

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENTEĞRE BİR TEKSTİL BASKI-BOYAMA İŞLETMESİNDE SU
VE KARBON AYAK İZLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ayşe DAL

**Danışman
Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ**

**II. Danışman
Doç. Dr. Emrah ÖZTÜRK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2020**



© 2020 [Ayşe DAL]

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ayşe DAL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Motivasyon ve Amaç	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Tekstil Sektörü	3
2.2. Temiz Üretim	4
2.3. Su Ayak İzi	5
2.3.1. Tekstil sektöründe su ayak izi uygulamaları	7
2.4. Karbon Ayak İzi	9
2.4.1. Tekstil sektöründe karbon ayak izi uygulamaları	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Mevcut Durum Analizi	17
3.2. Su Ayak İzi Hesaplamaları	19
3.3. Karbon Ayak İzi Hesaplamaları	20
3.4. MET Uygulaması Sonrası Su ve Karbon Ayak İzi Hesaplamaları	24
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	28
4.1. Tesisin Su Tüketimi ve Su Ayak İzi Analizi	28
4.2. Tesisin Karbon Ayak İzi Analizi	32
4.2.1. Tesisin doğal gaz tüketimi ve doğal gaz kaynaklı karbon ayak izi analizi	33
4.2.2. Tesisin elektrik tüketimi ve elektrik kaynaklı karbon ayak izi analizi	36
4.2.3. Tesisin buhar tüketimi ve buhar kaynaklı karbon ayak izi analizi	40
4.2.4. Tesisin toplam karbon ayak izi	43
4.3. Belirlenen Nihai MET'lerin Uygulanmasından Sonra Su ve Karbon Ayak İzlerindeki Değişimler	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	64

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENTEĞRE BİR TEKSTİL BASKI-BOYAMA İŞLETMESİNDE SU VE KARBON AYAK İZLERİNİN BELİRLLENMESİ

Ayşe DAL

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ

II. Danışman: Doç. Dr. Emrah ÖZTÜRK

Tekstil endüstrisi su ve enerji kullanımının yüksek olduğu endüstrilerden biridir. Dolayısıyla endüstrinin çevre üzerinde oluşturduğu etkilerin başında atıksular ve hava emisyonları gelmektedir. Çevre ve doğal kaynaklar üzerindeki bu etkilerin entegre yaklaşımlarla önlenmesinde ya da kontrol edilmesinde su ve karbon ayak izlerinin de bilinmesi gereklidir. Su ve karbon ayak izi değerlendirmeleri özellikle performans değerlendirmeleri, kaynak kullanımları ve çevresel emisyonların azaltımı için stratejiler geliştirilmesi açısından önemli araçlardan birini oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında, dokuma-örme kumaş boyama ve terbiyesi yapan entegre bir tekstil tesisinde üretim prosesleri bazında (terbiye, boyama/baskı, apre gibi) mevcut su ve karbon ayak izi değerleri hesaplanmıştır. Su ayak izi hesaplamalarında zincir toplamı yaklaşımı kullanılmıştır. Karbon ayak izi hesaplamalarında ise Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporuna göre Tier 1 (birincil kaynaklar için) ve Tier 2 (ikincil kaynaklar için) yöntemleri kullanılmıştır. Buna göre tesisin (2015-2107 yılları) toplam su ayak izi değeri ortalama 118 m³/ton ürün ve toplam karbon ayak izi değeri ortalama 7,011 kg CO₂e/kg ürün bulunmuştur. Ayrıca tesisin mevcut su ve karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik 21 adet mevcut en iyi teknik (MET) önerilmiştir. Bu MET'lerin uygulanmasından sonra tesisin mevcut su ve karbon ayak izlerinde sağlanacak tahmini azalmalar hesaplanmıştır. Tesiste mevcut su ve karbon ayak izlerindeki toplam azalmaların hesaplanması oluşturulan üç senaryoya göre yapılmıştır. Senaryo 1 genel önlemler niteliğindeki MET'ler ve bunların yanı sıra atıksuların arıtılmadan geri kullanımına yönelik MET'leri kapsamaktadır. Senaryo 2 genel önlemler niteliğindeki MET'ler ve proses atıksularının arıtıldıktan sonra geri kullanımına yönelik MET'leri kapsamaktadır. Senaryo 3 genel önlemler niteliğindeki MET'ler ve boru-sonu kompozit atıksuların arıtıldıktan sonra proses suyu olarak geri kullanımını kapsayan MET'leri kapsamaktadır. Bu senaryolarda, karbon ayak izindeki azalmalar yalnızca genel önlemler niteliğindeki MET'ler için hesaplanmıştır. Sonuç olarak genel önemli nitelikteki MET'lerin uygulanması ile karbon ayak izinde ortalama 1,177 kg CO₂e/kg ürün azalma sağlanabileceği bulunmuştur. Sonuç olarak Senaryo 1'in uygulanması durumunda tesisin mevcut su ayak izinde ortalama 23 m³/ton ürün azalma sağlanabileceği bulunmuştur. Senaryo 2 ve 3'ün uygulanmasının ardından, fabrikanın mevcut su ayak izi ortalama olarak sırasıyla 55 ve 66 m³ / ton ürün azalma sağlanabileceği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Karbon Ayak İzi, Mevcut En İyi Teknikler (MET), Su Ayak İzi, Tekstil, Temiz Üretim.

2020, 64 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF WATER AND CARBON FOOTPRINTS IN AN INTEGRATED DYEING-PRINTING TEXTILE MILL

Ayşe DAL

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Emrah ÖZTÜRK

Textile industry is one of the industries with high water and energy consumption. Therefore, wastewater and air emissions are the main impacts of the industry on the environment. Water and carbon footprints should also be known with integrated approaches in preventing or controlling these effects on the environment and natural resources. Water and carbon footprint assessments are one of the important tools to develop new strategies, make self performance evaluations, reduce resource utilization and environmental emission. In this thesis study, existing water and carbon footprint values were calculated on the basis of production processes (such as pretreatment, dyeing/printing and finishing) in an integrated textile mill producing woven-knit fabric. Chain summation approach was used in water footprint calculations. Carbon footprint values were calculated according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report, Tier 1 (for primary sources) and Tier 2 (for secondary sources) methods. Accordingly, average water footprint and total carbon footprint values of the textile mill (2015-2017) were found as 118 m³/ton product and 7,011 kg CO₂e/kg product, respectively. In addition, 21 best available techniques (BATs) were proposed to reduce the textile mill's existing water and carbon footprint. After the implementation of these BATs, the estimated reductions to be achieved in the existing water and carbon footprints of the textile mill were calculated. Total reductions in existing water and carbon footprints of the textile mill were calculated based on three scenarios. Scenario 1 included BATs about general measures and the reuse of separate wastewater streams without treatment. Scenario 2 covered BATs about general measures and the reuse of separate wastewater streams after treatment. Scenario 3 covered BATs about general measures and the reuse of end-of-pipe composite wastewater as process water after treatment. In these scenarios, the reductions in the carbon footprint were calculated only for BATs on general measures. Reductions in the carbon footprint could not be calculated for BATs on wastewater reuse since the technologies and dimensions to be applied for the implementation of these wastewater treatment-related BATs may vary for each industrial facility and the selection of treatment technology is facility-specific. As a result, it has been found that an average reduction of 1,177 kg CO₂e/kg product can be achieved in the existing carbon footprint with the application of general measure BATs. After the implementation of Scenario 1, it was calculated that existing water footprint of the mill could be reduced 23 m³/ton

product on average. After the implementation of Scenario 2 and 3, existing water footprint of the mill could be reduced 55 and 66 m³/ton product on average, respectively.

Keywords: Best Available Techniques (BAT), Carbon Footprint, Cleaner Production, Textile, Water Footprint.

2020, 64 pages



TEŞEKKÜR

Bu konuda bana çalışma imkânı sağlayan, yol gösteren, değerli fikir ve görüşlerini paylaştan, tezimin en iyi şekilde yürütülmesindeki katkılarından dolayı değerli tez danışmanı hocalarım Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ ve Doç. Dr. Emrah ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansım boyunca değerli fikir ve görüşlerinden yararlandığım ve manevi desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT'e teşekkür ederim.

Tez çalışmasının yürütülmesinde hiçbir yardımı esirgemeyen ve tesislerinde her türlü imkânı sunan Tekstil Yüksek Mühendisi Murat YILDIRIM ve Kimya Yüksek Mühendisi Özge BAYRAKTAR, Yüksek Kimyager Gizem ÖZBEK ÇAM nezdinde Zorluteks Tekstil Tic. ve San A.Ş. ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımı gerçekleştirmemde yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarım ve laboratuvar arkadaşlarım Yunus Emre DEMİREL, Elif ŞİMŞEK, Mert MİNAZ, Saadet ACAR, Meltem BALKAN, Betül AYKUT, Kamil ŞENEL ve Büşra ÖZGE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansım boyunca manevi desteklerini gördüğüm sevgili arkadaşlarım Menekşe KÖSE, Neslişah ÜNAL, Feyza ÜLGEN, Raziye SARI, Bilge KAŞIKARA, Nur KILINÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi yüksek lisansım boyunca gösterdikleri, ilgi, anlayış, sabır ve sağladıkları maddi ve manevi desteklerden dolayı sevgili ailem'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında kullanılan veriler, Zorluteks Tekstil Tic. ve San. A.Ş tarafından yürütülen ve TÜBİTAK tarafından desteklenen 3170583 numaralı TÜBİTAK TEYDEB projesinden temin edilmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayşe DAL
ISPARTA, 2020

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Ülkelerin 2018 yılında karbon ayak izi değerleri	10
Şekil 2.2. 1990-2018 yılları arası toplam ve kişi başı sera gazı emisyonları	11
Şekil 3.1. Tesisin genel üretim akım şeması	18
Şekil 3.2. Zincir toplam yaklaşımı	20
Şekil 3.3. Tier yöntemine karar verme aşaması	21



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Doğal gaz için varsayılan karbon içeriği ve oksidasyon faktörü değerleri	22
Çizelge 4.1. Tesisin ortalama su ayak izi değerleri.....	30
Çizelge 4.2. Tesisin doğal gaz tüketimi için karbon ayak izi değerleri	35
Çizelge 4.3. Tesisin elektrik tüketimi için karbon ayak izi değerleri.....	39
Çizelge 4.4. Tesisin buhar tüketiminin karbon ayak izi değerleri.....	42
Çizelge 4.5. Prosesler bazında toplam karbon ayak izi değerleri	44
Çizelge 4.6. Tesiste MET uygulamaları sonrası tahmin edilen tasarruflar, su ayak izi ve karbon ayak izi değerleri	47
Çizelge 4.7. Senaryolara göre su ve karbon ayak izlerindeki azalmalar.....	55



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
AB	Avrupa Birliği
AD	Faaliyet verisi
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
CO _{2e}	Karbondioksit eşdeğeri
ÇÖKVM	Çok Ölçütlü Karar Verme Metotları Değişikliği Paneli)
EF	Emisyon faktörü
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
HFC _s	Hidroflorokarbonlar
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim
kg	Kilogram
kWh	Kilovatsaat
L	Litre
MET	Mevcut En İyi Teknikler
MJ	Megajoule
Mm ³	Milyon metreküp
MtCO ₂	Milyon ton karbondioksit
N ₂ O	Nitrözoksit
NO _x	Azotoksitler
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
PFC _s	Perflorokarbonlar
QC	Kalite kontrolü
SF ₆	Kükürt heksaflorür
Sm ³	Standart metreküp
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
YDA	Yaşam Döngüsü Analizi

1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon ve Amaç

Tekstil endüstrisi ülkelerin gelişme sürecinde lokomotif görevi üstlenen sektörlerdendir (Afşar, 2007; Eraslan vd., 2008). Bu nedenle günümüzde 150'den fazla ülke tekstil tedarikçisi konumunda yer almaktadır (Eraslan vd., 2008). Tekstil endüstrisinin sağladığı ekonomik kazanımlara rağmen tekstil sektörü yoğun kaynak kullanımına ve alıcı ortamlar üzerinde risk oluşturma potansiyeline sahiptir. Tekstil endüstrisi prosesleri ikiye ayrılmaktadır. Bu prosesler kuru ve yaş olarak adlandırılmaktadır (Türker, 2013). Yaş proseslerde başta su olmak üzere, enerji, yardımcı kimyasallar/boyarmaddeler yoğun olarak kullanılmaktadır (Öztürk, 2014). Kuru proseslerde ise yaş proseslere göre daha fazla enerji ihtiyacı olmaktadır (Schönberger ve Schafer, 2003; Öztürk, 2014). Ayrıca temel üretim proseslerinin yanı sıra su yumuşatma, havalandırma-nemlendirme, basınçlı hava, aydınlatma, buhar kazanları vb. çok sayıda yardımcı proses de bulunmaktadır. Bu yardımcı proseslerde de kaynak kullanımları (su, enerji, kimyasal vb.) yoğun olmaktadır. Türkiye'de tekstil sektöründe spesifik su tüketimi tipik olarak 20-350 L/kg ürün aralığında değişmektedir (Öztürk vd., 2009; Öztürk, 2014). Türkiye'de tekstil üretim proseslerinde elektrik enerji tüketimi 2,1-5,6 kWh/kg ürün aralığındadır (Kumar vd., 1999; Visvanathan vd., 2000; EIE, 2006; UNIDO, 2010; Palamutcu, 2011; Öztürk, 2014). Tekstil sektöründe üretim proseslerinde spesifik buhar tüketimi ise 4-9 kg buhar/kg ürün aralığında değişmektedir (Öztürk, 2014). Bu kaynak kullanımları temiz üretim uygulamalarıyla azaltılabilmektedir.

İmalat sektöründe kaynak kullanımının azaltılması ve çevresel etkilerin önlenmesi için kullanılan yaklaşımlardan biri temiz üretim yaklaşımıdır. Su ayak izi ve karbon ayak izi yaklaşımları temiz üretimin temel araç ve teknikleri arasında yer almaktadır. Su ayak izi, tedarik zincirleri boyunca su tüketimini ve kirliliği analiz etmek, su kullanımının sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve su kullanımının en iyi şekilde azaltılmasını araştırmak için yenilikçi bir kavramdır (Hoekstra, 2015). Bir ürünün su ayak izi, ürünün tüm üretim süreçlerinde kullanılan tatlı su hacmini ifade etmektedir (Turan, 2017). Su ayak izi mavi, yeşil, gri olmak üzere üç ögeye ayrılmaktadır (Hoekstra, 2015). Mavi su ayak izi, ürünün üretilmesi için gerekli yüzey ve yeraltı tatlı

su kaynaklarının toplam hacmini temsil etmektedir. Yeşil su ayak izi, bir ürünün üretiminde kullanılan toplam yağmur suyunu ifade etmektedir (Pegram vd., 2014). Gri su ayak izi ise kirletici yükünü seyreltmek için ihtiyaç duyulan tatlı su miktarını ifade etmektedir (Hoekstra vd., 2011). Karbon ayak izi, insan etkinliklerinden kaynaklanan sera gazları emisyonlarının karbondioksit cinsinden ölçülmesidir (Bıyık, 2018). Karbon ayak izi terimi doğrudan sera gazı salınımına sebep olan birincil karbon ayak izi ve dolaylı yollardan sera gazı salınımına sebep olan ikincil karbon ayak izi olarak incelenmektedir (Üçüncü, 2016; Demirbaş, 2018). Birincil karbon ayak izi, ısınma ve ulaşım amaçlı tüketilen fosil yakıtlar da dâhil olmak üzere, yakıtların yanmasından dolayı ortaya çıkan doğrudan karbondioksit emisyonlarını ifade etmektedir (Bıyık, 2018). İkincil karbon ayak izi, insanların yaşamları boyunca ihtiyaç duyduğu maddelerin üretilmesinden başlayarak, bu ürünlerin bozularak doğadan yok olma sürecine kadar geçen sürede atmosfere salınan dolaylı karbondioksit emisyonlarının miktarıdır (Yaka vd., 2015). Endüstrinin üretim proseslerinden kaynaklı oluşan su ve karbon ayak izlerinin incelenmesi kaynak kullanımlarının azaltılmasına yardımcı olacak yöntemlerden birisidir. Kaynak kullanımlarının azalması ile küresel iklim değişikliği, su kıtlığı gibi çevresel etkiler de azalacaktır.

Bu tez çalışması ağırlıklı olarak dokuma-örgü kumaş terbiyesi, baskı-boyama yapan entegre bir tekstil tesisinde yürütülmüştür. Tesiste iki durum için su ve karbon ayak izleri hesaplanmıştır/tahmin edilmiştir. Bu iki durum şöyledir; i) mevcut durum, ii) tezde önerilen mevcut en iyi teknikler'in (MET) gelecekte tesisin uygulamasından sonraki durumdur. Dolayısıyla, tesiste belirlenen MET'lerin uygulanmasından sonra su ve karbon ayak izlerindeki olası değişimler incelenmiştir. Bu tez çalışması, global literatürde MET uygulamaları öncesi ve sonrası prosesler bazında su ve karbon ayak izlerinin incelendiği ender çalışmalardan bir tanesidir. Bu tez çalışması su ve karbon ayak izlerinin belirlenmesinde kullanılan farklı yöntemler, elde edilen bulgular açısından bu konuda çalışan araştırmacılara ve sektöre önemli katkılar sağlayacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Tekstil Sektörü

Tekstil sektörü istihdamdaki payının büyüklüğü ile ekonomik kalkınmada kilit rol oynayan bir sanayidir (Şahin, 2015). Tekstil ve hazır giyim üretiminde ve ihracatında Çin ilk sırada yer almaktadır (Şahin, 2015). Çin'i tekstil ve hazır giyim sektörü ihracatında takip eden ülkeler sırasıyla Avrupa Birliği (AB), Hindistan ve Türkiye'dir (Şahin, 2015). Türkiye'de Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın 2010 yılı kayıtlarına göre tekstil, hazır giyim ve deri sanayinde faaliyet gösteren 43.035 iş yeri bulunmaktadır (MOIT, 2010; Alkaya ve Demirer, 2015). Türkiye'de tekstil sektörünün üretim, ihracat ve iş imkânları açısından bakıldığında önemli bir konumda olduğu görülmektedir.

Tekstil sektöründe çok çeşitli özelliklerde lifler kullanılmaktadır. Ancak genel olarak tekstil liflerini doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür (MEGEP, 2011; ÇŞB, 2012; Öztürk, 2014). Tekstil sektöründe kullanılan yün, ipek, pamuk, keten ve jüt gibi hammaddeler doğal lif olarak sayılmaktadır. Viskoz, poliamid, polyester gibi hammaddeler ise sentetik lif olarak sayılmaktadır. Tekstil sektörünün prosesleri kuru ve yaş prosesler olarak sınıflandırılmaktadır (Öztürk, 2014). Yaş prosesler ön terbiye, baskı-boyama, bitim işlemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Kuru prosesler sentetik lif üretimi, dokuma, örme, eğirme, kurutma işlemleri, fikse gibi proseslerdir (Öztürk, 2014). Tekstil endüstrisinin genel üretim prosesleri haşılama, haşıl sökme, ağartma, merserizasyon, boyama ve apre işleminden oluşmaktadır (Bulut, 2011). Haşılama işlemi diğer işlemlerde liflerin zarar görmesini engellemek için yapılmaktadır (Bahadır, 2012). Haşılama işleminden dolayı kumaşın üzerinde kalan maddelerin giderilmesi haşıl sökme proseslerinde gerçekleştirilmektedir (Türker, 2013). Ağartma işlemi pastel renge boyama veya baskı işleminin düzgün olabilmesi için kimyasallar kullanılarak malzemenin ağartılmasıdır (Akkaya, 2011). Kumaşın koyu renklere boyanması gerekiyorsa, ağartmaya gereksinim duyulmadan doğrudan boyanabilmektedir (Bulut, 2011). Merserizasyon işlemi ile malzemeye kopma mukavemeti, boyut stabilitesi, parlaklık ve boyarmadde alımında artış özellikleri kazandırılmaktadır (IPPC BREF, 2003). Boyama malzemeye istenilen boyarmaddenin uygulandığı işlemdir. Apre işleminde ürüne pürüzsüzlük, parlaklık, sağlamlık

kazandırılmaktadır (Bahadır, 2012). Ayrıca apreleme işlemi ile üründe görünüm efekti, yumuşaklık, su geçirmezlik, güve yemelik, buruşmazlık, güç tutuşurluk özellikleri elde edilmektedir (Öztürk, 2014).

Tekstil sektöründe üretim prosesleri girdilerinden birini su oluşturmaktadır. Tekstil sektöründe spesifik su tüketimi 3-932 L/kg ürün gibi geniş bir aralıkta değişmektedir (USEPA, 1979; Smith ve Rucker, 1987; INERIS, 2001; Tubtimhin, 2002; CBMWD, 2003; EIE, 2006; TSKR, 2012; Öztürk, 2014). Bunun nedeni tekstil sektörünün karmaşık üretim yapısı ve çok sayıda alt sektörden oluşmasından kaynaklanmaktadır. Genellikle örgü kumaş terbiyesi ve boyaması yapan tesislerde spesifik su tüketimi 71-142 L/kg ürün arasında değişmektedir (IPPC BREF, 2003). Türkiye özelinde ise tekstil tesislerinde spesifik su tüketimleri 20-350 L/kg ürün arasında değişmektedir (Öztürk, 2014). Tekstil üretiminde diğer önemli proses girdilerinden birini de enerji oluşturmaktadır. Tekstil sektöründe elektrik ve ısı enerji tüketimleri sırasıyla 0,1-7,3 kWh/kg ürün ve 11-125 MJ/kg ürün'dür (Öztürk, 2014). Örne kumaş üretim proseslerinde elektrik tüketimi 1-9,5 kWh/kg ürün arasında değişmektedir. Dokuma kumaşın üretim proseslerinde elektrik tüketimi ise 0,5-2,3 kWh/kg ürün arasında değişmektedir (IPPC BREF, 2003). Enerji tüketimi ve yakıt türüne bağlı olarak atmosfere salınan emisyon miktarları değişmektedir. Ayrıca tesis boyutu (entegre olup olmaması), kullanılan lif türleri, kullanılan teknik ve teknolojilerde kaynak tüketimi miktarını etkilemektedir. Ürün üretiminde kaynak kullanımı sonucu atıksu, emisyon ve kirlilik oluşmaktadır. Bu oluşumlar iklim değişikliğine, kaynakların kirlenmesine ve azalmasına neden olmaktadır. Kirlilik miktarlarının artması çevresel tahribatın artmasına neden olmaktadır.

2.2. Temiz Üretim

Doğal kaynakların hızla kirlenmesi ve tükenmesini engellemek ve sürdürülebilir bir üretim anlayışını gerçekleştirmek üzere çeşitli çevre koruma yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu temel yaklaşımlardan iki tanesi öne çıkmaktadır. Bunlar kirlilik kontrolü ve kirlilik önleme (temiz üretim) yaklaşımları olmaktadır (Öztürk, 2014). Kirlilik kontrolü veya boru-sonu yaklaşımı; kirlilik ortaya çıktıktan sonra çeşitli çevre teknolojileri kullanılarak arıtılması, bertaraf edilmesidir (Çavuşoğlu, 2015). Kirlilik kontrolü yaklaşımı, kirliliği daha iyi tanımlamak, arıtma ve bertarafına odaklanmaktadır

(Öztürk, 2014). Kirlilik kontrolünde kirlilik sorunu oluştuktan sonra problem çözülmeye çalışılmaktadır. Bu şekilde yapılması özellikle küçük ölçekli işletmeleri ekonomik açıdan oldukça önemli düzeyde zorlamakta ve işletme zorluğu getirebilmektedir (Öztürk, 2014). Temiz üretim yaklaşımı; atıkları/emisyonları kaynak kullanımı ve üretim proseslerindeki yetersizlik, verimsizlik ve etkisizliğin bir sonucu olarak kabul etmekte ve sorunun çözümünde koruyucu, bütünsel, sürekli bir stratejinin uygulanması ile çevre ve doğal kaynakların bir bütün olarak korunmasını ilke edinmektedir (Yetiş vd., 2015). Temiz üretim uygulamaları; daha kaliteli ürün ve hizmet, firmalar için daha iyi bir imaj, daha düşük atık arıtma ve bertaraf maliyeti, daha gelişmiş işçi sağlığı ve iş güvenliği sistemi, hammadde, enerji ve su kullanımlarının azalması faydalarını sağlamaktadır (Yetiş vd., 2015).

Temiz üretim uygulamaları üretim süreçleri, ürünler ve hizmetler için ayrı ayrı tanımlanmaktadır. Üretim süreçlerindeki temiz üretim uygulamaları hammadde, su ve enerjinin etkin kullanımı, toksik ve tehlikeli hammaddelerin kullanılmaması, üretim prosesleri boyunca her türlü atık/artıkların gerek miktar gerek toksik içerik bakımından azaltılması esasına dayanmaktadır (Cılız vd., 2011). Ürünler için temiz üretim uygulaması olarak hammaddenin temininden ürünün bertarafına kadar tüm süreçler içinde (yaşam döngüsü boyunca) ortaya çıkan olumsuz etkiler incelenmeli ve azaltılmaya çalışılmalıdır (Cılız vd., 2011). Temiz üretim çalışması yöntemleri ürünün oluşturacağı potansiyel çevresel etkilerin dikkate alınmasıdır (Cılız vd., 2011). Temiz üretim etüt/analiz çalışmalarının yapılabilmesi için araç ve teknikler bulunmaktadır. Bunlar arasında su ve karbon ayak izi kavramları da yer almaktadır. Aşağıdaki alt başlıklarda su ayak izi ve karbon ayak izi kavramları incelenmiştir.

2.3. Su Ayak İzi

Su ayak izi kavramı ilk kez 2002 yılında Hoekstra ve Hung'ın çalışmalarında yer almıştır. Su ayak izi kavramı Twente Üniversitesi ile Su Ayak İzi Ağı tarafından geliştirilmiştir (Gerbens-Leenes ve Hoekstra, 2009). Su ayak izi; bir ürünün üretiminde kullanılan su miktarını veya bireyin kullandığı su miktarını ifade eden bir kavramdır (WFN, 2019). Bir bireyin, toplumun veya iş kolunun su ayak izi; bireyin veya toplumun tükettiği malların ve hizmetlerin üretimi için kullanılan veya üreticinin mal ve hizmet için kullandığı toplam temiz su kaynaklarının miktarıdır (Pegram vd.,

2014). Su ayak izi mavi, yeşil ve gri su ayak izleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Mavi su ayak izi bir ürünün üretiminde kullanılan yeraltı veya yüzey tatlı sularının miktarını belirtmektedir. Yeşil su ayak izi yağmur suyu kullanımını ifade etmektedir. Başka bir ifadeyle yağmur suyunun bir ürünün üretiminde kullanılmasıdır. Bahsedilen yeşil su ayak izinde su kaybolmaz ya da yeraltı sularına karışmamış yağmur suyudur (Pegram vd., 2014). Gri su ayak izi ise kirlletici yükünü seyreltmek için ihtiyaç duyulan tatlı su miktarını ifade etmektedir (Hoekstra vd., 2011).

Ulusal/uluslararası kuruluşlar ve akademik çalışmalar ülkelerin hesaplanan su ayak izlerini rapor etmektedirler. Çin'in ulusal üretim su ayak izi 1.207.392 Mm³/yıl olarak tespit edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nin (A.B.D.) ulusal üretim su ayak izi 1.053.463 Mm³/yıl'dır (Mekonnen ve Hoekstra, 2011). Türkiye'nin ulusal üretim su ayak izi ise 115.537 Mm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin kişi başına düşen su ayak izi 2006-2011 verileri kullanılarak 1.977 m³/yıl olarak hesaplanmıştır (Pegram vd., 2014).

Türkiye'de su ayak izi ile ilgili kararlar 2017 yılında düzenlenen II. Ormancılık ve Su Şurasında alınmıştır. Su ayak izi ile ilgili kararlar aşağıda verildiği gibidir:

- Suyun etkin ve verimli kullanımı konusundaki uygulamalar desteklenmelidir. Bu kararlar su tüketiminde tasarrufun zorunlu olması, bütün faaliyetlerde su ayak izi çalışmasının yapılması ve böylelikle su ayak izinde farkındalık olması sağlanabilir.
- Su ayak izi kavramının bilinirliğini arttırmak üzere farkındalık çalışmaları yapılacaktır.
- Çeşitli sektörler için su ayak izini belirlemek üzere projeler geliştirilmesi sağlanacaktır.
- İlgili kurumların su ayak izi çalışmalarına katılımı sağlanacaktır (OSİB, 2017).

Su ayak izi hesaplamaları ile ilgili formüller “*Su Ayak İzi Değerlendirilmesi El Kitabı*” adlı kitapta anlatılmaktadır (Hoekstra vd., 2011). Bu dokümanda bir proses adımının, bir ürünün, bir tüketici veya tüketici grubunun, coğrafi olarak sınıflandırılmış bir alanın, ulusal su havzaları ve nehir havzalarının, idari birimler veya illerin, bir

işletmenin su ayak izinin hesaplaması için önerilen yöntemlerden bahsedilmektedir (Hoekstra vd., 2011). Tarımsal su ayak izini hesaplamada Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım rgt (FAO) tarafından geliştirilen CROPWAT 8.0 programı kullanılmaktadır.

2.3.1. Tekstil sektöründe su ayak izi uygulamaları

Freitas vd. (2017) bir tekstil firmasının kullandığı polyester, viskoz ve pamuk hammaddelerinin su ayak izlerini incelemişlerdir. Bu çalışmada su ayak izi değerlendirme el kitabında bahsedilen hesaplama yöntemleri kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Firma tarafından kullanılan pamuğun küresel olarak toplam su ayak izine katkısı %28'dir. Firmanın kullandığı polyester ve viskozun toplam su ayak izine katkısı sırasıyla %68 ve %5 olduğu hesaplanmıştır.

İngiltere'nin giyimdeki su ayak izi verileri bir şirket tarafından rapor edilmiştir. Bu çalışmada pamuk, yün, ipek, keten, polyester, viskoz, akrilik, poliamid ve polipropilen hammaddelerin su ayak izi araştırılmıştır. Üretim proseslerinde su ayak izi en yüksek ipek hammaddesinden üretilen üründe olduğu tespit edilmiştir. İpekten üretilmiş ürünün proses su ayak izi 948 m³/ton'dur. Viskozdan üretilmiş ürünün proses su ayak izi 645 m³/ton'dur. Pamuktan üretilmiş ürünün proses su ayak izi 462 m³/ton'dur. Ynden üretilmiş ürünün proses su ayak izi 237 m³/ton'dur. Ketenden üretilmiş ürünün proses su ayak izi 156 m³/ton'dur. Akrilikten üretilmiş ürünün proses su ayak izi 113 m³/ton'dur. Polyester, poliamid ve polipropilen hammaddelerinden üretilmiş ürünlerin proses su ayak izi ise 63 m³/ton olarak hesaplanmıştır (URS, 2012).

Hossain (2017) Bangladeş'teki hazır giyim sektöründe araştırma yapmıştır. Bu çalışmada pamuk üretiminden son ürüne kadar oluşan su ayak izi hesaplanmıştır. 2012-2016 yılları arasındaki toplam su ayak izini araştırmıştır. Hazır giyim sektöründe pamuklu ürünün 5 yılın ortalama toplam su ayak izi 25.245 Mm³ olarak bulunmuştur. Sıfır sıvı deşarjı tekniğinin uygulanması ile mavi su ayak izi ve gri su ayak izinde azalma olacağı belirtilmiştir.

Naqvi vd. (2018) Pakistan'ın Pencap Eyaleti'nde pamuklu tekstil üretimi yapan endüstrilerde su ayak izini araştırmışlardır. Pencap'taki pamuk üretiminde mavi su

ayak izi 1.898 m³/ton olarak hesaplanmıştır. Yeşil su ayak izi 1.122 m³/ton, gri su ayak izi 709 m³/ton olduğu tahmin edilmektedir (Hoekstra vd., 2011; Naqvi vd., 2018). Bu çalışmada pamuk dışındaki diğer ham maddelerin de su ayak izi belirtilmiştir. Bunlar şöyledir; kostik soda 3,2 m³/ton, sodyum silikat 0,069 m³/ton, sodyum karbonat 3.76 m³/ton, boyalar 4-9,5 m³/ton'dur. Üretim proseslerinde su ayak izi 169 m³/ton olarak belirlenmiştir. Pencap'da bulunan tesiste tamamlanmış tekstilin su ayak izleri Mekonnen ve Hoekstra (2011) tarafından tahmin edilmiştir. Bitmiş pamuklu tekstil ürününün mavi su ayak izi 4.650 m³/ton, yeşil su ayak izi 2.646 m³/ton, gri su ayak izi 1.979 m³/ton olduğu tahmin edilmiştir.

Joa vd. (2014) tekstil sektöründe kurumsal su muhasebesini incelemişlerdir. Kurumsal su muhasebesini hesaplamak için bölgesel kümülatif su yoğunluğu yöntemi (RCWI) tercih edilmiştir. Tekstil sektöründeki kaynak kullanılabilirliği bölgesel yönlerini incelemek için iki bölge seçilmiştir. Bu bölgeler Türkiye ve Bangladeş'tir. Bu bölgelerdeki tekstil üretimi incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak RCWI ile hesaplamaların zor olduğu kanıtlanmıştır. RCWI'ndeki veri toplama oranındaki değişkenliklerin hesaplamaları belirsizleştirdiğine değinilmiştir.

Alper (2015) pamuğun tarımsal su ayak izini CROPWAT programı ile hesaplamıştır. Pamuğun tarımsal su ayak izi için Aydın, Adana, Antalya, Diyarbakır, İzmir ve Şanlıurfa illerinin su ayak izleri hesaplanmıştır. Bu şehirlerin pamuk yetiştiriciliğinde ortalama su ayak izi 2.462 m³/ton olarak hesaplanmıştır. Pamuk yetiştiriciliğinde su ayak izi en az olan şehir Adana olarak belirlenmiştir. Adana'nın mavi ve yeşil su ayak izleri toplamı 1.631 m³/ton olarak hesaplanmıştır. Pamuk yetiştiriciliğinde "İyi Pamuk Uygulamaları" tarımsal su ayak izini azaltan bir uygulamadır. Bu uygulama ile pamuk yetiştiriciliğinin su ayak izinde %23'e kadar tasarruf sağlanacaktır.

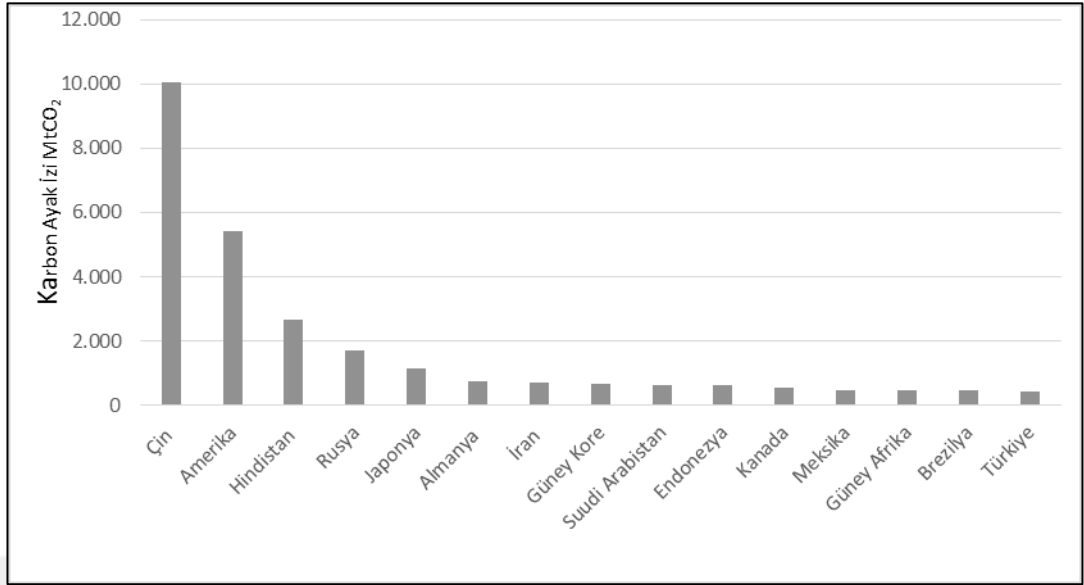
Rudenko vd. (2013) Özbekistan'da pamuklu tekstilin su ayak izini araştırmışlardır. Pamuk yetiştiriciliğinin su ayak izini 6.819 m³/ton bulmuşlardır. Ayrıca elyaf üretimi, iplik üretimi, kumaşın ve bir tişörtün su ayak izlerinde bulmuşlardır. Elyaf üretiminin su ayak izi 6.820 m³/ton olarak belirlenmiştir. İplik üretimi kaynaklı su ayak izi ise 7.761 m³/ton olarak hesaplanmıştır. Kumaşın su ayak izi 8.686 m³/ton'dur. Bitmiş tekstil ürünü olan bir tişörtün su ayak izini 2.865 m³/ton olarak bulmuşlardır.

Chico vd. (2013) 4 pamuk ve 1 liyoselden üretilmiş pantolonların su ayak izi hesaplamalarını yapmışlardır. Pamuktan üretilmiş bir pantolonun ortalama su ayak izi $3.233 \text{ m}^3/\text{ton}$ olarak hesaplanmıştır. Liyosel hammaddesinden üretilmiş pantolonun ortalama toplam su ayak izini $1.454 \text{ m}^3/\text{ton}$ bulmuşlardır.

2.4. Karbon Ayak İzi

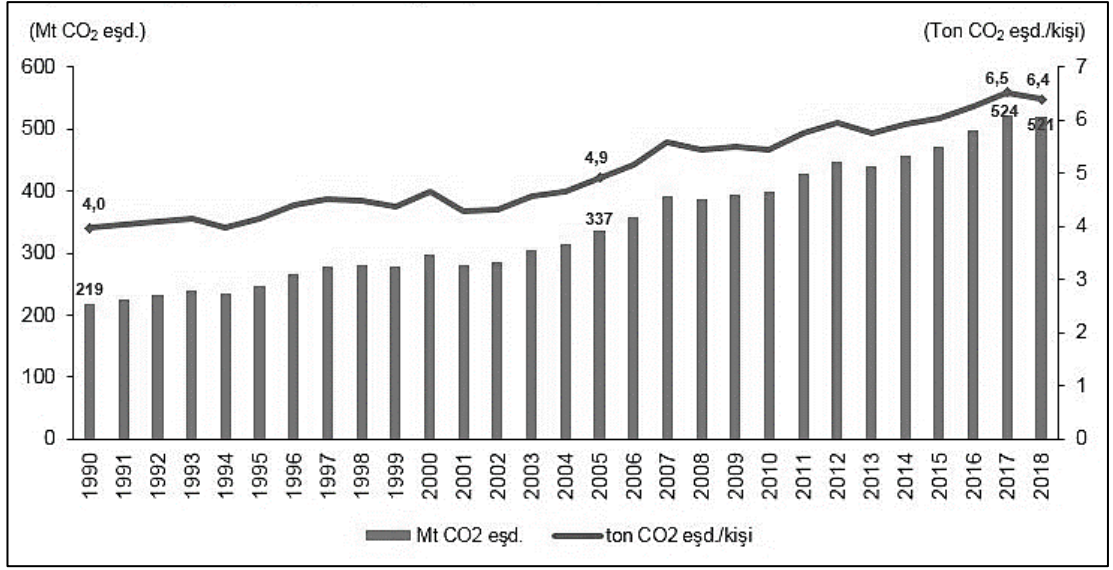
1990'lı yılların başında Mathis Wackernagel ve William Rees tarafından ileri sürülen ve karbon ayak izini de içeren ekolojik ayak izi kavramı, doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin araştırılmasını ifade etmektedir (Özsoy, 2015). Bu ekolojik ayak izlerinden olan karbon ayak izinin literatürdeki çalışmalarda farklı tanımları bulunmaktadır. Karbon ayak izi; doğrudan veya dolaylı olarak bir etkinlik sonucu oluşan sera gazları emisyonlarının karbondioksit (CO_2) cinsinden bir ölçümünü ifade etmektedir (Wiedmann ve Minx, 2007). Başka bir ifadeyle karbon ayak izi; insanların enerji tüketimleri kaynaklı oluşan sera gazı emisyon miktarının ölçülmesi olarak tanımlanmaktadır (Bıyık, 2018). Karbon ayak izi birincil (doğrudan) ayak izi ve ikincil (dolaylı) ayak izinden oluşmaktadır. Birincil karbon ayak izi (doğrudan karbon ayak izi) enerji tüketimi ve ulaştırma faaliyetleri dolayısıyla kullanılan fosil yakıtların yanması sonucunda ortaya çıkan CO_2 emisyonlarının doğrudan ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (Binboğa ve Ünal, 2018). İkincil karbon ayak izi ürünlerin hammadde eldesinden bertaraf sürecine kadar oluşan CO_2 emisyonlarının ölçülmesidir (Bıyık, 2018). Karbon ayak izi kişisel ve kurumsal olmak üzere iki farklı alanda incelenmektedir. Kişisel karbon ayak izi kişinin yaşamsal faaliyetleri sonucu ortaya çıkan emisyon miktarıdır. Kurumsal ayak izi kurumların yıllık faaliyetleri sonucu ortaya çıkan emisyon miktarını temsil etmektedir (Bekiroğlu, 2011).

Karbon ayak izi ülkeler arasında farklılık göstermektedir. Ayak izi bileşenleri; ülkenin tüketilen ürün miktarı, kullanılan doğal kaynaklar ve ürün tedariginden kaynaklı karbonu içermektedir (WWF, 2016). Küresel karbon atlası web sitesinde ülkelerin ve toplam küresel karbon ayak izi verileri yer almaktadır. Küresel karbon atlası verilerine göre 2018 yılında dünya karbon ayak izi 36.573 MtCO_2 'dir (GCA, 2020). Karbon ayak izi en fazla olan ülke Çin'dir. Çin'in karbon ayak izi 10.065 MtCO_2 'dir. Çin'i takip eden ülkeler ABD, Hindistan, Rusya'dır. Türkiye 15. sırada yer almaktadır. Şekil 2.1'de ülkelerin 2018 yılındaki karbon ayak izleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Ülkelerin 2018 yılında karbon ayak izi değerleri (MtCO₂) (GCA, 2019)

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) toplam sera gazı emisyonunu 2018 yılında 520,9 MtCO₂e olarak hesaplamıştır. Türkiye’de 2018 yılında karbon ayak izi emisyonlarının kaynakları sırasıyla; %71,6 ile enerji kaynaklı, %12,5 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımları, %12,5 ile tarımsal faaliyetler ve %3,4 ile atık kaynaklarıdır (TÜİK, 2020). TÜİK, Türkiye’de 2018 yılı verilerine göre kişi başına karbon ayak izi değerini 6,4 ton CO₂e olarak rapor etmiştir (TÜİK, 2020). Şekil 2.2’de 1990-2018 yılları arasında Türkiye’deki sera gazı emisyonları gösterilmiştir.



Şekil 2.2. 1990-2018 yılları arası toplam ve kişi başı sera gazı emisyonları (TÜİK, 2020)

1970’li yıllarda Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) Küresel İklim Araştırma ve İzleme Projesinde elde edilen bilimsel kanıtlarla, insan faaliyetlerinin küresel iklime zarar verdiğini bildirmiştir. 1979 yılında Birinci Dünya İklim Konferansı düzenlenmiştir (Kabacıoğlu, 2012; Bıyık, 2018). Birinci Dünya İklim Konferansı ile birlikte sera gazı emisyonlarından bahsedilmiştir. Konferansta, sanayileşmenin ilerlemesi ve insanların yüksek yaşam standartlarının sonucunda atmosferde sera gazlarının artacağı ve iklim değişikliklerinin olacağı belirtilmiştir.

1985 yılında “Ozon Tabakasının Korunmasına Dair Viyana Sözleşmesi” imzalanmıştır (DB, 2019). 1987 yılında Ozon tabakası ile ilgili “Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü” kabul edilmiştir (DB, 2019). Montreal Protokolüne 196 ülke katılım sağlamıştır. 1991 yılında Türkiye Montreal Protokolünü kabul etmiştir. 2016 yılında Kigali’de gerçekleştirilen 28. taraflar toplantısında hidroflorokarbonları %80-85 azaltılmasına karar verilmiştir. Hidroflorokarbonların adım adım azaltılmasına karar verilmiştir (DB, 2019). 2019 yılında protokolde yapılan değişiklikler ile birlikte kabul eden 65 ülkenin imzalaması ile birlikte yürürlüğe girmiştir. Bu protokol Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nin temelini oluşturmuştur.

1994 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kabul edilmiştir (DB, 2019). Sözleşme, iklim değişikliği sorununa değinmek amacıyla yapılmıştır. Sözleşmede iklim değişikliği kaynağı olarak endüstri ve diğer sektörlerden kaynaklı sera gazları salınımları kabul edilmektedir. Sözleşme ülkelerin sera gazlarını azaltmayı, teknoloji ve araştırma yapma üzerinde işbirliği yapmayı, gölleri, okyanusları ve ormanları korumayı desteklemektedir. Sözleşme “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreceli kabiliyetler” ilkesine dayanmaktadır (DB, 2019). Bu ilke sayesinde emisyonları fazla olan ülkeler daha fazla sorumluluk alabilecek ve ülkenin ekonomik şartlarına göre sera gazı emisyonları azaltmadaki yöntemler farklılaşacaktır. Bundan dolayı sözleşme ülkeleri 3’e ayırmıştır. Ek-I ülkeleri sera gazı emisyonlarını azaltmaları, sera gazı emisyonlarının azaltmaya yönelik aldıkları önlemleri, emisyon verilerini bildirmeleri gerekmektedir. Ek-I ülkeleri de ikiye ayrılmaktadır. İlk grupta Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) üyesi olan ülkeleri ve AB bulunmaktadır. İkinci grupta pazar ekonomisine geçiş sürecinde olan ülkeler bulunmaktadır (DB, 2019). Ek-II grubundaki ülkeler ise Ek-I grubundaki sorumlulukları yanı sıra çevreye uyumlu teknolojilerin diğer ülkelere aktarılması veya bu teknolojilerin uygulanabilirliği hakkında her aşamadan sorumlu tutulmuşlardır (DB, 2019). Ek dışı ülkeler sera gazı emisyonlarını azaltmaya teşvik edilmektedir. Ama belirli bir emisyon azaltımından sorumlu tutulmamışlardır. Türkiye özgün koşullar tanınarak ve diğer Ek-I ülkelerinden farklı bir konumda Ek-I ülkeleri listesinde yer almaktadır. Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ni 2004 yılında imzalamıştır (DB, 2019).

Kyoto Protokolü Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 3. Taraflar Konferansı’nda 1997 yılında kabul edilmiştir (DB, 2019). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nde sanayileşmiş ülkelerin sera gazı salınımlarını stabilize etmeleri yönünde bağlayıcı olmayan bir yükümlülük tanımlanmaktadır. Kyoto Protokolü sera gazı salınım sınırlama ve azaltım yükümlülükleri getirmiştir (DB, 2018). Kyoto Protokolü sera gazları olarak karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), hidrofluorokarbonlar (HFCs), perfluorokarbonlar (PFCs), kükürt heksaflorür (SF₆) gazlarını tanımlamıştır (Kyoto Protokolü, 1998). Türkiye’de Kyoto Protokolü 2009 yılında kabul edilmiştir. Protokol kabul edildiğinde Birleşmiş Milletler İklim Değişimi Çerçeve Sözleşmesi tarafı olmayan Türkiye, Ek-I Taraflarının sayısallaştırılmış salınım sınırlama veya azaltım yükümlülüklerinin tanımlandığı

Protokol Ek-B listesine dâhil edilmemiştir. Dolayısıyla, Protokol'ün 2008-2012 yıllarını kapsayan birinci yükümlülük döneminde Türkiye'nin herhangi bir sayısallaştırılmış salınım sınırlama veya azaltım yükümlülüğü bulunmamaktadır (DB, 2019). Kyoto Protokolü'nün 3. Taraflar konferansı 2007 yılında Bali'de gerçekleştirilmiştir. Bu konferansta alınan kararlara Bali Eylem Planı adı verilmiştir. Bali eylem planındaki önemli hususlar;

- Tüm gelişmiş ülkelerin emisyon azaltım/sınırlama hedefi gibi ölçülebilir, raporlanabilir ve doğrulanabilir, ulusal olarak uygulanabilir mücadele taahhütleri üstlenmeleri,
- Gelişmekte olan ülkelerin ise teknoloji, finansman ve kapasite oluşturma önlemleri ile desteklenen sürdürülebilir kalkınma bağlamında azaltım tedbirleri almaları,
- Uyum alanında, etkilenebilirliğin değerlendirilmesi, tedbirlerin önceliklendirilmesi, mali ihtiyaçların belirlenmesi ve kapasite oluşturmaya öncelik verilmesi,
- Müzakerelerin sözleşme altında yürütülmesi,
- 2009 yılı sonuna kadar müzakerelerin tamamlanmasıdır (DSİ, 2019).

Paris Antlaşması 2015 yılında düzenlenmiş ve 4 Kasım 2016 tarihi itibarıyla yürürlüğe girmiştir. Türkiye Paris Antlaşması'nı 2016 yılında, 175 ülkenin katılımı ile New York'ta düzenlenen toplantıyla imzalamıştır (Demirbaş, 2018). Paris Antlaşması'nda ülkelerin sorumlulukları;

- Anlaşmayı kabul eden ülkeler emisyon azaltımı yapmalı,
- 2050 yılı sonrasında gelişmiş ülkeler sıfır emisyon sağlamalı,
- Gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkelerin düşük karbon salınımı gerçekleştirmeleri için finansman sağlamalı,
- Ülkelerin her beş yılda bir daha fazla azaltım yükümlülüğü almasıdır (Demirbaş, 2018).

Karbon ayak izi hesaplamalarında Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen Tier metodolojileri kullanılmaktadır. Bu metodoloji Tier 1, Tier 2

ve Tier 3 olarak ayrılmaktadır. Tier 1 temel bir yöntemdir. Tier 1 yöntemi genellikle yakıt yanması sonucu oluşan karbon ayak izini hesaplamak için kullanılmaktadır (IPCC, 2006). Tier 1 yöntemi hazır bulunan varsayılan emisyon faktörleri ile birlikte kolayca temin edilebilen ulusal veya uluslararası istatistikleri kullanmak üzere tasarlanmıştır (IPCC, 2006). Tier 2 yönteminin uygulanabilmesi için ülkeye ait emisyon faktörlerinin bilinmesi gerekmektedir (Toröz, 2015). Ayrıntılı veriler mevcut ise veya elde edilebilirse Tier 2 yöntemini kullanmak iyi bir uygulamadır (IPCC, 2006). Tier 3 yönteminde yakma işleminden kaynaklanan emisyonların hesaplanabilmesi için tesise özgü veriler kullanılmaktadır (IPCC, 2006). Tier 3 yöntemi ile hesaplama yapabilmek için yanma koşulları, yanma teknolojisinin büyüklüğü ve tipi, bakım, işletme koşulları, emisyon kontrol teknolojisi ve yakıt karakterizasyonu bilinmesi gerekmektedir (Toröz, 2015).

2.4.1. Tekstil sektöründe karbon ayak izi uygulamaları

Wang vd. (2015) Çin’de pamuklu gömlek üretimi yapan tekstil fabrikalarında karbon ayak izi incelemesi yapmışlardır. Üretimin iplik çekme, dokuma, giyim adımları incelenmiştir. Ayrıca malzeme kullanımı, enerji tüketimi, ekipman kullanımı araştırılmıştır. Bu çalışmada pamuk üretimi, pamuk taşımacılığı, endüstriyel üretim, tekstil taşımacılığı, ürün kullanım aşamalarının tek tek karbon ayak izi hesaplanmıştır. Pamuklu gömleğin yaşam döngüsü sürecinde toplam karbon ayak izi 8,7 kg CO_{2e} olarak hesaplanmıştır.

Zamani vd. (2014) İsveç’te tekstil ürünlerinin geri dönüşüm karbon ayak izini hesaplamışlardır. Ürün atığı olarak %50 pamuk ve %50 polyesterden oluşan ürünler incelenmiştir. Bu tür ürün atıkları için 3 farklı geri dönüşüm tekniği seçilmiştir. Tekstil atıklarının yeterli kalitede kullanılması, selülozun polyesterden ayrılması ve polyesterin kimyasal geri dönüşümü teknikleri kullanılmıştır. Malzeme yeniden kullanımı ile 8 ton CO_{2e} emisyonun azalacağını göstermiştir. Geri dönüşüm de selüloz/polyester ayırma yöntemi kullanılmasıyla 5,6 ton CO_{2e} tasarruf edilmiştir. Entegre tekstil geri dönüşüm sistemi uygulanarak 1 ton tekstil atığı için 10 ton CO_{2e} tasarruf edilebileceğini göstermektedir.

Cheah vd. (2013) ayakkabı üretiminin sera gazı emisyonlarını incelemişlerdir. Malzemelerin, üretimin ve nakliyenin verileri toplanmıştır. Bir ayakkabının hammaddesi üretimi adımıda karbon ayak izi $4 \pm 0,36$ kg CO₂e olarak hesaplanmıştır. Fabrikada oluşan karbon ayak izi $9,5 \pm 2,7$ kg CO₂e olarak bulunmuştur. Bir ayakkabının nakliye kaynaklı karbon ayak izi 0,034 kg CO₂e/ayakkabı olarak hesaplanmıştır. Tüketicinin kullanımı boyunca karbon ayak izi 0,03 kg CO₂e bulunmuştur. Yaşam döngüsü analizi (YDA) ile değerlendirildiğinde ayakkabının karbon ayak izi $14 \pm 2,7$ kg CO₂e olduğu bulunmuştur. Sera gazı emisyonlarına malzeme işlemenin %29 ve üretimin %68 etkisi olduğu bulunmuştur.

Jain (2017) tekstil sektöründe karbon ayak izini azaltmaya yönelik teknikleri araştırmıştır. Tekstil sektörü bir bireyin ikincil karbon ayak izinin %4'ünü oluşturmaktadır. Tekstil sektörünün su, kimyasal, enerji tüketimlerini ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için 3R kavramını benimsemesi gerekmektedir. 3R kavramı azalt, yeniden kullan ve geri dönüştürden oluşmaktadır. Tekstil sektöründe yeni teknolojiler kullanılması ve çevre dostu yaklaşımlarla karbon ayak izinde azalma olacağı belirtilmiştir.

Yan vd. (2016) Çin'de 13 farklı kumaş türü için endüstriyel karbon ayak izini incelemişlerdir. Her tekstil firmasının üretim adımları incelenmiş ve üretim verileri belirlenmiştir. Tekstil firmalarının karbon ayak izinin sistem sınırları, ilgili yöntemler ve değerlendirme modellerine karar verilmiştir. Tekstil kumaşı olarak yünlü kumaşın karbon ayak izi en yüksek bulunmuştur. Yünlü kumaşın karbon ayak izi 14,07 kg CO₂e/kg kumaş olarak hesaplanmıştır. Gri kumaşın karbon ayak izi 1,81 kg CO₂e/kg kumaş olarak belirlenmiştir. Gri kumaş en düşük karbon ayak izine sahip kumaş olarak bulunmuştur.

Kirchain vd. (2015) giyim sektöründeki çeşitli hammaddelerin karbon ayak izlerini araştırmışlardır. Bu hammaddeler pamuk, deri, polyester ve kauçuktur. Boyalı örgü veya dokuma pamuklu kumaşın karbon ayak izini 4,3 kg CO₂e olarak hesaplamışlardır. Örgü kumaş polyester bir tişörtün karbon ayak izini 3,8 kg CO₂e olarak bulmuşlardır. Ayrıca dokuma kumaş polyester bir tişörtün karbon ayak izi 7,1 kg CO₂e'dir. Bir çift deri ayakkabının karbon ayak izi ise 10 kg CO₂e olarak

belirtilmiştir. Bir spor ayakkabısında sentetik kauçuk kullanılması ile oluşan karbon ayak izini de 1,1 kg CO₂e olarak hesaplamışlardır.

Rana vd. (2015) çeşitli liflerden üretilen ürünlerin karbon ayak izi incelemişlerdir. Pamuklu beyaz gömleğin yaşam döğüsü analizinin karbon ayak izini 10,75 kg CO₂e olarak bulmuşlardır. Pamuklu beyaz gömleğin üretim sürecinin karbon ayak izi 3 kg CO₂e'dir. Yünlü bir kumaşın üretiminde 7 kg CO₂e/kg kumaş olarak bulmuşlardır. Jüt lifinin kullanıldığı üretim sürecinde karbon ayak izi 0,485 kg CO₂e olarak hesaplamışlardır. Keten bir gömlek üretiminde tüketilen enerjinin %59'luk karbon ayak izine sahip olacağı belirtilmiştir.

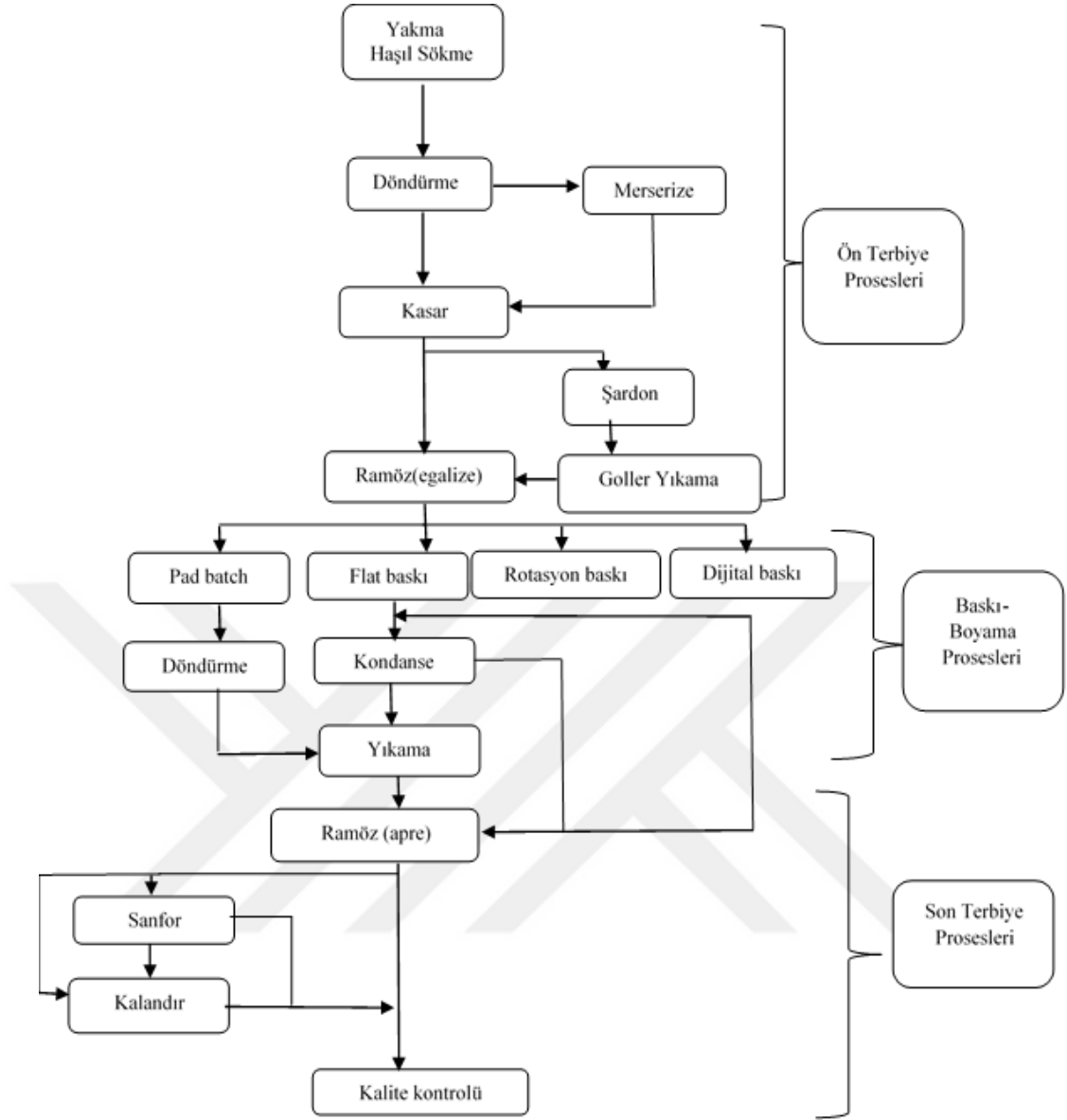


3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması terbiye ve baskı-boyama yapan bir tekstil tesisinde temelde 4 adımdan oluşan bir yaklaşımla yürütülmüştür. Birinci adımda; mevcut durum analizi yapılmıştır. İkinci adımda; tesisin mevcut su ayak izi hesaplanmıştır. Üçüncü adımda; karbon ayak izi hesaplanmıştır. Dördüncü adımda ise; MET uygulamaları sonrasında tahmini tasarruflara göre su ayak izinde ve karbon ayak izindeki azalmalar hesaplanmıştır. Aşağıda alt başlıklar halinde çalışmanın metodolojisi daha detaylı sunulmuştur.

3.1. Mevcut Durum Analizi

Tesis, ev tekstil ürünleri üretimi, iki konfeksiyon ve dokuma-örme, terbiye bölümlerinden oluşmaktadır. Nevresim üretim alanı 130.000 m²'den oluşmaktadır. Bir günde ortalama 300.000 m kumaşa terbiye ve baskı/boyama işlemleri yapılmaktadır. Tesiste dokuma kumaşlar için pad-batch boya makineleri, örme kumaşlar için HT-over flow boya makineleri, rotasyon baskı makineleri, flat baskı makineleri, günlük 10.000 m² kumaş baskısı yapabilen dijital baskı makineleri bulunmaktadır. Tesisin üretimde kullandığı temel prosesler kumaş ön terbiyesi, pad-batch boyama, baskı ve son terbiyeden oluşmaktadır. Tesis ziyaret edilerek üretim prosesleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılacak olan veriler temin edilmiştir. Tesisin proses girdi-çıktılarını gösteren akım şeması oluşturulmuştur. Şekil 3.1'de genel üretim akım şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Tesisin genel üretim akım şeması

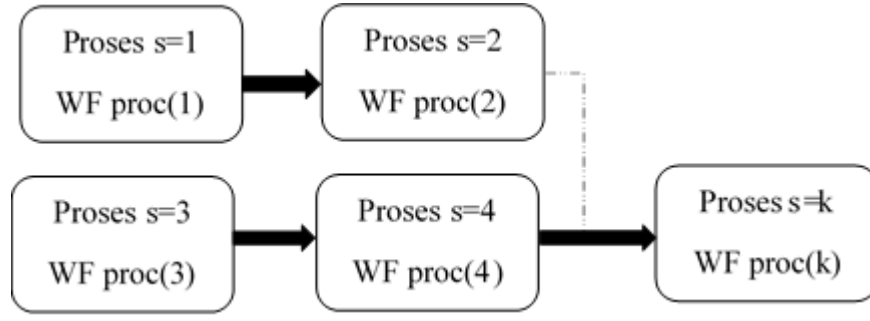
Tesisin su kaynakları, su temini, hamsu miktarları, su yumuşatma sistemleri, su kullanılan prosesler, kayıplar, tesis geneli ve prosesler özelinde su tüketim miktarları belirlenmiştir. Tedarik edilen su miktarı ve proses bazlı su tüketimleri sayaçlar ve debimetre kayıtları kullanılarak bulunmuştur. Prosesler bazında su tüketiminin ayrıntılı verilerine ulaşamamıştır. Su tüketimi değerleri teknik verilerden yararlanılarak kütle dengliklerine dayalı teorik hesaplamalar yapılarak belirlenmiştir. Tesisin elektrik, doğal gaz ve buhar enerjilerinin temini, kayıplar, tesis geneli ve prosesler özelinde enerjilerin tüketim miktarları belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında, Zorluteks Tekstil tesisinde yürütülen “*Entegre Bir Tekstil İşletmesinde Temiz Üretim Uygulamaları*” yüksek lisans tezinde (Demirel, 2019) elde edilen veriler ve Zorluteks

Tekstil tarafından yürütülen ve TÜBİTAK tarafından desteklenen 3170583 numaralı TÜBİTAK TEYDEB projesinde temin edilen veriler kullanılmıştır. Yapılan incelemeler ve kütle-enerji denklemleri ile üretim proseslerinde tüketilen su, kimyasal maddeler ve enerji miktarları bulunmuştur. Su, elektrik, doğal gaz ve buhar tüketimlerinde 3 yılın (2015-2017) verileri esas alınmıştır. Tesiste üretim miktarı moda ve müşteri talepleri gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla üç yılın verileri kullanılarak bu değişimlerin tüketim ve üretim değerleri üzerindeki etkisi de göz önünde bulundurulmuştur.

3.2. Su Ayak İzi Hesaplamaları

Bir ürünün su ayak izi hesaplamasında zincir toplamı ve kademeli birikim olmak üzere temel iki yaklaşım kullanılmaktadır (Hoekstra vd., 2011). Kademeli birikim yaklaşımında proseslere çok sayıda girdi ürünü olduğu kabul edilmektedir. Kademeli birikim yaklaşımında ürün kesri ve değer kesri verilerinin hesaplanması gerekmektedir. Kademeli birikim yaklaşımı, üretimdeki girdilerin su ayak izine dayanarak elde edilen ürünün su ayak izini ilk procesten son procese kadar tüm veriler esas alınarak hesaplanması yöntemidir. Ürünün üretiminde çok sayıda girdinin olduğu varsayılmaktadır. Girdilerin su ayak izlerini toplayarak ve proses su ayak izlerini ekleyerek, nihai ürünün su ayak izi hesaplanmaktadır. Ayrıca bir girdinin ve birkaç nihai ürünlerin olduğu durumda su ayak izi hesaplaması başka bir yöntemle yapılmaktadır. Böyle durumlarda girdinin su ayak izi nihai ürünlerinin arasında dağıtılması gerekmektedir. Bu işlem ürünlerin değeri ile orantılı veya ürünlerin ağırlığı ile orantılı yapılabilmektedir. Fakat ürün ağırlığı ile orantılı olarak yapılması anlamsız olacaktır. Ürünün su ayak izi, girdinin su ayak izi ve girdi malzemelerinin çıkan ürünlere işlenmesi sırasındaki su ayak izleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Kademeli birikim yaklaşımında istenilen değerlerin hesaplanması zordur.

Zincir toplamı yaklaşımı, üretimden bir nihai ürün elde edilmesinde uygulanan bir hesaplama yöntemidir. Proses adımları ile ilgili su ayak izleri ürüne dahil edilebilmektedir. Ürünün su ayak izi proseslere giren toplam su miktarının üretim miktarına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Bu tez çalışmasında tek ürün elde edilmesi nedeniyle zincir toplamı yaklaşımı kullanılmıştır. Şekil 3.2’de bir ürünün üretimi sırasındaki su ayak izinin hesaplanması şematize edilerek sunulmuştur.



Şekil 3.2. Zincir toplam yaklaşımı (Hoekstra vd., 2011)

Denklemdaki (3.1) $WF_{proc(s)}$ bir prodesteki su ayak izini ve $P_{(p)}$ üretim miktarını göstermektedir.

$$WF_{prod(p)} = \frac{\sum_{s=1}^k WF_{proc(s)}}{P(p)} \text{ (hacim/kütle)} \quad (3.1)$$

$WF_{prod(p)}$: Ürünün su ayak izi değeri ($m^3/\text{ton ürün}$)

$P_{(p)}$: Üretim miktarı (ton ürün/yıl)

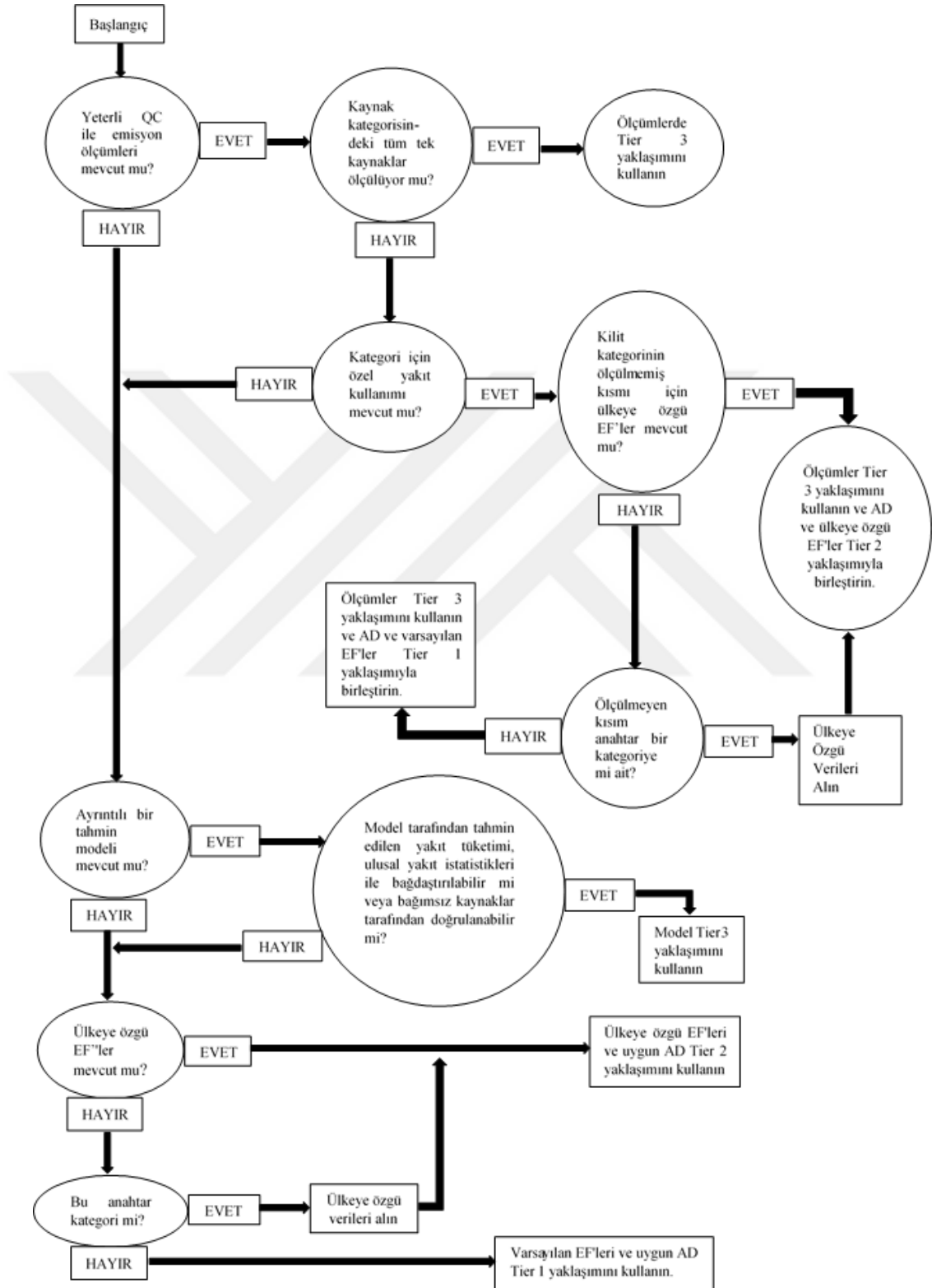
$WF_{proc(s)}$: Proses su ayak izi ($m^3/\text{yıl}$)

k: Proses adım sayısı

3.3. Karbon Ayak İzi Hesaplamaları

Bu çalışmada tesisteki mevcut karbon ayak izi ve temiz üretim etüt/analiz çalışmaları yapıldıktan sonraki karbon ayak izi hesaplanmıştır. Çalışmada doğal gaz, elektrik ve buhar tüketimlerinin karbon ayak izleri hesaplanmıştır. Tesisten doğal gaz, elektrik ve buhar tüketim verileri elde edilmiştir. Karbon ayak izi hesaplanmasında IPCC 2006 kılavuzunda bahsedilen yöntemler kullanılmıştır. Doğal gaz tüketiminin karbon ayak izini hesaplamak için Tier 1 yöntemine karar verilmiştir. Tier 1 yönteminin seçilmesinin sebebi yöntemin doğrudan sera gazlarını veya yakıt yanması kaynaklı emisyonların karbon ayak izi hesaplanmasında kullanılmasıdır. Doğal gaz emisyon faktörü için IPCC 2006 kılavuzundaki değerler kullanılmıştır. Elektrik ve buhar hesaplaması Tier 2 yöntemine göre yapılmıştır. Elektrik ve buhar tüketiminde Tier 2 yönteminin kullanılmasının sebebi ülke bazlı emisyon faktörünün olmasıdır. Elektrik

ve buhar hesaplamasında ülke bazlı emisyon faktörü olarak 0,478 kg CO_{2e}/kWh değeri kullanılmıştır (IEA, 2016; Demirbaş, 2018).



Şekil 3.3.Tier yöntemine karar verme aşaması (IPCC, 2006)

Doğal gaz tüketiminin karbon ayak izini hesaplamak için öncelikle emisyon faktörü hesaplanmalıdır. Emisyon faktörü IPCC 2006 Kılavuzundaki yöntemle (Denklem 3.2) göre hesaplanmıştır. Varsayılan karbon içeriği ve oksidasyon faktörü değerleri için IPCC 2006 Kılavuzundaki veriler kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de varsayılan karbon içeriği ve oksidasyon faktörü değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Doğal gaz için varsayılan karbon içeriği ve oksidasyon faktörü değerleri (IPCC, 2006)

Yakıt tipi	Varsayılan karbon içeriği (kg/GJ)			Varsayılan karbon oksidasyon faktörü
	Minimum	Ortalama	Maksimum	
Doğal gaz	14,8	15,3	15,9	1

$$EF = DCC \times DCOF \times (44 / 12) \times 1000 \quad (3.2)$$

EF: Emisyon faktörü $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{TJ}}\right)$

DCC: Varsayılan karbon içeriği (kg/GJ)

DCOF: Varsayılan karbon oksidasyon faktörü

Doğal gaz tüketim verileri ile emisyon faktörü çarpılarak bir yıldaki karbon ayak izi Denklem 3.3 kullanılarak bulunmuştur. Doğal gazın emisyon faktörü olarak en az, ortalama ve en yüksek değerleri kullanılmıştır.

$$CE = EF \times NGC \quad (3.3)$$

CE: Karbon emisyonu $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{yıl}}\right)$

EF: Emisyon faktörü $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{TJ}}\right)$

NGC: Doğal gaz tüketimi $\left(\frac{\text{Sm}^3}{\text{yıl}}\right)$

Hesaplanan karbon emisyonu tesisin bir yıldaki üretimine bölünmüştür. Ürünün spesifik karbon emisyonu Denklem 3.4 ile hesaplanmıştır.

$$SCF = CE / PA \quad (3.4)$$

SCF: Spesifik karbon ayak izi $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg ürün}}\right)$

CE: Karbon emisyonu $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{yıl}}\right)$

PA: Üretim miktarı $\left(\frac{\text{kg ürün}}{\text{yıl}}\right)$

Elektrik tüketim verileri ile ülke bazlı emisyon faktörü çarpılarak bir yıldaki karbon ayak izi Denklem 3.5 kullanılarak bulunmuştur.

$$CE = EF \times EC \quad (3.5)$$

CE: karbon emisyonu $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{yıl}}\right)$

EF: Emisyon faktörü $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kWh}}\right)$

EC: Elektrik tüketimi $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{yıl}}\right)$

Elektriğin spesifik karbon ayak izini hesaplamak için Denklem 3.6 kullanılarak bulunan karbon emisyonu üretim miktarına bölünmüştür.

$$SCF = CE / PA \quad (3.6)$$

SCF: Spesifik karbon ayak izi $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg ürün}}\right)$

CE: Karbon emisyonu $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{yıl}}\right)$

PA: Üretim miktarı $\left(\frac{\text{kg ürün}}{\text{yıl}}\right)$

Buhar tüketiminin karbon ayak izini hesaplamak için işletmeden elde edilen spesifik buhar tüketim verileri kullanılmıştır. Tüketim verileri elektrik cinsine çevrilmiştir. Emisyon faktörü olarak ülke bazlı değer kullanılmıştır. Denklem 3.7 ile hesaplamalar yapılmıştır.

$$CE = EF \times EC \quad (3.7)$$

CE: karbon emisyonu $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{yıl}}\right)$

EF: Emisyon faktörü $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kWh}}\right)$

EC: Elektrik tüketimi $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{yıl}}\right)$

Bir ürünün buhar karbon ayak izini bulmak için Denklem 3.8 kullanılarak karbon emisyonu üretim miktarına bölünmüştür.

$$\text{SCF} = \text{CE} / \text{PA} \quad (3.8)$$

SCF: Spesifik karbon ayak izi $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg ürün}}\right)$

CE: Karbon emisyonu $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{yıl}}\right)$

PA: Üretim miktarı $\left(\frac{\text{kg ürün}}{\text{yıl}}\right)$

3.4. MET Uygulaması Sonrası Su ve Karbon Ayak İzi Hesaplamaları

Temiz üretim etüt/analiz uygulamaları kapsamında MET listesi hazırlanmıştır. Aynı tesiste yürütülen “*Temiz Üretim Uygulamalarında Çok Ölçütlü Karar Verme Metotlarıyla Mevcut En İyi Tekniklerin Belirlenmesi: Tekstil Sektörü Uygulaması*” yüksek lisans tezindeki MET listeleri kullanılmıştır (Şimşek, 2019). Şimşek (2019) çalışmasında MET listesinin hazırlanmasında çok ölçütlü karar verme metotları’nı (ÇÖKVM) kullanmıştır. Nihai MET listesinin oluşturulmasında “Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi (PROMETHEE)”, “İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralama Tekniği (TOPSIS)”, “Çok Ölçütlü Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Tekniği (VIKOR)”, “Katkı Oranı Değerlendirmesi (ARAS)” ve “Karmaşık oransal değerlendirme (COPRAS)” karar modelleri tercih edilmiştir. MET’lerin uygulanması ile su ve karbon ayak izlerinde toplam azalmaların hesaplanması zordur. Bu nedenle 3 ayrı senaryo oluşturulmuş ve toplam tasarruf/azalmalar ayrı ayrı hesaplanmıştır.

MET’lerin uygulanması ile su tasarrufunu bulmak için Denklem 3.9 kullanılmıştır.

$$WSA = WCA \times ESR \quad (3.9)$$

WSA: Su tasarruf miktarı $\left(\frac{m^3}{yıl}\right)$

WCA: Su tüketim miktarı $\left(\frac{m^3}{yıl}\right)$

ESR: Tahmin edilen tasarruf oranı (%)

Tasarrufun su ayak izini bulmak için Denklem 3.10 kullanılarak su tasarrufu üretim miktarına bölünmüştür.

$$WFS = WSA / PA \quad (3.10)$$

WFS: Tasarruf edilecek su ayak izi $\left(\frac{m^3}{ton\ ürün}\right)$

WSA: Su tasarruf miktarı $\left(\frac{m^3}{yıl}\right)$

PA: Üretim miktarı $\left(\frac{ton\ ürün}{yıl}\right)$

MET'lerin uygulanması ile doğal gaz tasarrufunu bulmak için Denklem 3.11 kullanılmıştır.

$$NGSA = NGCA \times ESR \quad (3.11)$$

NGSA: Doğal gaz tasarruf miktarı $\left(\frac{Sm^3}{yıl}\right)$

NGCA: Doğal gaz tüketim miktarı $\left(\frac{Sm^3}{yıl}\right)$

ESR: Tahmin edilen tasarruf oranı (%)

Tasarrufun karbon ayak izini bulmak için Denklem 3.12 kullanılarak doğal gaz tasarrufu üretim miktarına bölünmüştür.

$$CFNGS = NGSA \times EF / PA \quad (3.12)$$

CFNGS: Tasarruf edilecek doğal gazın karbon ayak izi $\left(\frac{kg\ CO_2e}{kg\ ürün}\right)$

NGSA: Doğal gaz tasarruf miktarı $\left(\frac{\text{Sm}^3}{\text{yıl}}\right)$

EF: Emisyon Faktörü $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{TJ}}\right)$

PA: Üretim miktarı $\left(\frac{\text{kg ürün}}{\text{yıl}}\right)$

MET'lerin uygulanması ile elektrik tasarrufunu bulmak için Denklem 3.13 kullanılmıştır.

$$\text{ESA} = \text{ECA} \times \text{ESR} \quad (3.13)$$

ESA: Elektrik tasarruf miktarı $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{yıl}}\right)$

ECA: Elektrik tüketim miktarı $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{yıl}}\right)$

ESR: Tahmin edilen tasarruf oranı (%)

Tasarrufun karbon ayak izini bulmak için Denklem 3.14 kullanılarak elektrik tasarrufu üretim miktarına bölünmüştür.

$$\text{CFES} = \text{ESA} \times \text{EF} / \text{PA} \quad (3.14)$$

CFES: Tasarruf edilecek elektriğin karbon ayak izi $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg ürün}}\right)$

ESA: Elektrik tasarruf miktarı $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{yıl}}\right)$

EF: Emisyon faktörü $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kWh}}\right)$

PA: Üretim miktarı $\left(\frac{\text{kg ürün}}{\text{yıl}}\right)$

MET'lerin uygulanması ile buhar tasarrufunu bulmak için Denklem 3.15 kullanılmıştır.

$$\text{SSA} = \text{SCA} \times \text{ESR} \quad (3.15)$$

SSA: Buhar tasarruf miktarı $\left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}}\right)$

SCA: Buhar tüketim miktarı $\left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}}\right)$

ESR: Tahmin edilen tasarruf oranı (%)

Tasarrufun karbon ayak izini bulmak için Denklem 3.16 kullanılarak buhar tasarrufu üretim miktarına bölünmüştür.

$$\text{CFSS} = \text{SSA} \times \text{EF} / \text{PA} \quad (3.16)$$

CFSS: Tasarruf edilecek buharın karbon ayak izi $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg ürün}}\right)$

SSA: Buhar tasarruf miktarı $\left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}}\right)$

EF: Emisyon faktörü $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kWh}}\right)$

PA: Üretim miktarı $\left(\frac{\text{kg ürün}}{\text{yıl}}\right)$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Tesisin Su Tüketimi ve Su Ayak İzi Analizi

Tesiste yürütülen mevcut durum analizi çalışmaları kapsamında su temininden atıksu oluşumuna kadar tüm su kullanım noktalarının su tüketimleri belirlenmiştir. Bu kapsamda 2015-2017 yıllarına ait su sayacı ve mevcut tesis verilerinden yararlanılmıştır. Su tüketimleri tesisteki ön terbiye, boyama-baskı ve son terbiye prosesleri bazında değerlendirilmiştir. Mevcut durum analizi çalışmalarından elde edilen verilere ve bilgilere göre tesiste ihtiyaç duyulan hamsu, tesise ait kuyulardan temin edilmektedir. Tesiste yeraltı su kaynaklarından ortalama 6.100 m³/gün hamsu temin edilmektedir. Tesiste bazı proseslerde (apre yıkamalar gibi) ve proses dışı alanlarda (katyonik iyon değiştiricilerin rejenerasyonu, tesis ve ekipman temizliği vb.) doğrudan hamsu kullanılmaktadır. Bu alanlarda kullanılan hamsu temin edilen toplam suyun yaklaşık %18'ini oluşturmaktadır. Ancak tesiste üretim proseslerinin neredeyse tamamında yumuşatılmış hamsu (proses suyu) kullanılmaktadır. Bu nedenle tesise temin edilen hamsu kum filtreleri ve katyonik iyon değiştirici reçineler kullanılarak arıtılmaktadır. Tesiste ortalama 5.000 m³/gün su yumuşatılmakta ve toplam temin edilen hamsuyun %82'sini oluşturmaktadır. Kum filtrelerinde hamsu içerisindeki katı maddeler (kum, mil vb.) tutulmaktadır. Katyonik iyon değiştirici reçinelerde ise hamsuda sertliğe neden olan iyonlar (özellikle Ca⁺² ve Mg⁺²) tutulmaktadır. Tesiste boyama olumsuzluklarına neden olması (abraja neden olması), özellikle sıcak proseslerde ve tesisatlarda kazan taşı ya da kışır oluşumunun engellenmesi, üretim proseslerinde gereksiz kimyasal (stabilizörler gibi) ve enerji kullanımının engellenmesi amacıyla su yumuşatma işlemi yapılmaktadır.

Kuyudan temin edilen ortalama hamsu miktarı 1.912.592 m³/yıl'dır. Tesiste tüketilen hamsu su miktarı ortalama 356.340 m³/yıl'dır. Hamsu miktarında kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar 345 m³/yıl'dır. Tesiste yumuşatılmış su olarak tüketilen miktar 1.556.252 m³/yıl'dır. Rejenerasyon atıksu miktarı ortalama 155.625 m³/yıl'dır. Su tüketiminde buharlaşma kayıpları meydana gelmektedir. Buharlaşma kayıp miktarı ortalama 48.244 m³/yıl'dır.

Tesiste su tüketimleri proseslerde, bahçe sulamada, evsel amaçlı kullanımda, boya mutfaklarında, laboratuvarında, tesis ve ekipman temizliğinde gerçekleşmektedir. Üretim proseslerinde su tüketimi ortalama (2015-2017) 1.645.465 m³/yıl olarak bulunmuştur. Su tüketimi en fazla dokuma kumaş proseslerinde olmaktadır. Dokuma kumaş proseslerinin ortalama su tüketimi 1.466.576 m³/yıl'dır. Dokuma kumaş proseslerinde en fazla su tüketimi dokuma kumaş baskı-boyama proseslerinde olmaktadır. Dokuma kumaş baskı-boyama prosesinin su tüketimi 796.580 m³/yıl'dır. Dokuma kumaş baskı-boyama prosesinden sonra su tüketimi sırasıyla dokuma kumaş ön terbiye ve dokuma kumaş son terbiye prosesinde olmaktadır. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinin su tüketimi 665.035 m³/yıl'dır. Dokuma kumaş son terbiye prosesinin su tüketimi 4.961 m³/yıl'dır. Örgü kumaş proseslerinin su tüketimi 178.889 m³/yıl'dır. Örgü kumaş proseslerinde en fazla su tüketimi boyama prosesinde olmaktadır. Örgü kumaş boyama prosesinin ortalama su tüketimi 107.480 m³/yıl'dır. Örgü kumaş boyama prosesinden sonra en fazla su tüketimi örgü kumaş ön terbiye proseslerinde olmaktadır. Örgü kumaş ön terbiye prosesinin ortalama su tüketimi 58.285 m³/yıl'dır. Örgü kumaş apre bitim prosesinin su tüketimi 2.708 m³/yıl'dır. Genel olarak en fazla su tüketiminin baskı-boyama proseslerinde olduğu bulunmuştur.

Diğer kullanım yerlerinin ortalama su tüketimi 105.069 m³/yıl'dır. Evsel su tüketimi (yemekhane/wc/duş) 61.540 m³/yıl'dır. Ekipman ve tesis temizliği için tüketilen su miktarı 8.089 m³/yıl'dır. Bahçe sulamada su tüketimi 35.440 m³/yıl'dır. Kayıp su miktarı 345 m³/yıl'dır. Çizelge 4.1'de tesisin su tüketimi ve proses bazlı su ayak izi gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Tesisin ortalama su ayak izi değerleri (2015-2017 verileri)

Prosesler	Ortalama üretim miktarları (min.-maks.) (kg/yıl)	Ortalama su tüketim miktarları (min.-maks.) (m ³ /yıl)	Ortalama su ayak izi (min.-maks.) (m ³ /ton ürün)
Dokuma kumaş ön terbiye	16.990.778 (16.487.089-17.291.701)	638.474 (593.656-693.734)	38 (34-42)
Dokuma kumaş baskı-boyama	15.261.166 (14.905.005-15.514.187)	764.766 (724.607-838.170)	50 (47-55)
Dokuma kumaş son terbiye	1.990.778 (16.487.089-17.291.701)	385.734 (300.864-465.430)	23 (18-27)
Örgü kumaş ön terbiye	1.213.934 (820.536-1.475.396)	128.233 (75.597-162.931)	60 (41-92)
Örgü kumaş boyama	1.213.934 (820.536-1.475.396)	34.349 (29.956-40.259)	31 (20-49)
Örgü kumaş son terbiye	1.213.934 (820.536-1.475.396)	74.038 (62.766-88.399)	68 (43-108)
Diğer prosesler ¹	18.204.712 (17.307.625-18.668.941)	23.565 (22.628-24.202)	1 (1-1)
Proses dışı alanlar ²	18.204.712 (17.307.625-18.668.941)	105.069 (91.021-115.697)	6 (5-7)
Kayıplar ³	18.204.712 (17.307.625-18.668.941)	48.934 (47.034-49.791)	3 (3-3)
Toplam	18.204.712 (17.307.625-18.668.941)	2.154.573 (2.064.078-2.296.516)	118 (111-122)

¹Diğer prosesler boya mutfakları ve laboratuvarı kapsamaktadır. ²Proses dışı alanlar evsel kullanımlar, ekipman ve tesis temizliği ve bahçe sulamayı kapsamaktadır.

³Kayıplar ifadesi ile kumaşla birlikte nem olarak uzaklaşan, buharlaşan veya diğer kayıp su miktarı ifade edilmektedir.

Tesisin ortalama toplam su ayak izi 118 m³/ton ürün'dür. Tesisin su ayak izinin en yüksek örgü kumaş proseslerinde olduğu belirlenmiştir. Örgü kumaş proseslerinde su ayak izi en yüksek son terbiye prosesinde olduğu bulunmuştur. Örgü kumaş son terbiye prosesinin ortalama su ayak izi 68 m³/ton ürün'dür. Örgü son terbiye prosesinden sonra sırasıyla su ayak izleri örgü kumaş ön terbiye ve örgü boyama prosesinde olduğu belirlenmiştir. Örgü kumaş ön terbiye prosesinin su ayak izi 60 m³/ton ürün'dür. Örgü kumaş boyama prosesinin su ayak izi 31 m³/ton ürün'dür.

Dokuma kumaş proseslerinde su ayak izi en yüksek baskı-boyama prosesinde olduğu bulunmuştur. Dokuma kumaş baskı-boyama prosesinin su ayak izi 50 m³/ton ürün'dür. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinin su ayak izi 38 m³/ton ürün'dür. Dokuma kumaş son terbiye prosesinin su ayak izi 23 m³/ton ürün'dür. Su ayak izinin en yüksek örgü kumaş terbiye proseslerinde olmasının nedeni üretim miktarına göre su tüketiminin bu proseste fazla olmasıdır.

Çalışma kapsamında tesisin toplam su ayak izi diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. İngiltere'de birçok çeşit hammaddeden üretilmiş tekstil ürününün su ayak izlerinin incelediği bir çalışmada pamuklu tekstil ürünlerinin üretiminde su ayak izini 462 m³/ton olarak rapor edilmiştir. Diğer hammaddelerin üretim aşamasındaki su ayak izleri ise şöyledir; polyester 236 m³/ton, yün 947 m³/ton, ipek 156 m³/ton, viskoz 645 m³/ton, keten 63 m³/ton, akrilik 113 m³/ton, poliamid 63 m³/ton ve polipropilen 63 m³/ton'dur (URS, 2012). Naqvi vd. (2018) çalışmasında pamuklu tekstilin su ayak izi 169 m³/ton olarak bulunmuştur. IPPC Tekstil BREF'inde kumaş terbiye ve boyama prosesleri su ayak izi değerleri 7-645 m³/ton ürün arasında değiştiği rapor edilmektedir. IPPC Tekstil BREF (2003) dokümanında pamuklu dokuma kumaş terbiye ve boyama/baskı prosesleri su ayak izi 21-645 m³/ton ürün'dür. Aynı dokümanda örgü kumaş terbiye ve boyama prosesleri su ayak izi 60-216 m³/ton ürün'dür. Çalışmanın yürütüldüğü tesisin su ayak izi (118 m³/ton ürün) diğer çalışmalara göre değerlendirildiğinde verilen aralıklarda yer almaktadır. Ancak su ayak izinde minimum değerler referans alındığında %94 bir azaltım potansiyelinin olduğu da görülmektedir. Diğer taraftan dokuma kumaş terbiye-boyamasında su ayak izi değerleri literatürde sunulan değerlerin altında olup IPPC Tekstil BREF'inde sunulan değerler aralığındadır. Benzer şekilde örgü kumaş terbiye-boyamasındaki su ayak izleri de aralık değerler arasındadır. Bunun temel nedeni tesiste dijital baskı

proseslerinin kullanılması ve bu proseslerin su ayak izinin konvansiyonel baskı teknikleriyle kıyaslandığında daha az olmasıdır. IPPC Tekstil BREF’inde ve literatürde sunulan minimum su ayak izi değerleri referans alındığında tesisin dokuma kumaş ve örgü kumaş terbiye-boyama proseslerinde sırasıyla %82 ve %48 oranında bir azaltım potansiyeli olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalarda tesisin atıksu miktarı, atıksu kaynakları, prosesler bazında atıksu miktarları elde edilmiştir. Atıksu oluşumu kaynakları proses ve proses dışı su tüketimine bağlıdır. Tesiste oluşan ortalama (2015-2017 yılları) toplam atıksu miktarı 1.814.563 m³/yıl’dır. Üretim prosesleri kaynaklı atıksu miktarı 1.735.551 m³/yıl’dır. Proses dışı (evsel kullanımı, tesis ekipman temizliği vb.) atıksu miktarı 57.321 m³/yıl’dır. Tesiste bulunan atıksu arıtma tesisinde arıtma işlemleri yapılmaktadır. Tesiste atıksuların geri kullanımı mevcut durumda uygulanmamaktadır.

Proses bazlı atıksu oluşumu en fazla dokuma kumaş baskı-boyama prosesinde olmaktadır. Dokuma kumaş baskı-boyama prosesinde oluşan atıksu miktarı 650.208 m³/yıl’dır. Diğer dokuma kumaş proseslerinde atıksu oluşumu sırasıyla dokuma kumaş ön terbiye ve dokuma kumaş son terbiye şeklinde gerçekleşmektedir. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinde 574.627 m³/yıl atıksu oluşmaktadır. Dokuma kumaş son terbiye prosesinin atıksu oluşumu 308.349 m³/yıl’dır.

Örgü kumaş proseslerinde toplam ortalama atıksu oluşumu 202.367 m³/yıl’dır. Örgü kumaş proseslerinde atıksu oluşumu sırasıyla örgü kumaş baskı-boyama, örgü kumaş ön terbiye ve örgü kumaş son terbiye şeklindedir. Örgü kumaş baskı-boyama prosesinde 85.985 m³/yıl atıksu oluşmaktadır. Örgü kumaş ön terbiye prosesinin atıksu oluşumu 59.362 m³/yıl’dır. Örgü kumaş son terbiye prosesinin atıksu oluşumu 1.950 m³/yıl’dır.

4.2. Tesisin Karbon Ayak İzi Analizi

Tesiste enerji kaynağı olarak doğal gaz, buhar ve elektrik kullanılmaktadır. Doğal gaz dağıtım şebekesinden temin edilmektedir. Buhar enerjisi komşu başka bir enerji üretim tesisinden endüstriyel simbiyoz kapsamında temin edilmektedir. Elektrik enerjisi ise elektrik şebekesinden temin edilmektedir. Dolayısıyla doğal gaz birincil kaynak

durumunda iken elektrik ve buhar ikincil kaynak durumundadır. Bu nedenle doğal gazdan kaynaklanan karbon ayak izinin hesaplanmasında IPCC 2006 kılavuzuna göre Tier 1 yöntemi ve ilgili emisyon faktörü kullanılmıştır. Yine IPCC 2006 kılavuzuna göre buhar ve elektrik gibi ikincil kaynakların kullanımı sonucu oluşan karbon ayak izi değerlerinin hesaplanmasında Tier 2 yöntemi ve ülke bazlı emisyon faktörü kullanılmıştır. Buna göre aşağıda tesisin enerji tüketimleri ve karbon ayak izi hesaplamaları ayrı alt başlıklarda sunulmuştur.

4.2.1. Tesisin doğal gaz tüketimi ve doğal gaz kaynaklı karbon ayak izi analizi

Tesisin doğal gaz temin yöntemi ile miktarı ve prosesler bazlı spesifik doğal gaz enerjisinin tüketimleri belirlenmiştir. Tesisin doğal gaz enerjisi merkezi doğal gaz dağıtım sisteminden temin edilmektedir. Tesiste doğal gaz tüketim miktarları veri izleme sisteminden temin edilmiştir. Yakma ve kurutma işlemleri sırasında doğal gaz tüketimi gerçekleşmektedir. Tesiste ortalama (2015-2017) doğal gaz tüketimi $3.004.909 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$ 'dır. Tesiste dokuma kumaş proseslerinde doğal gaz tüketimi olmaktadır. Dokuma kumaş proseslerinde en çok ön terbiye proseslerinde doğal gaz tüketimi gerçekleşmektedir. Doğal gaz tüketiminin %49'u dokuma kumaş ön terbiye proseslerinde gerçekleşmektedir. Dokuma kumaş ön terbiye proseslerinin doğal gaz tüketimi ortalama $1.468.817 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$ 'dır. Dokuma kumaş ön terbiye proseslerinden sonra doğal gaz tüketimi sırasıyla dokuma kumaş baskı-boyama proseslerinde %33 ve dokuma kumaş son terbiye proseslerinde %18 gerçekleşmektedir. Bu proseslerin sırasıyla doğal gaz tüketimi $985.508 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$ ve $550.584 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$ 'dır.

Tesisin doğal gaz tüketimine bağlı olarak doğal gaz karbon ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. Doğal gaz tüketiminin karbon ayak izi hesaplamasında Tier 1 kullanılmıştır. Doğal gaz tüketiminin karbon ayak izi hesaplamasında Tier 1 yönteminin seçilmesinin nedeni birincil kaynak olmasıdır. Hesaplamalarda doğal gaz emisyon faktörü için IPCC'nin belirlediği değer kullanılmıştır. Doğal gazın emisyon faktörü $56.100 \text{ kg CO}_2\text{e/TJ}$ 'dür. Emisyon faktörü ile tesisten elde edilen doğal gaz tüketim verileri çarpılarak karbon ayak izi hesaplanmıştır. Doğal gaza ait spesifik karbon ayak izini bulmak için bulunan karbon ayak izi üretim miktarına bölünmüştür.

Bir ürünün doğal gaz kaynaklı karbon ayak izi 2015-2017 yılları arasında ortalama 0,347 kg CO₂e/kg ürün olarak bulunmuştur. Doğal gaz tüketiminin karbon ayak izi prosesler arasında en yüksek dokuma kumaş ön terbiyededir. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinin ortalama 0,169 kg CO₂e/kg ürün'dür. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinden sonra sırasıyla karbon ayak izleri dokuma kumaş baskı-boyama ve dokuma kumaş son terbiye proseslerinde gerçekleşmektedir. Dokuma kumaş baskı boyama ortalama karbon ayak izi 0,127 kg CO₂e/kg ürün ve dokuma kumaş son terbiye ortalama karbon ayak izi 0,063 kg CO₂e/kg ürün'dür. Diğer proseslere göre dokuma kumaş ön terbiye prosesinin karbon ayak izinin yüksek olmasının sebebi doğal gaz tüketiminin fazla olmasıdır. Çizelge 4.2'de doğal gaz tüketiminin karbon ayak izi gösterilmektedir.



Çizelge 4.2. Tesisin doğal gaz tüketimi için karbon ayak izi değerleri (2015-2017 verileri)

Prosesler	Ortalama üretim miktarları (min.-maks.) (kg/yıl)	Ortalama doğal gaz tüketimi (min.-maks.) (Sm ³ /yıl)	Ortalama doğal gaz tüketiminin karbon ayak izi (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)
Dokuma kumaş ön terbiye	16.990.778 (16.487.089-17.291.701)	1.468.817 (1.286.835-1.739.193)	0,169 (0,155-0,196)
Dokuma kumaş baskı-boyama	15.261.166 (14.905.005-15.514.187)	985.508 (827.400-1.149.492)	0,127 (0,104-0,149)
Dokuma kumaş son terbiye	1.990.778 (16.487.089-17.291.701)	550.584 (436.308-719.903)	0,063 (0,053-0,081)
Toplam	16.990.778 (16.487.089-17.291.701)	3.004.909 (2.703.364-3.438.729)	0,347 (0,303-0,388)

4.2.2. Tesisin elektrik tüketimi ve elektrik kaynaklı karbon ayak izi analizi

Tesisin elektrik ihtiyacı bir enerji şirketinin elektrik şebekesinden temin edilmektedir. Temin edilen elektrik enerjisinin %65'lik kısmı dokuma kumaş ve örgü kumaş üretim proseslerinde tüketilmektedir. Elektrik enerjisinin %20'lik kısmı makineler, pompalar, kompresörler, elektrik motorları ve cihazların çalıştırılmasında, iklimlendirme ve aydınlatma sistemlerinde kullanılmaktadır. Elektrik enerjisinde trafodan ve elektrik ile çalışan makinelerden/cihazlardan kaynaklı kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar elektrik tüketiminin %15'lik kısmını oluşturmaktadır. Elektrik enerjisi tüketim miktarları doğal gazda olduğu gibi veri izleme sisteminden temin edilmiştir.

Elektrik tüketimi en yüksek dokuma kumaş proseslerinde olmaktadır. Elektrik tüketimi en fazla dokuma kumaş ön terbiye proseslerinde gerçekleşmektedir. Dokuma kumaş ön terbiye proseslerinde %35'lik elektrik tüketimi olmaktadır. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinde ortalama elektrik tüketimi 5.385.733 kWh/yıl'dır. Dokuma kumaş ön terbiye proseslerinden sonra sırayla dokuma kumaş baskı-boyama proseslerinde %30'luk ve dokuma kumaş son terbiye proseslerinde %25'lik elektrik tüketimi gerçekleşmektedir. Dokuma kumaş baskı-boyama proseslerinde ortalama elektrik tüketimi 4.592.675 kWh/yıl'dır. Dokuma kumaş son terbiye proseslerinin ortalama elektrik tüketimi 3.835.303 kWh/yıl'dır.

Örgü kumaş üretim proseslerinde elektrik tüketimi en fazla örgü kumaş son terbiye proseslerinde gerçekleşmektedir. Örgü kumaş son terbiye proseslerinde %7'lik elektrik tüketimi olmaktadır. Örgü kumaş son terbiye prosesinde ortalama elektrik tüketimi 1.161.103 kWh/yıl'dır. Örgü kumaş son terbiye proseslerinden sonra örgü kumaş ön terbiye proseslerinde %2'lik elektrik tüketimi gerçekleşmektedir. Örgü kumaş ön terbiye proseslerinin ortalama elektrik tüketimi 286.973 kWh/yıl'dır. Elektrik tüketimi en az %1'lik tüketim ile örgü kumaş boyama proseslerindedir. Örgü kumaş boyama proseslerinin ortalama elektrik tüketimi 106.141 kWh/yıl'dır.

Tesisin elektrik tüketime bağlı karbon ayak izini hesaplamak için Tier 2 yöntemi kullanılmıştır. Tier 2 yönteminin kullanılmasının sebebi elektrik enerjisinin ikincil kaynak olması ve ülkeye ait emisyon faktörünün bulunmasıdır. Ayrıca IPCC

kılavuzunda güncel elektrik tüketimi için ülke bazlı emisyon faktörü olmadığı için Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından belirlenen değer kullanılmıştır. Tesisten elde edilen elektrik tüketim miktarları ile IEA emisyon faktörü çarpılmıştır. Emisyon faktörü değeri 0,478 kg CO_{2e}/kWh'tir. Hesaplanan karbon ayak izini üretim miktarına bölerek spesifik karbon ayak izi bulunmuştur. Elektrik tüketiminin karbon ayak izi Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Toplam elektrik tüketiminin ortalama karbon ayak izi 0,619 kg CO_{2e}/kg ürün'dür. Elektrik tüketiminin karbon ayak izi proses bazlı incelendiğinde en yüksek örgü kumaş proseslerinde olduğu bulunmuştur. Örgü kumaş üretimin proseslerinden en yüksek ortalama karbon ayak izi örgü kumaş son terbiye prosesine aittir. Örgü kumaş son terbiye prosesinin elektrik tüketiminden kaynaklı ortalama karbon ayak izi 0,490 kg CO_{2e}/kg ürün'dür. Elektrik tüketimi kaynaklı karbon ayak izi örgü kumaş son terbiye prosesinden sonra sırasıyla örgü kumaş ön terbiye ve örgü kumaş baskı-boyama proseslerinde oluşmaktadır. Örgü kumaş ön terbiye prosesinin elektrik tüketiminin ortalama karbon ayak izi 0,118 kg CO_{2e}/kg ürün'dür. Örgü kumaş baskı-boyama prosesinin elektrik tüketiminin ortalama karbon ayak izi 0,044 kg CO_{2e}/kg ürün'dür. Örgü kumaş son terbiye prosesinin karbon ayak izinin daha yüksek olmasının sebebi elektrik tüketimi ve proseslere giren ürün miktarı diğer örgü kumaş proseslerine göre daha fazla olmasıdır.

Dokuma kumaş proseslerinin elektrik tüketimi kaynaklı karbon ayak izleri en fazla dokuma kumaş ön terbiye prosesinde olduğu bulunmuştur. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinin elektrik tüketiminin ortalama karbon ayak izi 0,151 kg CO_{2e}/kg ürün'dür. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinden sonra sırasıyla dokuma kumaş baskı-boyama ve dokuma kumaş son terbiye prosesi gelmektedir. Dokuma kumaş baskı-boyama prosesinin elektrik tüketiminin ortalama karbon ayak izi 0,144 kg CO_{2e}/kg ürün'dür. Dokuma kumaş son terbiye prosesinin elektrik tüketimi kaynaklı ortalama karbon ayak izi 0,108 kg CO_{2e}/kg ürün'dür. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinin ortalama karbon ayak izinin yüksek olmasının sebebi elektrik tüketiminin daha fazla olmasıdır.

Toplam örgü kumaş terbiye ve boyama proseslerinin elektrik tüketimi yüksektir. Proseslerdeki elektrik tüketimi karbon ayak izini etkilemektedir. Örgü kumaş

proseslerinde 1 kg ürün üretiminde ortalama 1,28 kWh elektrik tüketilmektedir. Dokuma kumaş proseslerinin 1 kg ürün üretiminde ortalama 0,81 kWh elektrik tüketilmektedir. Örgü kumaş prosesleri yarı kesikli prosesler ve dokuma kumaş prosesleri devamlı prosesler olarak tanımlanmaktadır. Dokuma kumaş proseslerinde baskı işlemi yapılmaktadır. Devamlı proseslerde birim ürün başına elektrik tüketimi daha az olmaktadır. Bu yüzden örgü kumaş proseslerinde birim ürün başına karbon ayak izi daha yüksektir.



Çizelge 4.3. Tesisin elektrik tüketimi için karbon ayak izi değerleri (2015-2017 verileri)

Prosesler	Ortalama üretim miktarları (min.-maks.) (kg/yıl)	Ortalama elektrik tüketimi miktarları (min.-maks.) (kWh/yıl)	Ortalama karbon ayak izi miktarları (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)
Dokuma kumaş ön terbiye	16.990.778 (16.487.089-17.291.701)	5.385.733 (5.130.265-5.580.340)	0,151 (0,149-0,154)
Dokuma kumaşbaskı-boyama	15.261.166 (14.905.005-15.514.187)	4.592.675 (4.466.632-4.838.194)	0,144 (0,139-0,149)
Dokuma kumaş son terbiye	1.990.778 (16.487.089-17.291.701)	3.835.303 (3.505.481-4.178.723)	0,108 (0,097-0,121)
Örgü kumaş ön terbiye	1.213.934 (820.536-1.475.396)	286.973 (252.610-306.595)	0,118 (0,099-0,147)
Örgü kumaş boyama	1.213.934 (820.536-1.475.396)	106.141 (93.431-113.398)	0,044 (0,037-0,054)
Örgü kumaş son terbiye	1.213.934 (820.536-1.475.396)	1.161.103 (1.108.520-1.200.602)	0,490 (0,359-0,684)
Yardımcı prosesler/proses dışı alanlar ¹	18.204.712 (17.307.625-18.668.941)	4.634.021 (4.509.142-4.724.327)	0,122 (0,115-0,130)
Kayıplar ²	18.204.712 (17.307.625-18.668.941)	3.546.445 (3.450.874-3.615.556)	0,093 (0,088-0,100)
Toplam	18.204.712 (17.307.625-18.668.941)	23.548.393 (22.913.802-24.007.293)	0,619 (0,587-0,663)

¹Yardımcı prosesler/proses dışı alanlar boya mutfakları, laboratuvar, evsel kullanımlar, ekipmanları kapsamaktadır. ²Kayıplar ifadesi ile trafodan ve makinelerden kaynaklı kayıp miktarları ifade edilmektedir.

4.2.3. Tesisin buhar tüketimi ve buhar kaynaklı karbon ayak izi analizi

Tesiste buhar üretimi olmamaktadır. Buhar bir enerji santralinden temin edilmektedir. Tesise kullanılmak üzere ortalama (2015-2017) 276.146 ton/yıl buhar enerjisi temin edilmektedir. Tesiste buhar ön terbiye, baskı-boyama ve son terbiye proseslerinde tüketilmektedir. Buhar tüketimi en fazla dokuma kumaş üretim proseslerinde olmaktadır. Buhar tüketimi en fazla dokuma kumaş ön terbiye proseslerinde gerçekleşmektedir. Dokuma kumaş ön terbiye proseslerinde %41'lik buhar tüketimi gerçekleşmektedir. Dokuma kumaş ön terbiye proseslerinde buhar tüketimi 112.504 ton/yıl'dır. Dokuma kumaş ön terbiye proseslerini sırasıyla dokuma kumaş baskı-boyama ve dokuma kumaş son terbiye prosesleri takip etmektedir. Dokuma kumaş baskı-boyama proseslerinde %36'lık buhar tüketimi gerçekleşmektedir. Dokuma kumaş baskı-boyama proseslerinin buhar tüketimi 99.941 ton/yıl'dır. Dokuma kumaş son terbiye proseslerinde buhar tüketimi ise %14'lük bir paya sahiptir. Dokuma kumaş son terbiye proseslerinin buhar tüketimi 38.145 ton/yıl'dır.

Örgü kumaş üretim proseslerinde en fazla buhar tüketimi apre bitim proseslerinde olmaktadır. Örgü kumaş apre bitim proseslerinde ortalama buhar tüketimi 16.760 ton/yıl'dır. Bu değer toplam buhar tüketiminin %6'lık kısmını oluşturmaktadır. Örgü kumaş apre bitim prosesinden sonra sırasıyla örgü kumaş boyama ve örgü kumaş ön terbiye prosesleri gelmektedir. Örgü kumaş boyama proseslerindeki buhar tüketimi %2'lik bir paya sahiptir. Örgü kumaş proseslerinde ortalama buhar tüketimi 5.146 ton/yıl'dır. Örgü kumaş ön terbiye proseslerinin ortalama buhar tüketimi %1'lik bir kısım ile en az buhar tüketimine sahiptir. Örgü kumaş ön terbiye proseslerinde ortalama buhar tüketimi 3.652 ton/yıl'dır. Örgü kumaş ön terbiye proseslerindeki üretim miktarının diğer proseslere göre çok düşük olması buhar tüketimini etkilemektedir.

Tesiste buhar tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi için Tier 2 yöntemi kullanılmıştır. Bu hesaplamada ilk önce buhar tüketimi elektrik enerjisi tüketimine dönüştürülmüştür. Elektrik tüketiminde kullanılan emisyon faktörü kullanılmıştır. Buna göre buhar tüketiminin karbon ayak izi hesaplanmıştır. Buhar tüketiminin ortalama karbon ayak izi 6,045 kg CO₂e/kg ürün'dür. Buhar tüketiminin karbon ayak izi proses bazlı incelendiğinde en yüksek dokuma kumaş proseslerinde olduğu

bulunmuştur. Dokuma kumaş proseslerinden en yüksek ortalama karbon ayak izi dokuma kumaş ön terbiye prosesine aittir. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinin buhar tüketiminden kaynaklı ortalama karbon ayak izi 2,209 kg CO₂e/kg ürün'dür. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinden sonra sırasıyla dokuma kumaş baskı-boyama ve dokuma kumaş son terbiye proseslerinde oluşmaktadır. Dokuma kumaş baskı-boyama prosesinin buhar tüketiminin ortalama karbon ayak izi 2,183 kg CO₂e/kg ürün'dür. Dokuma kumaş son terbiye prosesinin buhar tüketiminin ortalama karbon ayak izi 1,729 kg CO₂e/kg ürün'dür.

Örgü kumaş proseslerinde en yüksek buhar tüketimi kaynaklı karbon ayak izi apre-bitim prosesinde olduğu bulunmuştur. Örgü kumaş apre-bitim prosesinin buhar tüketiminin karbon ayak izi 5,939 kg CO₂e/kg ürün'dür. Örgü kumaş boyama prosesinin karbon ayak izi 1,476 kg CO₂e/kg ürün'dür. Örgü kumaş proseslerinde en düşük karbon ayak izi ise ön terbiye prosesinde olduğu bulunmuştur. Örgü kumaş ön terbiye prosesinin karbon ayak izi 1,047 kg CO₂e/kg ürün'dür. Örgü apre-bitim prosesinin en yüksek olmasının sebebi üretim ve buhar tüketim miktarlarının diğer örgü kumaş proseslerine göre yüksek olmasıdır.

Örgü kumaş prosesleri kesikli proseslerdir. Dolayısıyla kısa proseslerden oluşmaktadır. Örgü kumaş proseslerinde kapalı buhar sistemi kullanılmaktadır. Bu yüzden buhar tüketimi az olmaktadır. Dokuma kumaş proseslerinde örgü kumaş proseslerine göre buhar tüketimi daha fazla olmaktadır. Dokuma kumaş proseslerinin bazılarında kapalı buhar sistemi bazı proseslerde yarı açık buhar sistemi kullanılmaktadır. Dokuma kumaş proseslerinde daha yüksek üretimden ve proseslerin uzunluğundan dolayı buhar tüketimi de yüksek olmaktadır. Ancak örgü kumaş proseslerinde üretim miktarına göre buhar tüketiminin yüksek olmasına bağlı olarak birim ürün başına karbon ayak izi daha yüksek olmaktadır. Çizelge 4.4'de buhar tüketiminin karbon ayak izi gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Tesisin buhar tüketiminin karbon ayak izi değerleri (2015-2017 verileri)

Prosesler	Ortalama üretim miktarları (min.-maks.) (kg/yıl)	Ortalama buhar tüketimi miktarları (min.-maks.) (ton/yıl)	Ortalama karbon ayak izi miktarları (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)
Dokuma kumaş ön terbiye	16.990.778 (16.487.089-17.291.701)	112.504 (110.251-115.361)	2,209 (2,127-2,264)
Dokuma kumaş baskı-boyama	15.261.166 (14.905.005-15.514.187)	99.941 (93.079-103.855)	2,183 (2,083-2,234)
Dokuma kumaş son terbiye	1.990.778 (16.487.089-17.291.701)	87.961 (81.637-92.592)	1,729 (1,584-1,873))
Örgü kumaş ön terbiye	1.213.934 (820.536-1.475.396)	3.652 (3.212-3.919)	1,047 (0,865-1,306)
Örgü kumaş baskı-boyama	1.213.934 (820.536-1.475.396)	5.146 (4.527-5.522)	1,476 (1,218-1,840)
Örgü kumaş son terbiye	1.213.934 (820.536-1.475.396)	20.103 (19.398-20.760)	5,939 (4,385-8,439)
Toplam	18.204.712 (17.307.625-18.668.941)	329.306 (318.688-336.846)	6,045 (5,694-6,492)

4.2.4. Tesisin toplam karbon ayak izi

Tesisin üretimden kaynaklı toplam karbon ayak izini doğal gaz, elektrik ve buhar tüketimleri oluşturmaktadır. Proses bazlı tüketimlerden kaynaklı karbon ayak izi Çizelge 4.5'te gösterilmiştir. Doğal gaz, elektrik ve buhar enerjilerinin 1 kg üründe ortalama karbon ayak izi 7,011 kg CO₂e/kg ürün'dür. Bu üç kaynağın 1 kg üründeki ortalama toplam karbon ayak izinin en yüksek örgü kumaş son terbiye proseslerinde olduğu bulunmuştur. Örgü kumaş son terbiye prosesinin toplam karbon ayak izi 6,429 kg CO₂e/kg ürün'dür. Örgü kumaş son terbiye prosesinden sonra ikinci olarak en yüksek karbon ayak izi dokuma kumaş ön terbiye prosesine aittir. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinin toplam karbon ayak izi 2,530 kg CO₂e/kg ürün'dür. Dokuma kumaş ön terbiye prosesinden sonra toplam karbon ayak izleri sırasıyla dokuma kumaş baskı-boyama, örgü kumaş boyama, örgü kumaş ön terbiye, dokuma kumaş son terbiye prosesi gelmektedir. Dokuma kumaş baskı-boyama prosesinin toplam karbon ayak izi 2,454 kg CO₂e/kg ürün'dür. Örgü kumaş proseslerinde toplam karbon ayak izi en düşük örgü kumaş ön terbiye prosesine aittir. Örgü kumaş ön terbiye prosesinin ortalama toplam karbon ayak izi 1,165 kg CO₂e/kg ürün'dür.

Çizelge 4.5. Prosesler bazında toplam karbon ayak izi değerleri

Kaynaklar	Proses bazlı ortalama toplam karbon ayak izi (kg CO ₂ e/kg ürün) (min.-maks.)			
	Doğal gaz	Elektrik	Buhar	Toplam
Dokuma kumaş ön terbiye	0,169 (0,155-0,196)	0,151 (0,149-0,154)	2,209 (2,127-2,264)	2,530 (2,430-2,614)
Dokuma kumaş baskı-boyama	0,127 (0,104-0,149)	0,144 (0,139-0,149)	2,183 (2,083-2,234)	2,454 (2,326-2,532)
Dokuma kumaş son terbiye	0,063 (0,053-0,081)	0,108 (0,097-0,121)	0,750 (0,702-0,835)	1,900 (1,734-2,075)
Örgü kumaş ön terbiye	- ¹	0,118 (0,099-0,147)	1,047 (0,865-1,306)	1,165 (0,964-1,453)
Örgü kumaş boyama	- ¹	0,044 (0,037-0,054)	1,476 (1,218-1,840)	1,519 (1,255-1,895)
Örgü kumaş son terbiye	- ¹	0,490 (0,359-0,684)	5,939 (4,385-8,439)	6,429 (4,745-9,123)
Yardımcı prosesler	- ¹	0,122 (0,115-0,130)	- ¹	0,122 (0,115-0,130)
Kayıplar	- ¹	0,093 (0,088-0,100)	- ¹	0,093 (0,088-0,100)
Toplam	0,347 (0,303-0,388)	0,619 (0,587-0,663)	6,045 (5,694-6,492)	7,011 (6,583-7,542)

¹Doğrudan bir tüketim bulunmamaktadır.

Tesisin toplam karbon ayak izi diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Yan vd. (2016) çalışmalarında 4 çeşit pamuklu ürünün karbon ayak izini incelemiştir. Pamuklu 4 çeşit kumaşın karbon ayak izi şu şekildedir; iplik boyalı kumaşın 7,35 kg CO₂e/kg ürün, açık renkli 4,49 kg CO₂e/kg ürün, orta renkli 4,47 kg CO₂e/kg ürün, koyu renkli 5,32 kg CO₂e/kg ürün olarak bulmuşlardır. Yünün karbon ayak izi 14,07 kg CO₂e/kg ürün ve yün-polyester karışımli kumaşın karbon ayak izi 13,55 kg CO₂e/kg ürün olarak hesaplamışlardır. Pamuk-polyester karışımli kumaşların boyama türlerine göre karbon ayak izleri şöyledir; iplik boyalı kumaş 8,80 kg CO₂e/kg ürün, açık renkli 5,19 kg CO₂e/kg ürün, orta renkli 5,17 kg CO₂e/kg, koyu renkli 6,04 kg CO₂e/kg olarak bulmuşlardır. Bu tez çalışmasında hesaplanan toplam karbon ayak izi ise 7,011 kg CO₂e/kg ürün'dür.

4.3. Belirlenen Nihai MET'lerin Uygulanmasından Sonra Su ve Karbon Ayak İzlerindeki Değişimler

Tesiste yürütülen temiz üretim projesi (3170583 numaralı TÜBİTAK TEYDEB 1501 Projesi) kapsamında başlangıç MET listesi hazırlanmıştır. Müteakiben, araştırma grubu dahilinde başka bir yüksek lisans tezi kapsamında (Şimşek, 2019), başlangıç MET listesi PROMETHEE, TOPSIS, VIKOR, ARAS, ve COPRAS ÇÖKVM ile belirlenen 40 kritere göre değerlendirilerek, nihai MET listesi (tesis özelinde toplam 32 MET) belirlenmiştir. ÇÖKVM ile ilgili yapılan çalışmaların detayları Şimşek (2019) referansında bulunmaktadır. Şimşek (2019) çalışmasında toplam 32 MET'in 21 tanesinin sağladığı tasarruflar/azalmalar hesaplanmıştır. Çünkü su ve enerji tüketimlerinde sadece 21 MET tasarruf/azalmalar sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında ise nihai 21 MET'in uygulanmasından sonra sağlanacak tahmini su ve karbon ayak izlerinin tasarruf miktarları incelenmiştir. Belirlenen nihai MET listesinin tesiste uygulanması ile sağlanacak tahmini tasarruflar/azalmalar Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Tesiste en yüksek su tasarrufunun MET 20-21'in uygulanması durumunda sağlanacağı bulunmuştur. Tesiste MET 20-21'in uygulanması durumunda ortalama 856.217 m³/yıl su tasarrufu sağlanabilir. Tesiste MET 17-19 ve MET 10'un uygulanması durumunda ise tesisin toplam su tüketiminde sırasıyla 653.832 m³/yıl ve 121.628 m³/yıl azalmalar sağlanabileceği bulunmuştur. Yüksek su tasarrufu sağlayan bu MET'ler (MET 10, MET 17-19, MET 20-21) aynı zamanda su ayak izinin azaltılmasında en etkili olan MET'lerdir. MET 10, MET 17-19, MET 20-21'in tesiste uygulanması durumunda tesisin toplam ortalama su ayak izinde sırasıya 7, 36 ve 47 m³/ton ürün arasında azalmalar sağlanacağı bulunmuştur. Bu MET'ler ve diğer nihai MET'lerle tesisin toplam su ayak izinde sağlanacak azalmalar Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Elektrik enerjisinde en yüksek azalmanın MET 1-3'in uygulanmasıyla sağlanacağı görülmüştür. Tesiste MET 1-3 uygulaması ile elektrik tüketiminde ortalama 706.452 kWh/yıl azalma sağlanacağı bulunmuştur. Benzer şekilde tesiste MET 6'nın uygulanmasıyla toplam elektrik tüketiminde ortalama 695.104 kWh/yıl azalma sağlanacağı hesaplanmıştır. Tesiste MET 10'un uygulanması durumunda ise toplam elektrik tüketiminde ortalama 217.687 kWh/yıl azalma sağlanacağı görülmüştür.

Tesiste MET 1-3, MET 6 ve MET 10'un uygulanması durumunda toplam karbon ayak izindeki azalmalar sırasıyla ortalama 0,019, 0,018 ve 0,005 kg CO₂e/kg ürün olarak bulunmuştur. Bu MET'ler ve diğer nihai MET'lerle tesisin toplam karbon ayak izinde sağlanacak azalmalar Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Tesiste toplam buhar tüketiminde ise en yüksek azalmalar MET 5, MET 10, ve MET 1-3'ün uygulanması durumunda sağlanacağı bulunmuştur. Tesiste MET 5'in uygulanması durumunda toplam buhar tüketiminde ortalama 19.758 ton/yıl azalma sağlanabilecektir. MET 10'un uygulanması durumunda ise tesisin toplam buhar tüketiminde ortalama 18.018 ton/yıl azalma sağlanacağı hesaplanmıştır. Tesiste MET 1-3'ün uygulanmasıyla da toplam buhar tüketiminde ortalama 9.879 ton/yıl azalma sağlanabileceği bulunmuştur. Tesiste MET 5, MET 10 ve MET 1-3'ün uygulanması durumunda toplam karbon ayak izindeki azalmalar sırasıyla ortalama 0,362 , 0,330 ve 0,181 kg CO₂e/kg ürün olarak bulunmuştur. Bu MET'ler ve diğer nihai MET'lerle tesisin toplam karbon ayak izinde sağlanacak azalmalar Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Tesiste toplam doğal gaz tüketiminde en yüksek azalmaların MET 7-8, MET 1-3 ve MET 5'in uygulanmasıyla sağlanacağı görülmüştür. Buna göre MET 7-8'in tesiste uygulanması durumunda toplam doğal gaz tüketiminde ortalama 317.601 Sm³/yıl azalma sağlanacağı bulunmuştur. Tesiste MET 1-3'ün uygulanması durumunda toplam doğal gaz tüketiminde ortalama 90.147 Sm³/yıl azalma sağlanacağı hesaplanmıştır. MET 5'in uygulanması durumunda ise toplam doğal gaz tüketiminde ortalama 90.147 Sm³/yıl azalma sağlanacağı görülmüştür. Buna göre tesiste MET 7-8, MET 1-3 ve MET 5'in uygulanmasıyla toplam karbon ayak izinde sırasıyla ortalama 0,034, 0,010 ve 0,010 kg CO₂e/kg ürün azalmalar sağlanacağı bulunmuştur. Bu MET'ler ve diğer nihai MET'lerle tesisin toplam karbon ayak izinde sağlanacak azalmalar Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Tesiste MET uygulamaları sonrası tahmin edilen tasarruflar, su ayak izi ve karbon ayak izi değerleri

MET No	Belirlenen MET'ler	Tahmini ortalama su tasarrufu (min.-maks.) (m ³ /yıl)	Tahmini ortalama elektrik tasarrufu (min.-maks.) (kWh/yıl)	Tahmini ortalama buhar tasarrufu (min.-maks.) (ton/yıl)	Tahmini ortalama doğal gaz tasarrufu (min.-maks.) (Sm ³ /yıl)	Mevcut su ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (m ³ /ton ürün)	Mevcut elektrik tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut buhar tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut doğal gaz tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut toplam karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)
MET 1	Boyahane-laboratuvar koordinasyonun iyileştirilmesi	61.297 (59.414-64.091)	706.452 (687.414-720.219)	9.879 (9.561-10.105)	90.147 (81.101-103.162)	3 (3-4)	0,019 (0,018-0,020)	0,181 (0,171-0,195)	0,010 (0,008-0,012)	0,209 (0,197-0,226)
MET 2	Tesiste en sık kullanılan reçeteler başta olmak üzere reçetelerin optimize edilmesi									
MET 3	Kimyasal kullanımının şart olduğu durumlarda, en az risk taşıyan kimyasalın kullanılması (kimyasal değişimi)									
MET 4	Haşıl maddelerin ultrafiltrasyon (UF) ile geri kazanımı	28.322 (17.894-38.750)	- ¹	- ¹	- ¹	2 (1-2)	- ¹	- ¹	- ¹	- ¹

¹Tahmin edilen tasarruf/azalma ile ilgili MET yatırımı tesis özelinde değişeceğinden hesaplanamamıştır.

Çizelge 4.6. Tesiste MET uygulamaları sonrası tahmin edilen tasarruflar, su ayak izi ve karbon ayak izi değerleri (Devamı)

MET No	Belirlenen MET'ler	Tahmini ortalama su tasarrufu (min.-maks.) (m ³ /yıl)	Tahmini ortalama elektrik tasarrufu (min.-maks.) (kWh/yıl)	Tahmini ortalama buhar tasarrufu (min.-maks.) (ton/yıl)	Tahmini ortalama doğal gaz tasarrufu (min.-maks.) (Sm ³ /yıl)	Mevcut su ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (m ³ /ton ürün)	Mevcut elektrik tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut buhar tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut doğal gaz tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut toplam karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)
MET 5	Enerji kayıplarının en aza indirilmesi için, boru, vana ve tank izolasyonunun yapılması	- ¹	- ¹	19.758 (19.121-20.211)	90.147 (81.101-103.162)	- ¹	- ¹	0,362 (0,342-0,389)	0,010 (0,008-0,012)	0,372 (0,350-0,401)
MET 6	Yüksek ve daha düşük aydınlatma gereken tesis içi ünitelerde tesis aydınlatmasının optimizasyonu (lux optimizasyonu) yapılarak belirlenmesi. Aydınlatma gereksinimleri göz önünde bulundurularak aydınlatma sistemlerinin değiştirilmesi ya da optimize edilmesi. Tesis içi uygun alanlarda LED aydınlatma sistemlerinin kullanılması.	- ¹	695,104 (676.372-708.649)	- ¹	- ¹	- ¹	0,018 (0,017-0,020)	- ¹	- ¹	0,018 (0,017-0,020)

¹Tahmin edilen tasarruf/azalma ile ilgili MET yatırımı tesis özelinde değişeceğinden hesaplanamamıştır.

Çizelge 4.6. Tesiste MET uygulamaları sonrası tahmin edilen tasarruflar, su ayak izi ve karbon ayak izi değerleri (Devamı)

MET No	Belirlenen MET'ler	Tahmini ortalama su tasarrufu (min.-maks.) (m ³ /yıl)	Tahmini ortalama elektrik tasarrufu (min.-maks.) (kWh/yıl)	Tahmini ortalama buhar tasarrufu (min.-maks.) (ton/yıl)	Tahmini ortalama doğal gaz tasarrufu (min.-maks.) (Sm ³ /yıl)	Mevcut su ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (m ³ /ton ürün)	Mevcut elektrik tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut buhar tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut doğal gaz tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut toplam karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)
MET 7	Ön terbiye sonrası yıkamalarda vakumlu sıkma işleminin uygulanarak sıkma etkinliğinin artırılması	1 ¹	1 ¹	4.201 (3.919-4.483)	317.601 (289.643-345.559)	1 ¹	1 ¹	0,077 (0,070-0,086)	0,034 (0,030-0,039)	0,111 (0,100-0,125)
MET8	Ramözlerde kumaş nem içeriğinin izlenmesi ve ramöz geçiş hızının bu faktör dikkate alınarak optimize edilmesi ya da ayarlanması.	1 ¹	1 ¹	4.201 (3.919-4.483)	317.601 (289.643-345.559)	1 ¹	1 ¹	0,077 (0,070-0,086)	0,034 (0,030-0,039)	0,111 (0,100-0,125)
MET 9	Ön terbiye proseslerinde farklı işlemleri tek adımda birleştirme olanaklarının araştırılması. (Haşıl sökme/hidrofilleştirme ve ağartma vb.)	34.527 (21.207-45.926)	182.850 (155.700-216.966)	6.929 (6.774-7.084)	1 ¹	2 (1-3)	0,005 (0,004-0,006)	0,127 (0,121-0,137)	1 ¹	0,132 (0,125-0,143)

¹Tahmin edilen tasarruf/azalma ile ilgili MET yatırımı tesis özelinde değişeceğinden hesaplanamamıştır.

Çizelge 4.6. Tesiste MET uygulamaları sonrası tahmin edilen tasarruflar, su ayak izi ve karbon ayak izi değerleri (Devamı)

MET No	Belirlenen MET'ler	Tahmini ortalama su tasarrufu (min.-maks.) (m ³ /yıl)	Tahmini ortalama elektrik tasarrufu (min.-maks.) (kWh/yıl)	Tahmini ortalama buhar tasarrufu (min.-maks.) (ton/yıl)	Tahmini ortalama doğal gaz tasarrufu (min.-maks.) (Sm ³ /yıl)	Mevcut su ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (m ³ /ton ürün)	Mevcut elektrik tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut buhar tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut doğal gaz tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut toplam karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)
MET 10	Yüksek su tüketimine neden olan kontinü yıkama makinelerinde optimizasyon ve minimizasyon çalışmalarının yapılması.	121.628 (98.666-144.590)	217.687 (200.343-235.032)	18.018 (17.319-18.717)	1	7 (5-8)	0,006 (0,005-0,006)	0,330 (0,309-0,361)	1	0,336 (0,315-0,367)
MET 11	Su yumuşatma sisteminin optimize edilmesi.	93.375 (90.976-94.979)	1	1	1	5 (5-5)	1	1	1	1

¹Tahmin edilen tasarruf/azalma ile ilgili MET yatırımı tesis özelinde değişeceğinden hesaplanamamıştır.

Çizelge 4.6. Tesiste MET uygulamaları sonrası tahmin edilen tasarruf, su ayak izi ve karbon ayak izi değerleri (Devamı)

MET No	Belirlenen MET'ler	Tahmini ortalama su tasarrufu (min.-maks.) (m ³ /yıl)	Tahmini ortalama elektrik tasarrufu (min.-maks.) (kWh/yıl)	Tahmini ortalama buhar tasarrufu (min.-maks.) (ton/yıl)	Tahmini ortalama doğal gaz tasarrufu (min.-maks.) (Sm ³ /yıl)	Mevcut su ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (m ³ /ton ürün)	Mevcut elektrik tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut buhar tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut doğal gaz tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut toplam karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)
MET 12	Uygun atıksu akımlarının aynı proseslerde arıtılmadan geri kullanımı	70.250 (59.643-80.857)	1	1	1	4 (3-5)	1	1	1	1
MET 13	Kumaş boyamada en son yapılan durulamada oluşan atıksuların arıtılmadan geri kullanılması.									
MET 14	Durulama suyunun arıtılmadan teknik olarak mümkün olan proseslerde geri kullanılması.									
MET 15	Nisbeten temiz yıkama/durulama kaynaklı atıksuların temizlik amaçlı kullanımının değerlendirilmesi.									
MET 16	Atıksu akımlarından arıtılmadan su geri kazanımı uygulamalarıyla mümkün olduğunca kimyasal geri kazanımı da sağlanması.									

¹Tahmin edilen tasarruf/azalma ile ilgili MET yatırımı tesis özelinde değişeceğinden hesaplanamamıştır.

Çizelge 4.6. Tesiste MET uygulamaları sonrası tahmin edilen tasarruf, su ayak izi ve karbon ayak izi değerleri (Devamı)

MET No	Belirlenen MET'ler	Tahmini ortalama su tasarrufu (min.-maks.) (m ³ /yıl)	Tahmini ortalama elektrik tasarrufu (min.-maks.) (kWh/yıl)	Tahmini ortalama buhar tasarrufu (min.-maks.) (ton/yıl)	Tahmini ortalama doğal gaz tasarrufu (min.-maks.) (Sm ³ /yıl)	Mevcut su ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (m ³ /ton ürün)	Mevcut elektrik tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut buhar tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut doğal gaz tüketiminin karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Mevcut toplam karbon ayak izindeki tahmini ortalama azalma (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)
MET 17	Uygun atıksu akımlarının arıtıldıktan sonra proses suyu olarak geri kullanımı	653.832 (638.992-668.672)	1	1	1	36 (34-39)	1	1	1	1
MET 18	Durulma suyunun benzer atıksu akımları ile birleştirilip arıtıldıktan sonra proses suyu olarak geri kullanılması.									
MET 19	Uygun atıksu akımlarının birleştirilip UF/NF ya da RO prosesleriyle arıtılıp proses suyu olarak geri kullanımı									
MET 20	Kompozit atıksuların MBR+NF/RO ile arıtımı ve proses suyu olarak geri kullanımı	856.217 (825.815-897.575)	1	1	1	47 (44-52)	1	1	1	1
MET 21	Biyolojik atıksu arıtma tesisi çıkışında arıtılmış atıksuyun Zorlu Enerjide bulunan membran tesisinde arıtılarak proses suyu olarak geri kullanımı (bu sistem pasif durumda ise aktif hale getirilmesi)									

¹Tahmin edilen tasarruf/azalma ile ilgili MET yatırımı tesis özelinde değişeceğinden hesaplanamamıştır.

Tesis özelinde belirlenen nihai MET'lerin uygulanmasından sonra toplam azalma miktarlarının, su ayak izi ve karbon ayak izinde toplam azalmaların doğrudan hesaplanması mümkün değildir. Bunun nedeni bazı MET'ler ile (özellikle MET 12-21 arası) sağlanacak azalmaların birbirini içermesi/kapsamasıdır. Örneğin MET 12-16 arasındaki nihai MET'ler genellikle proses atıksularının arıtılmadan geri kullanımını içermektedir. MET 17-19 arasındaki nihai MET'ler ise proses atıksularının arıtıldıktan sonra geri kullanımını içermektedir. MET 20-21 ise tüm boru-sonu kompozit atıksuların arıtıldıktan sonra proses suyu olarak geri kullanımını içermektedir. Bu durumda MET 20-21; MET 12-16 ve MET 17-19 arasındaki nihai MET'ler ile sağlanacak azalmaları zaten içermektedir. Aynı şekilde MET 17-19 arasındaki MET'lerin bir kısmı da MET 12-16 arasında sunulan MET'ler ile sağlanacak azalmaları kapsamaktadır. Bu nedenle yukarıda ifade edilen durum göz önünde bulundurularak temel 3 senaryo oluşturulmuş ve bu senaryolara göre toplam tasarruf (su, elektrik, buhar ve doğal gaz için), su ve karbon ayak izlerindeki toplam azalmalar ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hazırlanan senaryolar aşağıda tanımlanmıştır.

- **Senaryo 1:** Tesiste MET 1-11 ve MET 12-16 arasındaki MET'lerin uygulanması durumu: bu senaryoda MET 1-11 arasındaki MET'lerin ve sadece proses atıksularının arıtılmadan geri kullanımına yönelik MET'lerin (MET 12-16) uygulanacağı esas alınmıştır.
- **Senaryo 2:** Tesiste MET 1-11 ve MET 17-19 arasındaki MET'lerin uygulanması durumu: bu senaryoda MET 1-11 arasındaki MET'lerin ve sadece proses atıksularının arıtıldıktan sonra geri kullanımına yönelik MET'lerin (MET 17-19) uygulanacağı esas alınmıştır.
- **Senaryo 3:** Tesiste MET 1-11 ve MET 20-21 arasındaki MET'lerin uygulanması durumu: bu senaryoda MET 1-11 arasındaki MET'lerin ve sadece boru-sonu kompozit atıksuların arıtıldıktan sonra proses suyu olarak geri kullanımına yönelik MET'lerin (MET 20-21) uygulanacağı esas alınmıştır.

Tesiste Senaryo 1'in uygulanması durumunda toplam su tüketiminde ortalama 409.399 m³/yıl azalma sağlanacağı hesaplanmıştır. Ayrıca Senaryo 1'e göre toplam su ayak izinde ise ortalama 23 m³/ton ürün azalma sağlanacağı bulunmuştur. Bu durumda Senaryo 1'e göre tesisin toplam su ayak izi 118 m³/ton ürün'den 95 m³/ton ürün'e

düşecektir. Ayrıca Senaryo 1'e göre tesisin mevcut su ayak izinde ortalama %19 azalma sağlanacağı hesaplanmıştır.

Tesiste Senaryo 2'nin uygulanması durumunda toplam su tüketiminde ortalama 992.981 m³/yıl azalma sağlanacağı bulunmuştur. Tesisin toplam su ayak izinde Senaryo 2'nin uygulanması durumunda ortalama 55 m³/ton ürün azalma sağlanacağı hesaplanmıştır. Dolayısıyla Senaryo 2'ye göre tesisin toplam su ayak izi 118 m³/ton ürün'den %47 azalarak (55 m³/ton ürün) 63 m³/ton ürün'e düşecektir.

Tesiste Senaryo 3'ün uygulanması durumunda toplam su tüketiminde 1.195.366 m³/yıl azalma sağlanacağı hesaplanmıştır. Senaryo 3'ün uygulanması durumunda tesisin su ayak izi 66 m³/ton ürün azalarak (%56) 52 m³/ton ürün olacağı bulunmuştur. Bu hesaplamalarda uygulanacak yeni MET'lerin su ve karbon ayak izlerinde getireceği değişimler ihmal edilmiştir. Bunun nedeni bu MET'lerin uygulanmasında kullanılacak teknolojilerin (örneğin, membran prosesleri) ve boyutlarının tam olarak bilinmemesi ve tesis tarafından henüz seçilmemiş olmasıdır. Ayrıca belirlenen üç senaryoya göre enerji tüketimlerinde önemli bir değişiklik bulunmamaktadır. Atıksu geri kazanımı için uygulanacak ileri arıtma proseslerinin enerji tüketimleri mevcut üretim proseslerindeki toplam enerji tüketimlerine göre ihmal edilebilir seviyelerde olacaktır. Dolayısıyla enerji tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi değerlerinde de değişimler çok düşük seviyelerde olacaktır. Bunun nedeni toplam azalmaları hesaplamak üzere oluşturulan üç senaryonun daha çok su ayak izine yönelik tasarlanmış olmasıdır. Enerji tüketimine yönelik MET'lerin tamamının ise tesiste uygulanacağı kabul edilmiştir. Tanımlanan senaryolara göre su tüketiminde, enerji tüketiminde, su ayak izinde ve karbon ayak izinde sağlanacak azalmalar Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Senaryolara göre su ve karbon ayak izlerindeki azalmalar

Senaryolar	Ortalama su tasarrufu (min.-maks.) (m ³ /yıl)	Su ayak izinde azalma Ortalama (min.-maks.) (m ³ /ton ürün)	Tasarruf sonrası su ayak izi Ortalama (min.-maks.) (m ³ /ton ürün)	Toplam karbon ayak izinde azalmalar Ortalama (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)	Tasarruf sonrası karbon ayak izi Ortalama (min.-maks.) (kg CO ₂ e/kg ürün)- ¹
Senaryo 1	409.399 (347.620-469.191)	23 (19-27)	95 (91-99)	1,177 (1,104-1,282)	5,834 (5,729-5,907)
Senaryo 2	992.981 (926.969-1.057.007)	55 (50-61)	63 (57-68)	1,177 (1,104-1,282)	5,834 (5,729-5,907)
Senaryo 3	1.195.36 (1.113.792-1.285.910)	66 (60-74)	52 (44-58)	1,177 (1,104-1,282)	5,834 (5,729-5,907)

¹ Senaryolara göre karbon ayak izinde oluşacak değişimler ihmal edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında ağırlıklı olarak dokuma-örme kumaş baskı-boyaması ve apresi yapan bir tekstil işletmesinde su ve karbon ayak izleri incelenmiştir. Tesis özelinde su ve enerji tüketiminin azaltılmasında etkili olan toplam 21 MET önerisinin uygulanmasıyla mevcut su ve karbon ayak izlerindeki tahmini azalmalar hesaplanmıştır. Buna göre çalışılan tesisin toplam su ayak izi 2015-2017 yılları arasında ortalama 118 m³/ton ürün bulunmuştur. Tesisin toplam su ayak izinde özellikle yüksek su tüketimine sahip olan dokuma kumaş baskı-boyama.proseslerinin büyük oranda payı olduğu sonucuna erişilmiştir. Prosesler bazında su ayak izleri incelendiğinde ise en yüksek su ayak izi değerinin örgü kumaş son terbiye (68 m³/ton ürün) proseslerinde olduğu görülmüştür. Bunun nedeni örgü kumaş son terbiye proseslerinde diğer proseslere göre üretim miktarının az olmasına karşın yarı kesikli proseslerde son yıkama-durulama banyo sayısının fazla olması ve bazı durumlarda taşar yıkamalar yapılmasıdır.

Tesisin mevcut durumda (2015-2017 yılları) toplam karbon ayak izi 7,011 kg CO₂e/kg ürün bulunmuştur. Tesiste buhar tüketimine bağlı karbon ayak izi ortalama 6,045 kg CO₂e/kg ürün olarak hesaplanmıştır. Elektrik ve doğal gazın sırasıyla karbon ayak izleri 0,619 ve 0,347 kg CO₂e/kg ürün olarak bulunmuştur. Tesisin toplam karbon ayak izinin yaklaşık %85'ini buhar tüketimi kaynaklı karbon ayak izinin oluşturduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla tesiste buhar tüketiminin azaltılmasına yönelik MET'ler ile sağlanacak tasarruflar tesisin toplam karbon ayak izinin azaltılmasında oldukça etkili olacaktır. Elektrik tüketimi kaynaklı karbon ayak izinde en fazla tasarruf MET 1-3'ün uygulanması ile sağlanacağı bulunmuştur. Bu MET'lerin uygulanması ile elektrik kaynaklı karbon ayak izi 0,019 kg CO₂e/kg ürün olarak azalacaktır. Buhar tüketimi kaynaklı karbon ayak izi için MET 5'in uygulanması ile en fazla tasarruf sağlanacaktır. Bu MET'in uygulanması ile buhar kaynaklı karbon ayak izi 0,362 kg CO₂e/kg ürün olarak azalacaktır. Doğal gaz tüketimi kaynaklı karbon ayak izinde en fazla tasarruf sağlayan MET 7-8'in uygulanması ile 0,034 kg CO₂e/kg ürün azalma sağlayacaktır.

Su ve enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik tesise önerilen 21 MET önerisi su ve karbon ayak izleri açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken bazı MET önerilerinin iç içe girmesinden dolayı üç tane senaryo oluşturulmuştur. Senaryo

1'e göre tesisin mevcut toplam su ayak izinin ortalama 118 m³/ton ürün'den 95 m³/ton ürün'e düşebileceği hesaplanmıştır. Senaryo 2'ye göre tesisin toplam su ayak izinin ortalama 63 m³/ton ürün'e düşebileceği hesaplanmıştır. Senaryo 3'ün uygulanması ile tesisin toplam su ayak izinin 52 m³/ton ürün'e düşebileceği hesaplanmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen veriler ve deneyimler doğrultusunda ileride yapılacak benzer çalışmalarda da değerlendirilmek üzere ülkemizdeki ilgili kurum ve kuruluşlarla ülke bazlı emisyon faktörlerinin belirlenmesi ve paylaşılması faydalı olabilir. Ayrıca tesis özelinde değişmekle birlikte tesis dışından temin edilen enerji kaynakları için Tier 2 yöntemine göre ülke bazlı emisyon faktörlerinin hesaplamalara dahil edilmesi daha doğru bir yaklaşım olabilir. Endüstriyel tesislerde su ayak izi ve karbon ayak izi çalışmaları yapılarak ve bu değerler mevcut eş-zamanlı otomasyon/izleme sistemlerine adapte edilerek verimlilik açısından bir performans takibi de sağlanabilir. Gelecekte özellikle tekstil hammaddelerinin yetiştirilmesi/üretiminden son ürünün bertarafına kadar (beşikten-mezara) farklı lif türleri için su ve karbon ayak izlerinin hesaplandığı bilimsel çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Afşar, B., 2007. Sektör Raporu-Tekstil Sektör Raporu. Konya Ticaret Odası Etüd Araştırma Servisi Rapor No: 2007/609-569, 19s.
- Akkaya, M., 2011. Bor Minerallerinin Tekstil Terbiyesi Alanında Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Isparta.
- Alkaya, E., Demirer, G. N., 2015. Sectoral Assessment of The Turkish Textile Industry For The Diffusion of Sustainable Production Approach. The Journal of The Textile Institute, 106(11), 1212-1225.
- Alper, F., 2015. Sürdürülebilirlik Kavramı İçerisinde Su Ayak İzi: Tekstil Sektörü Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, İstanbul.
- Bahadır, E. B., 2012. Tekstil Endüstrisi Arıtılmış Atıksularında Renk ve Öncelikli Kirleticilerin Ozon Teknolojileri İle Gideriminin Araştırılması. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 140s, Tekirdağ.
- Bıyık, Y., 2018. Isparta İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, Isparta.
- Binboğa, G., Ünal, A., 2018. Sürdürülebilirlik Ekseninde Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin Karbon Ayak İzinin Hesaplanmasına Yönelik Bir Araştırma. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi,(21),187-202s.
- Bulut, F. B. 2011. Tekstil Endüstrisinde Atıksuların Entegre Membran Arıtma Sistemi ile Arıtımı ve Geri Kullanımı. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62s, Denizli.
- Central Basin Municipal Water District (CBMWD), 2003. Central Basin Municipal Water District. Erişim Tarihi: 16.05.2012. <http://www.centralbasin.org/en/>
- Cheah, L., Ciceri, N. D., Olivetti, E., Matsumura, S., Forterre, D., Roth, R., Kirchain, R., 2013. Manufacturing-Focused Emissions Reductions İn Footwear Production. Journal of Cleaner Production, 44, 18-29.
- Chico, D., Aldaya, M. M., & Garrido, A., 2013. A Water Footprint Assessment of A Pair of Jeans: The İnfluence of Agricultural Policies on The Sustainability of Consumer Products. Journal of Cleaner Production, 57, 238-248.
- Cılız, N., Daylan, B., Baydar, G., 2011. Temiz Üretim, Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları-II. ISBN: 978-975-6180-42-6, 30s, Ankara.
- Çavuşoğlu, B., 2015. Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Teknolojisi Uygulamaları. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 35s, Tekirdağ.

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), 2012. Tekstil Sanayi İçin MET Kılavuzu. IPPC Eşleştirme Projesi. Proje No: TR-08-IB-EN-03, 214s.
- Demirbaş, F., 2018. Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Kayseri.
- Demirel, Y. E., 2019. Entegre Bir Tekstil İşletmesinde Temiz Üretim Uygulamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 211s, Isparta.
- DSİ Genel Müdürlüğü, Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, İklim Değişikliği Birim, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 14. Taraflar Toplantısı (COP 14), Erişim Tarihi: 11.10.2019. <http://www.dsi.gov.tr/docs/iklim-degisikligi/cop13.pdf?sfvrsn=2>.
- Electricity Research Organization (EIE), 2004. Energy Management Principle for Industry. 2nd ed. I.: Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi, Ankara.
- Eraslan, İ.H., Bakan, İ., Kuyucu, A.D.H., 2008. Türk Tekstil ve Hazır Giyim Sektörünün Uluslararası Rekabetçilik Düzeyinin Analizi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 7(13), 265-300.
- Freitas, A., Zhang, G., Mathews, R., 2017. Water Footprint Assessment of Polyester and Viscose and Comparison to Cotton. Zug: C&A Foundation.
- Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y., & Van der Meer, T. H., 2009. The Water Footprint of Energy From Biomass: A Quantitative Assessment and Consequences of An Increasing Share of Bio-Energy In Energy Supply. Journal of Ecological Economics, 68(4), 1052-1060.
- Global Carbon Atlas, 2020. CO₂ Emissions. Erişim Tarihi: 10.05.2020. <http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas>.
- Hoekstra, A. Y., 2015. The Water Footprint: The Relation Between Human Consumption and Water Use. 35-48s.
- Hoekstra, A. Y., Chapagin A. K., Aldaya M. M., Mekonnen M. M., 2011. The Water Footprint Assessment Manual. Earthscan. Washington, 206.
- Hossain, L., 2017. Water Footprint Assessment of RMG Sector of Bangladesh, Bangladeş Mühendislik ve Teknoloji Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 122s, Dakka.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), 2006. IPCC Guidelines for National Gas Inventories Volume 2, Chapter 1. Intergovernmental Panel on Climate Change, Paris.

- IPPC BREF, 2003. European Commission (EC) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for the Textile Industry. EC IPPC Bureau, Seville, Spain, 747s.
- Jain, M. 2017. Ecological Approach to Reduce Carbon Footprint of Textile Industry. *International Journal of Applied Home Science*, 4(7/8), 623-633.
- Joa, B., Hottenroth, H., Jungmichel, N., & Schmidt, M., 2014. Introduction of a feasible performance indicator for corporate water accounting—a case study on the cotton textile chain. *Journal of cleaner production*, 82, 143-153.
- Kabacıoğlu, N., 2012. Sanayi Kuruluşlarında Sera Gazı Salınımları ve Sera Gazı Hesaplama Yöntemleri. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, Kocaeli.
- Kirchain, R., Olivetti, E., T Reed Miller, T., R., Greene, S., 2015. Sustainable Apparel Materials An Overview of What We Know And What Could Be Done About The Impact of Four Major Apparel Materials: Cotton, Polyester, Leather, & Rubber. 34.
- Kumar, S., Visvanathan, C., Priambodo, A., 1999. Energy and Environmental Indicators in the Thai Textile Industry. University of Technology Sydney (UTS), Australia and Asian Institute of Technology (AIT), Thailand.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y., 2011. National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption. Volume 2: appendices.
- Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP), 2011. Tekstil Teknolojisi: Kimyasal Lifler. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Rapor No: 542TGD564, 64s.
- Ministry of Industry and Trade (MOIT), 2010. Turkish industrial strategy document: Towards EU membership. Ankara. Retrieved from <http://www.sanayi.gov.tr/Files/Documents/TurkiyeSanayiStratejisiIngilizce.pdf>
- Naqvi, S. A., Arshad, M., Nadeem, F., 2018. Water Footprint Of Cotton Textile Processing Industries; A Case Study Of Punjab. *Asrjets journal*, 46 (1), 17-24.
- National Institute of Industrial Environment and Risks (INERIS, 2001). Institut National de L'environnement Industriel Et Des Risques, Supplement to the Metodology for Risk Evaluation of Biocides, Emission Scenario Document for Biocides Used as Preservatives in the Textile Processing Industry. Sciencific Reports: INERIS-DRC-01-25582-Ecot-Cti/VMI-n-01DR0176, 21s.
- Özsoy, E., 2015. Düşük Karbon Ekonomisi ve Türkiye'nin Karbon Ayak İzi. *Hak-İş Uluslararası Emek Ve Toplum Dergisi*, 4(9), 198-215.

- Öztürk, E., 2014. Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü ve Temiz Üretim Uygulamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 484s, Isparta.
- Öztürk, E., Yetis, U., Dilek, F.B., Demirer, G.N., 2009. A Chemical Substitution Study for A Wet Processing Textile Mill in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 17, 239-247.
- Palamutcu, S., Acar, G., Çon, A.H., Gültekin, T., Aktan, B., Selçuk, H. 2011. Innovative Self-cleaning and Antibacterial Cotton Textile: No Water and No Detergent for Cleaning. *Desalination and Water Treatment*, 26, 178-184.
- Pegram, G., Conyngham, S., Aksoy, A., Dıvrak, B. B., Öztok D., 2014. Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu. 66s.
- Rana, S., Pichandi, S., Karunamoorthy, S., Bhattacharyya, A., Parveen, S., 2015. Carbon Footprint of Textile and Clothing Products. Muthu, S. (Ed), *Handbook of Sustainable Apparel Production* CRC Press. 141-166.
- Rudenko, I., Bekchanov, M., Djanibekov, U., & Lamers, J. P. A., 2013. The Added Value of a Water Footprint Approach: Micro-and Macroeconomic Analysis of Cotton Production, Processing and Export in Water Bound Uzbekistan. *Global and planetary change*, 110, 143-151.
- Schönberger, H., Schafer, T., 2003. Best Available Techniques in Textile Industry. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Research Report No: UBA-FB 000325/e, 362s.
- Smith, B., Rucker, J., 1987. Water and Textile Wet Processing-Part I. *American Dyestuff Reporter*, July 1987, 15-23.
- Şahin, D. (2015). Türkiye ve Çin'in Tekstil ve Hazır Giyim Sektöründe Rekabet Gücünün Analizi. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, (47), 155-171.
- Şimşek, E., 2019. Temiz Üretim Uygulamalarında Çok Ölçütlü Karar Verme Metotlarıyla Mevcut En İyi Tekniklerin Belirlenmesi: Tekstil Sektörü Uygulaması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 211s, Isparta.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2008. Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları ve Diğer Uluslararası Emisyon Ticareti Sistemleri.
- T.C. Dışişleri Bakanlığı (DB), 2019. Erişim Tarihi: 11.09.2019. <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSİB), 2017. II. Ormancılık ve Su Şurası. 480s.

- Toröz, A.S., 2015. Gemi Kaynaklı Atıkları Alan Bir Atık Kabul Tesisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 135s, İstanbul.
- Tubtimhin, S., 2002. Pollution Minimization and Energy Saving Potentials in the Cotton Dyeing Industry. Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development, M.Sc. Thesis, 174s, Thailand.
- Turan, E.S., 2017. Türkiye'nin Su Ayak İzi Değerlendirmesi. Türk Hijyen Ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 74(1), 55-62.
- Türker, C., 2013. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Yardımcı Kimyasalları Taşıyan Ayrık Akımların Arıtılabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, İstanbul.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2017. Sera Gazı Emisyon İstatistikleri. Erişim Tarihi: 07.05.2020. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24588>
- Türkiye Sürdürülebilir Kalkınma Raporu (TSKR), 2012. Geleceği Sahiplenmek Sürdürülebilir Kalkınma En İyi Uygulama Örnekleri. Kalkınma Bakanlığı, Haziran 2012, ISBN 978-605-4667-12-3, 76s.
- Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), 2016. Energy Policies of Countries-Turkey.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 2010. Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking An Energy Policy Tool Working Paper. UNIDO, November-2010, 58s.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1979. Development Document for Effluent Limitations Guidelines and Standards for Textile Mills, Environmental Pollution Control in Textile Processing Industry. USEPA, Washington, DC.
- URS, 2012. Review of Data on Embodied Water in Clothing Summary Report. Rapor No: 49352469, 55s.
- Üçüncü, O., 2016. Türkiye'de HES'lerin son durumu: Teknik, çevre siyaseti ve çevre hukuku açısından bir değerlendirme, sayfa 252-269, Uluslararası Enerji ve Mühendislik Konferansı, 13-14 Ekim 2016, Gaziantep, Gaziantep Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 835 s.
- Visvanathan, C., Kumar, S., Han, S., 2000. Cleaner Production in Textile Sector: Asian Scenario. National Workshop on Sustainable Industrial Development through Cleaner Production, 13-14 November, Colombo, Sri Lanka.
- Wang, C., Wang, L., Liu, X., Du, C., Ding, D., Jia, J., Yan, Y., Wu, G., 2015. Carbon footprint of Textile Throughout Its Life Cycle: a Case Study of Chinese Cotton Shirts. Cleaner Production, 108, 464-475.

- Water Footprint Network (WFN), 2019. Erişim Tarihi:08.10.2019. What is Water Footprint Assessment. <http://waterfootprint.org/en/water-footprint/water-footprint-assessment>.
- Wiedmann, T. ve Minx, J., 2007. A Definition of Carbon Footprint. ISAUK Research and Consulting, Durham, UK.
- World Wide Fund for Nature (WWF), 2016. Yaşayan Gezegen Raporu 2016: Özet. WWF, Gland, İsviçre, 36s.
- Yaka, İ.F., Koçer, A., Güngör, A., 2015. Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Karbon Ayak İzinin Tespiti. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 12(3), 37-45s.
- Yan, Y., Wang, C., Ding, D., Zhang, Y., Wu, G., Wang, L., Liu, X., Du, C., Zhang, Y., Zhao, C., 2016. Industrial Carbon Footprint of Several Typical Chinese Textile Fabrics. Acta Ecologica Sinica, 36, 119-125.
- Yetiş, Ü., Kitiş, M., Yiğit, N.Ö., Öztürk, E., Köseoğlu, H., Köseoğlu, T.S., 2015. Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Lisans Ders Notları, 71s.
- Zamani, B., Svanström, M., Peters, G., & Rydberg, T., 2015. A carbon footprint of textile recycling: A case study in Sweden. Journal of industrial ecology, 19(4), 676-687.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşe DAL

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1994

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : aysed32@gmail.com

Eğitim Durumu:

Lise: Özel Altınbaşak Anadolu Lisesi

Lisans: SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği

Yayınlar:

Uluslararası ve ulusal toplantılarda sözlü sunum ve poster

Şimşek, E., Dal, A., Öztürk, E., Kitiş, M. 2018. İçme Suları ve Atıksulardan Trifluralin Giderim Yöntemlerinin Değerlendirilmesi. Uluslararası Su ve Çevre Kongresi (SUÇEV-2018), 1247-1255. Uluslararası Su ve Çevre Kongresi (SUÇEV- 2018), Bursa.

Şimşek, E., Dal, A., Demirel, Y.E., Öztürk, E., Kitiş, M., 2019. Temiz Üretim Uygulamalarında Mevcut En İyi Tekniklerin Seçiminde Çok Ölçütlü Karar Verme Modellerinin Kullanımı. 1. Uluslararası Çevre, Teknoloji ve Yönetim Konferansı, 27-29 Haziran 2019, Niğde, Türkiye (Sözlü sunum).