar ve elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Tesisin makine listesi Çizelge 3.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.14 Tesisin Makine, Teçhizat ve Ekipmanları

Ekipman	Adet	Anma Gücü(KW)
Laboratuvar Boya Karıştırıcısı	2	0,01
Hidrofor Sistemi	3	22,5
Tam Otomatik Su Yumuşatma Cihazı	4	0,0
Ph Metre	3	0,0
Gezer Vinç	1	0,0
Elektrik Panoları	2	0,0
Trafo Müştemilatı	3	0,0
Nem Ölçer AQUABOY	2	0,0
Linde Forklift	1	0,0
Strayfild Kurutma	3	125,0
10luk Pıpet	2	0,0
Askılı Kurutma Fırını	1	0,0
İplik Sarma Çıkırığı	2	0,74
Terazi	6	0,0
Manyetik Karıştırıcı	1	0,0
Işık Kabini	3	0,0
Islatıcı Tabla	2	0,0
Otomasyon Grubu	1	0,0
Boyama Makinası 5 Kg'lık	2	0,0
Boyama Makinası 8 Kg'lık	2	0,0
Boyama Makinası 20'lık	1	0,0
Boyama Makinası 40'lık	1	0,0
Boyama Makinası 50'lık	3	12,0
Boyama Makinası 100'lık	1	19,5
Boyama Makinası 200'lık	1	30,0

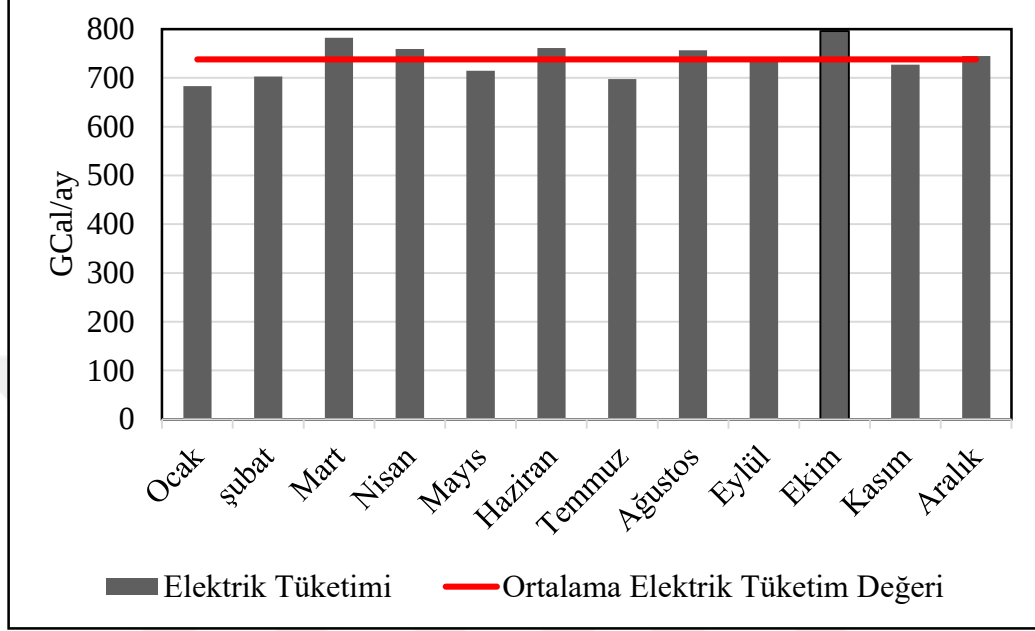
Çizelge 3.14 Tesisin Makine, Teçhizat ve Ekipmanları(Devamı)

Boyama Makinası 300'lık	1	45,0
Boyama Makinası 400'lık	1	55,0
Boyama Makinası 800'lık	1	90,0
Boyama Makinası 1000'lık	1	90,0
Boyama Makinası 1000'lık	1	90,0
HT Bobin Boya Makinası 1200 KG	1	110,0
İplik Büküm Makinası	4	30,0
Santrifüj Sıkma Makinası	3	15,0
Yumuşak Sarım İplik aktarma Makinası	8	55,0
Örgü Makinası	1	15,0
Port. Mek. İplik Sar. Test Cihazı	1	7,0
Yıkama Haslığı Test Cihazı ve Ekipmanları	1	0,0
Numune Boya Makinası	4	0,0
Paketleme Makinası	1	0,0
Transpaet	5	0,0
Kömürlü Buhar Makinası	1	0,0
Akülü İstif Aracı	1	0,0
Spectro	1	0,0
Kartela Makinası	1	0,0
Fikse Makinası	1	15,0
İplik Katlama Makinası	2	9,6

Çizelge 3.15 Tesisin 2021 Yılı Üretim ve Enerji Tüketim Verileri

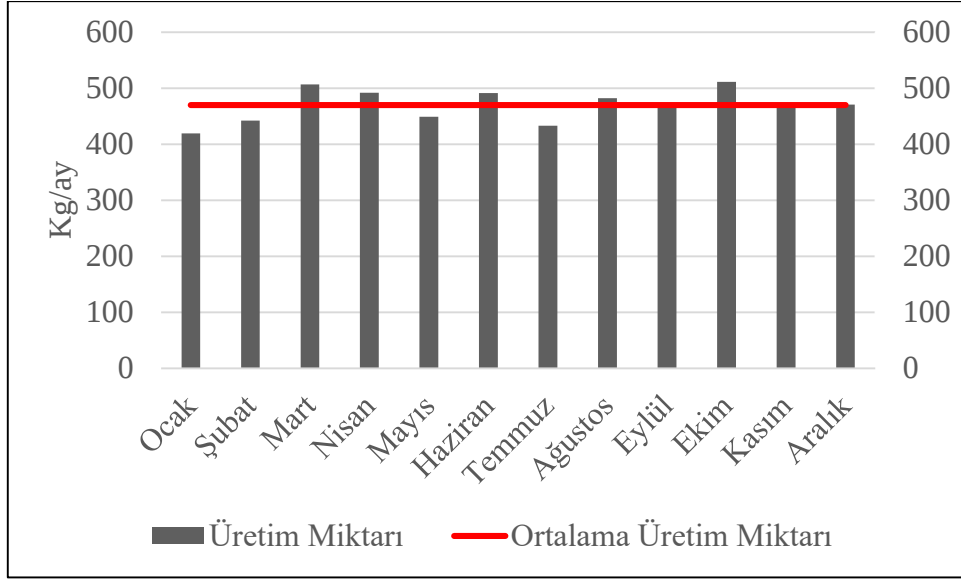
AYLAR	ELEKTRİK TÜKETİMİ (kWh)	KÖMÜR (TON)	BUHAR TÜKETİMİ (TON)	TOPLAM ÜRETİM (KG)
Ocak	794.229	227	1.751	419.103
Şubat	817.283	243	1.901	442.417
Mart	909.980	285	2.009	506.836
Nisan	883.099	250	1.912	491.745
Mayıs	831.017	225	1.761	449.077
Haziran	885.254	228	1.798	491.244
Temmuz	811.310	196	1.548	433.233
Ağustos	879.591	236	1.710	482.195
Eylül	853.167	224	1.796	470.638
Ekim	925.493	267	2.046	511.417
Kasım	845.495	270	1.909	468.248
Aralık	865.786	266	1.883	471.023
Toplam	10.301.704	2.917	22.024	5.637.176

Çizelge 3.15'te tesisin aylara göre enerji tüketim değerleri görülmektedir. Tesisin ortalama enerji tüketimi 2021 yılı için aylık ortalama 858.475 kWh'dir. En fazla enerji tüketimi 925.493 kWh ile Ekim ayında gözükmekte olup, en az enerji tüketimi 794.229 kWh ile Ocak ayındadır



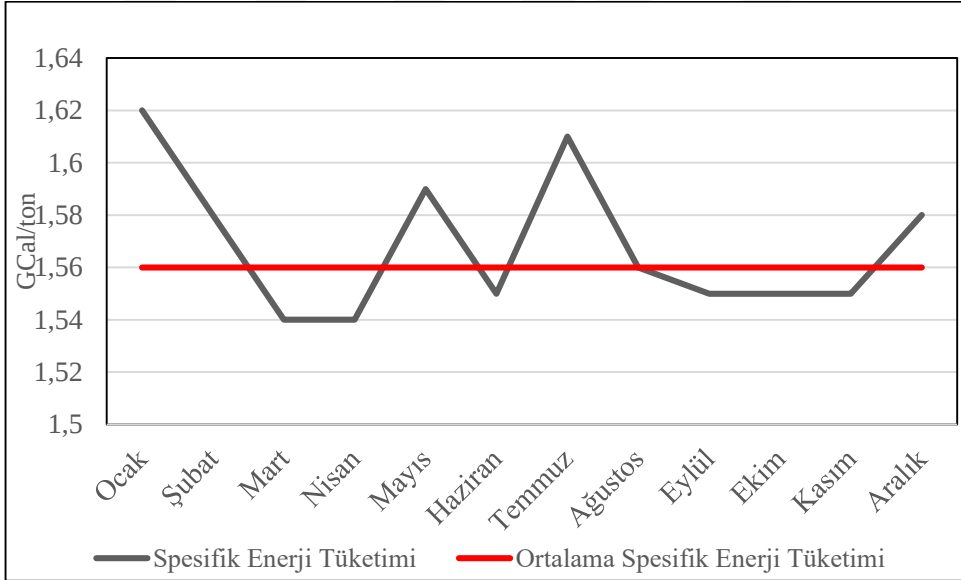
Şekil 3.11 2021 Yılı Aylık Elektrik Tüketimleri

İşletmenin aylara göre elektrik tüketimi Şekil 3.11'de görülmektedir. Grafiğe göre İşletmenin aylık ortalama elektrik tüketimi 718 GCal'dır. Enerjinin en fazla tüketildiği ay 796 GCal ile Ekim ayı olmuş iken, en az enerji tüketimi 698 GCal ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir.



Şekil 3.12 Tesisin 2021 Üretim Değerleri

Şekil 3.12'ye bakıldığı zaman firmanın aylık ortalama üretimi yaklaşık 470.000 kg'dır. Üretimin en fazla olduğu ay Ekim ayı olmuş, en az tüketim ise Ocak ayında gerçekleşmiştir.



Şekil 3.13 Tesisin 2021 Yılı Aylık Spesifik Enerji Tüketimleri

Şekil 3.13'de firmanın Spesifik Enerji Tüketim değerleri görülmektedir. En yüksek SET değeri Ocak ayında görülürken, en düşük ise Mart, Nisan aylarında gözlenmiştir. Ortalama SET değeri 1,56 GCal olarak hesaplanmıştır.

Enerji ayak izi sonuçları değerlendirildiğinde tesisin yıllık toplam enerji tüketimi diğer sektörler baz alındığında gıda sektöründen yüksek enerji sektöründen düşük kaldığı

gözlenmiştir. Tekstil sektörünün özellikle makinalardan kaynaklı enerji tüketimlerin fazla olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 3.16 Literatürde Çalışılan Tekstil Sektörü İle Bu Tez Çalışmasında İncelenen Bobinde İplik Boyama Sektörünün Değerlendirilmesi

SEKTÖR	ALT SEKTÖR	REFERANS	KA	SA	EA
TEKSTİL	Kumaş Tesisi 1	(Yan ve ark., 2016)	13,81 kg CO ₂ e/ kg yünlü kumaş		
	Kumaş Tesisi 2	(Yan ve ark., 2016)	5,34 kg CO ₂ e/ kg pamuklu kumaş		
	Kumaş Tesisi 3	(Yan ve ark., 2016)	1,81 kg CO ₂ e/ kgkumaş		
	Kumaş Tesisi 4	(Keskin ve ark., 2017)	31,2 kg CO ₂ e/ kg kumaş		
	Kumaş Tesisi 4	(Keskin ve ark., 2017)	52,8 kg CO ₂ e/ kg yün ve polyester kumaş		
	Kumaş Tesisi 5	(Keskin ve ark., 2017)			43,06 kWh/ kg kumaş
	Kumaş Boyama	(Alper, 2015)		150 L /kg kumaş İyileştirmeden sonra: 40 L/ kg kumaş	
	Bobinde İplik Boyama	(Bu Tez Çalışması)	2,39 kg CO ₂ e/ kg iplik	219 L/kg iplik	1,82 kWh/kg iplik

Literatürde çalışılan tekstil sektörü ile bu tez çalışması kapsamında çalışılan tekstil sektörünün alt kategorisi olan bobinde iplik boyama tesisinin verileri karşılaştırılmış ve Çizelge 3.16’da gösterilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki bobinde iplik boyama tesisin karbon ayak izi diğer tekstil sektörü örneklerinin karbon ayak izinden oldukça düşük iken, bobinde iplik boyama faaliyeti yapan tesis daha fazla su ayak izine sahiptir. Bobinde iplik boyama faaliyeti yapan tesisin çalışma yapılan diğer tekstil örneklerine göre enerji ayak izinin oldukça düşük olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tekstil sanayisi Türkiye'nin ekonomisinde çok önemli bir noktada yer almaktadır. Tekstil sektörünün üretim yelpazesinin geniş ve proses adımlarının fazla olması bir çok çevresel kirliliği beraberinde getirmektedir. İlgili sektörde ciddi emisyonların olduğu dolayısıyla karbon ayak izinin yüksek olduğu, su tüketimin fazla olması nedeniyle su ayak izinin yüksek olduğu ve aynı zamanda proseslerin fazla olması ve kullanılan makinaların fazlalığı nedeniyle enerji ayak izinin yüksek olduğu görülmektedir. Türkiye'de tekstil sektörü önemli bir üretim hacmine sahip olmasına rağmen Karbon, Su ve Enerji Ayak İzi hesaplamalarının tümünü içeren bir akademik çalışma bulunmamaktadır. Akademik çalışmalar içerisinde en çok Karbon Ayak İzine rastlanırken özellikle Su ve Enerji kapsamında çalışmaların azlığı firmaların bu süreçleri kendi başlarını oluşturmaları hususunda teşvik edici olmamaktadır. Bu çalışma ile bobinde iplik boyama faaliyetini gerçekleştiren bir tesisin Karbon, Su ve Enerji ayak izleri hesaplanırken isteyen firmalara ve çalışanlarına hesaplama kısmında bu çalışmanın yardımcı olacağı öngörülmüştür.

Bu çalışmada bobinde iplik boyama üzerine faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinde karbon, su ve enerji ayak izi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Karbon Ayak İzi Tier-1 metoduna göre yapılan hesaplamalarda Kapsam-1 (Doğrudan Emisyon), Kapsam-2 (Enerji Dolaylı Emisyonlar) ve Kapsam-3 (Diğer Kaynaklı Emisyonlar) hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Su Ayak İzi, WFN yöntemiyle Mavi, Yeşil ve Gri Su Ayak İzi olarak hesaplanmıştır. Enerji Ayak İzi çalışmalarında ise tesisin enerji yönetim sistemi kapsamında spesifik enerji tüketimleri hesaplanmıştır.

Karbon Ayak İzi kapsamında hesaplanan Kapsam-1 verilerini kömür fosil yakıtı, Kapsam-2 hesabında elektrik kullanımından açığa çıkan emisyonlar ve Kapsam-3 hesabında ise atıklar, taşımacılık, su kullanımından ileri gelen emisyonlar tesis baz alınarak hesaplanmıştır. Bobinde iplik boyama ünitesinde açığa çıkan karbon ayak izinin %52'si Kapsam-1 emisyonlarından %37'si Kapsam-1 emisyonlarından, %11'i Kapsam-3 emisyonlarından açığa çıkmaktadır. İplik boyama ünitesinden atmosfere salınan karbon ayak izi miktarı 1 kg iplik için 2,39 CO₂e/ kg ipliklidir. Yapılan çalışma neticesinde bulunan CO₂e optik fiber ve kauçuk endüstrisinden 1,5 kat az, cam şişe ve ambalaj endüstrisinden 2 kat fazla, süt ürünleri ve otomotiv endüstrisinden 2 kat az, şeker ve meyve suyu endüstrisinden 3 kat fazla, tekstil endüstrisinden ise ortalama 5-6 kat az olarak ortaya çıkarılmıştır.

Su Ayak İzi kapsamında hesaplanan Mavi Su Ayak İzi tesiste kullanılan tatlı su miktarı, Yeşil Su Ayak İzi tesisin açık alanına düşen yağış miktarı ve Gri Su Ayak İzi ise tesisin atık su kirletici parametreleri baz alınarak hesaplanmıştır. Bobinde iplik boyama ünitesinde açığa çıkan su ayak izinin %68,34 Mavi Su Ayak izi, %31,52'si Gri Su Ayak İzi ve %0,138'i ise Yeşil Su Ayak İzi olarak açığa çıkmaktadır. İplik boyama ünitesinden miktarı 1 kg iplik için 219 litre su harcandığı hesaplanmıştır. Yapılan çalışma neticesinde bulunan su ayak izi tuğla, meyve suyu ve makarna endüstrisinden 10 kat fazla, inşaat endüstrisinden 10 kat az olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Enerji Ayak İzi kapsamında hesaplanan enerji verileri baz alındığında tesisin 2021 yılı aylık ortalama elektrik tüketiminin 718 GCal olduğu belirlenmiştir. SET değerleri ise en fazla 2021 yılında Ocak ayında en az ise Mart-Nisan aylarında görülmüştür. SET değerlerinin 1,5'in altına düşmediği gözlenmiştir. Yapılan çalışma neticesinde bulunan enerji ayak izi süt endüstrisinden 10 kat fazla, çevre sektöründen 9 kat az ve tekstil sektöründen yaklaşık 23 kat az olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Yapılan çalışmanın sonuçları incelendiğinde en yüksek karbon salınımlarının Kapsam-1 kısmından kaynaklandığı görülmektedir. Özellikle emisyon miktarını arttıran sebeplerin başında tesisin kömür kullanılması gelmektedir. Oldukça fazla kirlilik yaratan kömür yerine doğal gaz kullanımına geçilmesi ve alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinden yararlanılması ile Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonlarının oldukça azalacağı öngörülmektedir. Güneş enerji santralının ilk yatırım maliyetleri yüksek olduğu halde geniş vadede bakıldığında hem çevresel hem ekonomik olarak tesise yarar sağlayacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Tesis atık azaltımı ve tekrar kullanım yaklaşımının benimsenmesi, servis güzergahlarının en az mesafeyi kat edecek şekilde düzenlenmesi ile Kapsam 3 emisyonlarının azaltılmasını sağlayacaktır. Tesis içerisinde daha fazla yeşil alanlar oluşturularak daha fazla karbonun tutulması sağlanarak emisyon miktarı azaltılabilir. Bununla alakalı olarak çalışanların katılım sağlayacağı bir organizasyon planlanabilir. Tekstil üretiminde en az çevre kirliliğine yol açan yöntemlerin kullanılması ve gerekli makinelerin veya teknoloji alt yapısı için Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığının Resmi Gazete' de 14 Aralık 2011 günü ve 28142 sayılı 'Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği' baz alınarak Mevcut En İyi Teknolojiler (MET) tesis içerisine uyarlanmalıdır. Tekstil Sanayi için en Uygun Teknikler (BAT) Referans Dokümanını referans alıp proseste iyileşmeye gitmek çevresel etkileri önemli ölçüde azaltacaktır.

Su Ayak İzi çalışma sonuçları ise göstermektedir ki tesisin Boyama prosesinde özellikle su tüketimi konusunda önlemler alınmalı ve kullanılan su miktarları özellikle takip edilmelidir. Arıtma tesisinde çıkan atık su bahçe sulama vb. faaliyetlerde kullanılarak su tasarrufu sağlanmalıdır.

Enerji Ayak İzi çalışma sonuçları baz alındığında ise özellikle yeni teknolojik makinaların kullanımın enerji sarfiyatı sağlayacağı yadsınamaz bir gerçektir. Tesis özellikle enerji yönetim sistemi kurarak enerji yönetim ve denetimin bütünselliğini sağlamayı ve üretim maliyetlerini en düşük düzeye çekebilecek biçimde kullanmayı sağlamayı hedeflemelidir. Proses optimizasyonu, atık enerjiyi tekrar kullanma, verimi daha yüksek yakma, yalıtım, periyodik bakım ve onarım personel bilinçlendirilmesi vb. yöntemlerle ekonomik sınırını zorlamadan enerji verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

Hangi sektörde ne kadar karbon emisyonu, su ve enerji sarfiyatı olduğuna bakılmaksızın öncelikli hedef her alanda karbon salınımı, su tüketimini ve enerji sarfiyatlarını mümkün olduğunca azaltmaya yönelik olmalıdır. Tesislerin dijital yönetime yönelmesi ile çevreye verilecek zarar kısmında ciddi miktarda azalış olacağı öngörülmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte dijital yönetimler iş yükünü azaltacağı gibi aynı zamanda sürdürülebilir üretimin yapılması ile birlikte özellikle başta enerji olmak üzere karbon ve su ayak izi kısmında da azalmaların olacağı yadsınamaz bir gerçektir. Şirketlerin karbon emisyonu, su tüketimi ve enerji sarfiyatı azaltım programlarını oluşturması bu programların sürdürülebilir üretime ulaşma kapsamında ölçülebilen, kontrol edilebilen duruma getirilmesinin önemi büyüktür. Başta karbon olmak üzere sera gazlarının salınımının, su tüketimlerinin ve enerji sarfiyatlarının minimum düzeye indirilmesi hedeflenerek tüm dünyanın önemli bir sorunu olarak görülen iklim değişikliğinin etkilerinin bu yaklaşımlarla azaltılması konunun en can alıcı noktasını oluşturmaktadır. Bu nedenle endüstriyel üretimlerin sektörel yapıları dikkate alınarak bu kapsamda altyapılarının geliştirilmesine imkan veren çalışmaların proje bazlı teşvik edilip planlanarak yürütülmesi çok büyük önem taşımakta olup, karar verici mekanizmaların bununla ilgili yasal mevzuatı güncelleyerek güçlendirmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Adewale, C., Higgins, S., Granatstein, D., Stöckle, C. O., Carlson, B. R., Zaher, U. E., & Carpenter-Boggs, L. (2016). Identifying hotspots in the carbon footprint of a small scale organic vegetable farm. *Agricultural Systems*, 149, 112-121.
- Alper, F. (2015). *Sürdürülebilirlik Kavramı İçerisinde Su Ayak İzi: Tekstil Sektörü Örneği* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Al-Mansour, F., & Jejcic, V. (2017). A model calculation of the carbon footprint of agricultural products: The case of Slovenia. *Energy*, 136, 7-15.
- Alper, F. (2015). *Sürdürülebilirlik Kavramı İçerisinde Su Ayak İzi: Tekstil Sektörü Örneği* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Altan, A. D. (2017). *Çiğ süt üretim işletmesinde enerji yönetim sistemi altyapısının oluşturulması* (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Anonim (2004) Sanayide Enerji Yönetimi Esasları, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi Yayınları, Cilt 1-2-3-4, Ankara.
- Anonim (2014). Türkiye Ekonomisi Raporu. MÜSİAD. Erişim Adresi : http://www.musiad.org.tr/F/Root/burcu2014/Ara%C5%9Ft%C4%B1rmalar%20Yay%C4%B1n/Pdf/Ekonomi%20Raporu/Turkiye_Ekonomisi_Raporu_2014.pdf.
- Aslan, N., & Yamak, T. (2006). Türkiye'nin Enerji Sorununun Alternatif Enerji Kaynakları Açısından Değerlendirilmesi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 53-76.
- Ayuda, M. I., Esteban, E., Martín-Retortillo, M., & Pinilla, V. (2020). The blue water footprint of the Spanish wine industry: 1935–2015. *Water*, 12(7), 1872.
- Bai, X., Ren, X., Khanna, N. Z., Zhou, N., & Hu, M. (2018). Comprehensive water footprint assessment of the dairy industry chain based on ISO 14046: A case study in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 369-375.
- Bayraç, H.N. ve Emrah, D. (2016). Türkiye’de İklim değişikliğinin tarım sektörü üzerine etkileri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 11(1), 23- 48.
- Bekiroğlu, O. (2011). Sürdürülebilir kalkınmanın yeni kuralı: karbon ayak izi. II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi Bildirileri.
- BSI- British Standards Institution (2016). Environmental management- Water Footprint- Principles, requirements and guidelines (BS EN ISO 14046:2016).
- Cagiao, J., Gómez, B., Doménech, J. L., Mainar, S. G., & Lanza, H. G. (2011). Calculation of the corporate carbon footprint of the cement industry by the application of MC3 methodology. *Ecological Indicators*, 11(6), 1526-1540.
- Carbon Trust, 2007. "Carbon Footprint Measurement Methodology, Version 1.1". 27 February 2007, The Carbon Trust, London, UK. <http://www.carbontrust.co.uk>.
- Çınar, E. (2013). İneklerin ekolojik ayak izi raporu. *Animal Science Journal*, 210-218.

- Čuček, L., Klemeš, J. J., & Kravanja, Z. (2012). A review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 34, 9-20.
- Demircioğlu, E., & Ever, D. (2020). Karbon Maliyetlerinin Belirlenmesine İlişkin Demir Çelik İşletmesinde Uygulama. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(1), 649-662.
- Dormer, A., Finn, D. P., Ward, P., & Cullen, J. (2013). Carbon footprint analysis in plastics manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 51, 133-141.
- Duman, A., Gönülol, E., Ülger, P., & Demir, C. (2013). Determination of dairy cattle farm energy utilization index in Turkey. 5. In *International Conference "Energy Efficiency & Agricultural Engineering"*, Ruse Bulgaria.
- Dursun, N. (2019). Ardahan Üniversitesi Yenisey Kampüsü'nde görev yapan personel ve öğrenim gören öğrencilerin su ayak izinin belirlenmesi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 12(3), 1526-1536.
- Dulkadiroğlu, H. (2018). Türkiye'de elektrik üretiminin sera emisyonları açısından incelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 67-74
- Dwyer, L., Forsyth, P., Spurr, R., & Hoque, S. (2010). Estimating the carbon footprint of Australian tourism. *Journal of Sustainable tourism*, 18(3), 355-376.
- Edens, W. C., Pordesimo, L. O., Wilhelm, L. R., & Burns, R. T. (2003). Energy use analysis of major milking center components at a dairy experiment station. *Applied Engineering in agriculture*, 19(6), 711.
- Ene, S. A., Teodosiu, C., Robu, B., & Volf, I. (2013). Water footprint assessment in the winemaking industry: a case study for a Romanian medium size production plant. *Journal of Cleaner Production*, 43, 122-135.
- Engin, B. (2010). İklim Değişikliği İle Mücadelede Uluslararası İşbirliğinin Önemi. *Sosyal Bilimler Dergisi* 0(2), 71-82.
- Ercin, A. E., Aldaya, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). Corporate water footprint accounting and impact assessment: the case of the water footprint of a sugar-containing carbonated beverage. *Water Resources Management*, 25(2), 721-741.
- Flysjö, A., Thrane, M., & Hermansen, J. E. (2014). Method to assess the carbon footprint at product level in the dairy industry. *International Dairy Journal*, 34(1), 86-92.
- Francke, I. C. M., & Castro, J. F. W. (2013). Carbon and water footprint analysis of a soap bar produced in Brazil by Natura Cosmetics. *Water Resources and Industry*, 1, 37-48.
- Friedrich, E., Pillay, S., & Buckley, C. A. (2009). Environmental life cycle assessments for water treatment processes—A South African case study of an urban water cycle. *Water Sa*, 35(1).
- Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., & Giljum, S. (2012). Integrating ecological, carbon and water footprint into a "footprint family" of indicators: definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological indicators*, 16, 100-112.

- García, C. A., García-Treviño, E. S., Aguilar-Rivera, N., & Armendáriz, C. (2016). Carbon footprint of sugar production in Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2632-2641.
- Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y., & Bosman, R. (2018). The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass. *Water resources and industry*, 19, 1-12
- Gladwin, T. N., Kennelly, J. J., & Krause, T. S. (1995). Shifting paradigms for sustainable development: Implications for management theory and research. *Academy of management Review*, 20(4), 874-907.
- Gu, Y., Xu, J., Keller, A. A., Yuan, D., Li, Y., Zhang, B., ... & Li, F. (2015). Calculation of water footprint of the iron and steel industry: a case study in Eastern China. *Journal of Cleaner Production*, 92, 274-281.
- Gunathilaka, L. F. D. Z., & Gunawardana, K. D. (2015). Carbon footprint calculation from cradle to grave: A case study of rubber manufacturing process in Sri Lanka. *International Journal of Business and Social Science*, 6(10), 82-94.
- Güneş, N. Ç. (2020). Yaşam Döngüsü Analizi ile Konsantre Şeftali Püresinin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 18(3), 247-255.
- Hoekstra, A. Y. (2003) Virtual water: An Introduction. İçinde Arjen Y. H. (Editör), Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, (Rapor No: 12). Hollanda: IHE Delft.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Routledge.
- Hoekstra, A. Y., & Wiedmann, T. O. (2014). Humanity's unsustainable environmental footprint. *Science*, 344(6188), 1114-1117.
- Hoekstra, A. Y., & García-Calvo, E. (2015). Sustainability of the water footprint of the Spanish pork industry. *Ecological indicators*.
- Hoekstra, A. Y. (2015). The water footprint of industry. In *Assessing and measuring environmental impact and sustainability* (pp. 221-254). Butterworth-Heinemann.
- Hoekstra, A. Y. (2016). A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological indicators*, 66, 564-573.
- Hosseini, S. M., & Nezamoleslami, R. (2018). Water footprint and virtual water assessment in cement industry: A case study in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2454-2463.
- Huang, B., & Meng, L. (2013). Convergence of per capita carbon dioxide emissions in urban China: a spatio-temporal perspective. *Applied Geography*, 40, 21-29.
- IPCC, R. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Prepared by the national greenhouse gas inventories programme, 10-1.
- Inakollu, S., Morin, R., & Keefe, R. (2017). Carbon footprint estimation in fiber optics industry: a case study of OFS Fitel, LLC. *Sustainability*, 9(5), 865.

- Janet, R., Laurent, C., Pankaj, B., Simon, S., Peter, G., & Kjell, O. (2013). A Corporate Accounting and Reporting Standard. *The greenhouse Gas Protocol*, 5-35.
- Karaca, Ö. (2011). *İstanbulda mevcut bir büro yapısının enerji etkin yenilemesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karyeyen, S., Aksoy, M. H., Özgören, M., & Koçak, S. (2012). Konya Sanayisinde Enerji Verimliliği. *Bölgesel Araştırma Raporları Serisi*, 5.
- Kavak, K. (2005). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi Uzmanlık Tezi. *Yayın No: DPT*, 2689.
- Kılıç, İ., & Begüm, A. M. E. T. (2017). Bir süt sığırı işletmesinin karbon ayak izinin tahminlenmesi: Bursa örneği. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(Ek Sayı), 132-140.
- Klöpffer, W., & Grahl, B. (2014). *Life cycle assessment (LCA): a guide to best practice*. John Wiley & Sons.
- Kulkarni, N. G., & Rao, A. B. (2016). Carbon footprint of solid clay bricks fired in clamps of India. *Journal of cleaner production*, 135, 1396-1406.
- Kuşat, N. (2013). Yeşil Sürdürülebilirlik İçin Yeşil Ekonomi: Avantaj Ve Dezavantajları–Türkiye İncelemesi. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 8(29), 4896-4916.
- Küçükler, H. (2017). *Sürdürülebilir çevre açısından bir çevresel maliyet unsuru olan karbon maliyetlerinin incelenmesi: Çanakcılar Seramik Fabrikası örneği* (Master's thesis, Bartın Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Laurijssen, J., Faaij, A., & Worrell, E. (2012). Energy conversion strategies in the European paper industry–A case study in three countries. *Applied energy*, 98, 102-113.
- Leach, A. M., Galloway, J. N., Bleeker, A., Erisman, J. W., Kohn, R., & Kitzes, J. (2012). A nitrogen footprint model to help consumers understand their role in nitrogen losses to the environment. *Environmental Development*, 1(1), 40-66.
- Lee, K. H. (2011). Integrating carbon footprint into supply chain management: the case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry. *Journal of cleaner production*, 19(11), 1216-1223.
- Li, Y., Lu, L., Tan, Y., Wang, L., & Shen, M. (2017). Decoupling water consumption and environmental impact on textile industry by using water footprint method: A case study in China. *Water*, 9(2), 124.
- Li, Y. , & Wang, Y. (2019). Double decoupling effectiveness of water consumption and wastewater discharge in China’s textile industry based on water footprint theory. *PeerJ*, 7, e6937.

- Lütfi, A. K. Ç. A., Kınacı, C., Karpuzcu, M. E., Ceyhan, M., Aktaş, M., Görgün, E., ... & Öztürk, İ. Türkiye'nin En Kapsamlı Çevresel Restorasyon ve Endüstriyel Kümelenme Uygulaması: Ergene Nehri Havzası Çevre Koruma ve Havzalar Arası Atık Su Transferi Projesi. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 1(1), 27-40.
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 2: Appendices.
- Messagie, M., Mertens, J., Oliveira, L., Rangaraju, S., Sanfelix, J., Coosemans, T., ... & Macharis, C. (2014). The hourly life cycle carbon footprint of electricity generation in Belgium, bringing a temporal resolution in life cycle assessment. *Applied Energy*, 134, 469-476.
- Myhre, G., Shindell, D., breon, F.M, Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., Koch, D., GWP values for 100-year time horizon, IPCC Fifth Assessment Report (AR5), 73-79, 2014.
- Mızık, E. T., & Yiğit Avdan, Z. (2020). Sürdürülebilirliğin temel taşı: Ekolojik ayak izi.
- Mujica, M., Blanco, G., & Santalla, E. (2016). Carbon footprint of honey produced in Argentina. *Journal of Cleaner Production*, 116, 50-60
- Muratoğlu, A. (2019). Üretimin su ayak izinin incelenmesi: Diyarbakır ili için bir vaka çalışması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 845-858.
- Mutlu, V., Özgür, C., & Bekaroğlu, Ş. Ş. K. (2018). Kauçuk endüstrisinde karbon ayak izinin belirlenmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 139-146.
- Mutlutürk, M. (2018). Doğaltaş Üretimi ve Su İlişkisi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 57, 135-142.
- Keskin, S. S., Erdil, M., & Sennaroğlu, B. Bir Tekstil Fabrikasının Kumaş Üretiminde Enerji ve Karbon Ayak İzlerinin Belirlenmesi.
- Özlem, B. (2013). *Seçilen bir kağıt fabrikasında karbon ayak izi belirlenmesi* (Doctoral dissertation, İstanbul Teknik Üniversitesi).
- Öztürk, H. H. (2011). Bitkisel Üretimde Enerji Yönetimi. Hasad Yayıncılık. of Tehran province, Iran. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1, 158-166.
- Patel, J. (2006). Green sky thinking. *Environment Business*, 122, 32.
- Pfister, S., Boulay, A. M., Berger, M., Hadjikakou, M., Motoshita, M., Hess, T., ... & Henderson, A. (2017). Understanding the LCA and ISO water footprint: A response to Hoekstra (2016)“A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA”. *Ecological indicators*, 72, 352-359.
- Point of Wiew, Kyushu International Center, Japonya, s.26
- Puig, R., Kiliç, E., Navarro, A., Albertí, J., Chacón, L., & Fullana-i-Palmer, P. (2017). Inventory analysis and carbon footprint of coastland-hotel services: A Spanish case study. *Science of the total environment*, 595, 244-254.

- Rees, W., & Wackernagel, M. (2008). Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable—and why they are a key to sustainability. In *Urban ecology* (pp. 537-555). Springer, Boston, MA.
- Ruini, L., Marino, M., Pignatelli, S., Laio, F., & Ridolfi, L. (2013). Water footprint of a large-sized food company: The case of Barilla pasta production. *Water Resources and Industry*, 1, 7-24.
- Ridoutt, B., Sanguansri, P., Bonney, L., Crimp, S., Lewis, G., & Lim-Camacho, L. (2016). Climate change adaptation strategy in the food industry—Insights from product carbon and water footprints. *Climate*, 4(2), 26.
- Romeni, G., Appio, F. P., Martini, A., Mercat, B., Jean-Marie, A., & Joubert, C. (2019). Enhancing Ecoinnovation Performance: Evidence From a Water Footprint Assessment in the Manufacturing Industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67(3), 724-739.
- Saghafi, S., Mehrdadi, N., Hendy, G. N. B., & Rad, H. A. (2015). Energy efficiency in wastewater treatment plant emphasizing on COD removal: A case study of Amol Industrial Zone, Iran. *Canadian Journal of Pure and Applied Sciences*, 9(2), 3441-3448.
- Singh, S., & Gupta, P. (2014). Comparative study ID3, cart and C4. 5 decision tree algorithm: a survey. *International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST)*, 27(27), 97-103.
- Shinkawa, N. (1998) An Outlook for Management in Energy Conservation Activity
- Skouteris, G., Ouki, S., Foo, D., Saroj, D., Altini, M., Melidis, P., ... & O'Dell, S. (2018). Water footprint and water pinch analysis techniques for sustainable water management in the brick-manufacturing industry. *Journal of cleaner production*, 172, 786-794.
- SKKY, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. (2004). T. C. Resmî Gazete, 25687, 31 Aralık 2004.
- Sreng, R. (2016). Otomotiv endüstrisinde karbon ayakizi.
- Su, Y., Chen, X., Li, Y., Liao, J., Ye, Y., Zhang, H., ... & Kuang, Y. (2014). China' s 19-year city-level carbon emissions of energy consumptions, driving forces and regionalized mitigation guidelines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 231-243.
- Strohbach, M. W., Arnold, E., & Haase, D. (2012). The carbon footprint of urban green space—A life cycle approach. *Landscape and Urban Planning*, 104(2), 220-229.
- Tanaka, K. (2011). Review of policies and measures for energy efficiency in industry sector. *Energy policy*, 39(10), 6532-6550.
- Teke, B., & Kahya, C. (2021). İnek sütü üretiminin su ayak izi. *Su Vakfı Bülteni*, 2.
- Tıraş, H. H. (2012). Sürdürülebilir kalkınma ve çevre: Teorik bir inceleme. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 57-73.

- Türkiye'nin Su ayak izi raporu, (2014). WWF-Türkiye. (Sf- 6, 7, 11, 12, 16, 32, 33, 52, 54, 55)
- Toröz, A. S. (2015). *Gemi kaynaklı atıkları alan bir atık kabul tesisinde karbon ayak izinin belirlenmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Türkmen, B. A. Cam Ambalaj Üretiminin Çevresel Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 1026-1037.
- Ulutürk, G. (2010). *Üretim işletmelerinde enerji kullanımının incelenmesi: Denizli'de dört işletme örneği* (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Vivadinar, Y., Purwanto, W. W., & Saputra, A. H. (2016). Tracing the energy footprints of Indonesian manufacturing industry. *Energy Science & Engineering*, 4(6), 394-405.
- Wang, L., Ding, X., & Wu, X. (2013). Blue and grey water footprint of textile industry in China. *Water science and technology*, 68(11), 2485-2491.
- Wang, L., Li, Y., & He, W. (2017). The energy footprint of China's textile industry: Perspectives from decoupling and decomposition analysis. *Energies*, 10(10), 1461.
- Wang, X., Chen, X., Cheng, Y., Zhou, L., Li, Y., & Yang, Y. (2020). Factorial Decomposition of the Energy Footprint of the Shaoxing Textile Industry. *Energies*, 13(7), 1683.
- Water Footprint Assessment: An Evolving Research Field. (2017). Erişim: 15 Aralık 2018, <https://www.youtube.com/watch?v=Xu9rCVkFwMI>
- Yapıcıoğlu, P. (2019). Seasonal water footprint assessment for a paint industry wastewater treatment plant. *Sakarya University Journal of Science*, 23(2), 175-183
- Yapıcıoğlu, P. S. (2019). Grey water footprint of a dairy industry wastewater treatment plant: a comparative study. *Water Practice and Technology*, 14(1), 137-144.
- Yarar, B. (2019). *Kağıt ve karton fabrikası atık su arıtma tesisinin enerji analizi* (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- ZDHC MMCF Interim Wastewater Guideline Version 1.0, April 2020 (<https://downloads.roadmapzero.com/output/mmcf-interim-wastewater-guidelines> , erişim tarihi:17.01.2023)
- Zhao, Q., Ding, S., Wen, Z., & Toppinen, A. (2019). Energy flows and carbon footprint in the forestry-pulp and paper industry. *Forests*, 10(9), 725.