

Tekstil Endüstrisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi

Sezen COŞKUN¹, Necdet Ayberk DOĞAN²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Meslek Yüksekokulu, 32500, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 04.01.2020, Kabul / Accepted: 14.02.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

Karbon ayak izi,
Tekstil,
Karbondioksit eşdeğeri

Özet: Bu çalışmada, bir tekstil fabrikasının konfeksiyon, kumaş boyama, baskı ve iplik boyama bölümlerinde 2018 yılı için yıllık üretim faaliyetleri sonucu meydana gelen karbon ayak izi miktarları değerlendirilmiştir. Fabrikada üretim yapılan bölümler arasında karbon ayak izi miktarları karşılaştırıldığında, konfeksiyon bölümü 24,39 kg-CO₂e/kg-ürün ile en yüksek değere sahiptir. Konfeksiyon bölümünü takiben kumaş boyama, baskı ve iplik boyama için karbon ayak izi miktarları sırasıyla, 21,57 kg-CO₂e/kg-ürün, 20,32 kg-CO₂e/kg-ürün ve 19,28 kg-CO₂e/kg-ürün olarak tespit edilmiştir. Proseslerde karbon ayak izi oluşumunun başlıca sebepleri doğalgaz, kömür ve motorin kullanımınıdır. Doğalgaz, kömür ve motorin kaynaklı toplam karbon ayak izi oranı iplik boyama bölümünde %92 iken, baskı, kumaş boyama ve konfeksiyon bölümleri için bu oranlar sırasıyla %84, %82 ve %73 olarak belirlenmiştir. Karbon ayak izinin azaltılması amacıyla ilk yapılması gereken üretimde fosil yakıtların kullanımından vazgeçmek veya kullanımını azaltmak olmalıdır. Karbon ayak izinin azaltılmasında modern ekipman teknolojisinin tercih edilmesi, enerji tasarrufu, giyim süresi dolan kumaşların tekrar hammadde olarak kullanımı, makinelerin düzenli olarak bakımlarının yapılması, sıcak su tanklarının yalıtımlı hale getirilmesi ve enerji tasarruflu aydınlatma elemanlarının kullanımı büyük oranda katkı sağlayabilir. Karbon ayak izinin azaltılması hem ekonomik kazancın artırılması hem de iklim değişikliğinin azaltılabilmesi için büyük önem taşımaktadır.

Determination of Carbon Footprint in Textile Industry

Keywords

Carbon footprint,
Textile,
Carbondioxide equivalent

Abstract: In this study, the carbon footprint amounts from annual production activities for 2018 in the apparel, fabric dyeing, printing and yarn dyeing departments of a textile factory were evaluated. When inter-departmental carbon footprints are compared, the apparel department has the highest value with 24.39 kg-CO₂e/kg-product. Following the apparel department, carbon footprint amounts for fabric dyeing, printing and yarn dyeing departments were calculated as 21.57 kg-CO₂e/kg-product, 20.32 kg-CO₂e/kg-product and 19.28 kg-CO₂e/kg-product respectively. Natural gas, coal and diesel sources used in the processes have been identified as the cause of carbon footprint to a great extent. While 92% of the total carbon footprint in the yarn dyeing department originated from natural gas, coal and diesel, these ratios were 84%, 82% and 73% for printing, fabric dyeing and apparel departments respectively. The first step to reduce the carbon footprint is to abandon or reduce the use of fossil fuels in production. The use of modern equipment technology, energy saving, re-use of garments as raw materials, regular maintenance of machines, insulating hot water tanks and the use of energy-saving lighting elements can greatly contribute to the reduction of carbon emissions. Reducing the carbon footprint is of great importance for both increasing economic gain and reducing the speed of climate change.

1. Giriş

Son yıllarda insan kaynaklı emisyonların neden olduğu karbondioksit (CO₂) konsantrasyonlarındaki artış küresel ısınma ve iklim değişikliğinin baş

sorumlusu olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, atmosferdeki sera gazı birikiminin iklim değişikliğine etkileri ve dünya üzerindeki yıkıcı sonuçları ile ilgili çalışmalar her geçen gün artmaktadır. CO₂ konsantrasyonunun atmosferde 2 katına ulaşmasının

+2,5 °C küresel ısınma oluşturabileceği ve bu durumun 2100 yılına kadar sürmesi halinde deniz seviyesini ortalama 70 cm yükseltebileceği en dikkat çekici bilimsel çalışma sonuçları arasındadır [1, 2]. Gerekliliğin alınmasına yönelik 4 Kasım 2016 tarihli Paris Anlaşması ve 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü, özellikle CO₂ başta olmak üzere sera etkisine neden olan gazların azaltılmasını amaçlamaktadır [3, 4].

Tekstil sektörü, başta hazır giyim olmak üzere ev tekstili, dekorasyon, ambalaj ve otomotiv gibi birçok sektöre hammadde sağlaması nedeniyle dünya çapında hala lokomotif sektörler arasındadır [5]. 2030 yılına kadar küresel giyim tüketiminin %63 artacağı tahmin edilmekte, bu da 500 milyar yeni t-shirt'e denk bir rakam olarak hesaplanmaktadır [6].

Sürdürülebilir tekstil üretiminin günümüze kadar küresel ısınmaya etkisi çok fazla öne çıkmış olmasa da, sektörün kapsam ve tedarik zincirinin geniş olması nedeniyle, üretim nedeniyle atmosferik kirleticilerin çıktısı da yüksektir. Örneğin, bir kumaş çevreyi kirletmiyor gibi görünmese de, üretim işlemlerinin çoğu sera gazı emisyonuyla (CO₂ ve metan (CH₄) gazları vb.) sonuçlanmakta [5, 7], olumsuz çevresel etkiler tekstil endüstrisinde sürdürülebilirlik sorununu da beraberinde getirmektedir. Bu emisyonların miktarlarında, gelişmekte olan ülkelerde %70 oranında artış tespit edilmiştir [5, 8, 9]. İster büyük ister küçük olsun, tüm tesisler atmosferi bir dereceye kadar kirletmeye katkıda bulunmakta [10], kaba bir tahminle, toplam karbondioksitin her 19,8 tonundan bir tonu tekstil endüstrilerinden kaynaklanmaktadır [7, 11]. Tekstil üretiminden kaynaklanan mevcut sera gazı emisyonları hâlihazırda yıllık 1,2 milyar ton olup, bu miktarın bazı sanayileşmiş ülkelerin toplam üretiminden daha fazla olduğu belirtilmektedir [6]. Alınabilecek en acil önlem ise, her işletmenin kendi içerisindeki karbon salınım kaynaklarını tespit edip, ne oranda azaltabileceği ile ilgili çalışmalar yapmasıdır.

İnsan faaliyetleri sonucu sera etkisine neden olabilecek karbon salınımının tespitinde en güncel yöntem "karbon ayak izi" (CF) hesabıdır. CF hesabı hammadde üretimi, ürün üretimi, ürün kullanımı ve ürünün atık haline gelmesi sonucu açığa çıkan sera gazı salınımlarını içermektedir [12]. Bununla birlikte bireylerin, toplumların, devletlerin, şirketlerin ve endüstriyel sektörlerin faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır [13]. Bu faaliyetler nedeniyle sera etkisine neden olan CO₂, CH₄, azot oksitler (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFC'lar), perflorokarbonlar (PFC'lar) ve kükürthekezaförür (SF₆) gibi gazlar oluşmaktadır. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyellerinin belirlenbilmesi için her bir gazın etkisi CO₂ gazı cinsinden ifade edilmiş ve bu ifade "Karbondioksit Eşdeğeri" (CO₂e) olarak isimlendirilmiştir. Sonuç olarak, CF; üretim aşamaları

sonucu birim ürün başına açığa çıkan eşdeğer CO₂ miktarı olarak tanımlanmaktadır [12]. CO₂ gazının atmosferdeki etkisinin 1 birim olduğu kabul edilerek, her bir birim sera gazın 100 yıllık zaman diliminde atmosferde yaratabileceği etki de "küresel ısınma potansiyeli" olarak literatürde yerini almıştır [3]. CO₂, CF hesabında dikkate alınan en önemli gazdır ve küresel ısınma potansiyeli IPCC 5. Değerlendirme Raporuna göre 1 olarak belirtilmektedir [14].

CF'nin hesaplanmasında emisyon kaynakları, Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 olmak üzere üç farklı kapsamda raporlanmaktadır. Sahip olunan veya kontrol edilebilen kimyasal üretimden kaynaklanan, fırınlardan ve kullanılan araçlardan kaynaklanan emisyonlar Kapsam 1 içerisinde yer almaktadır. Kullanılan elektriğin tesis içerisinde üretimi esnasında oluşan ve/veya satın alınan elektriğin kullanımı ile oluşan emisyonlar Kapsam 2 içerisinde, şirket tarafından sahip olunmayan veya kontrol edilemeyen kaynaklardan ortaya çıkan dolaylı emisyonlar ise Kapsam 3 içerisinde değerlendirilmektedir. CF hesaplaması için en yaygın uygulama ise belgelenmiş emisyon faktörlerinin (EF) kullanılarak yapılan hesaplamadır [3, 15-17].

Amerika [18, 19], İspanya [20], İran [21] ve Çin [22] gibi ülkelerde tekstil endüstrisinde gerçekleştirilen CF çalışmaları bulunmasına karşın, Türkiye'de yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Marmara Bölgesi'nde kumaş ve halı üretimi yapan bir tekstil firması için üretimden kaynaklanan toplam karbon ayak izi 31,2 kg-CO₂e/kg-kumaş olarak hesaplanmıştır. Aynı tesiste hammadde üretiminin oluşturmuş olduğu CF değeri 21,4 kg-CO₂e/kg-kumaş iken, bu değeri yükselten faktörler sırasıyla kazan dairesi faaliyetleri, iklimlendirme faaliyetleri, ofis ve atıksu arıtma faaliyetleri olarak tespit edilmiştir [5]. Kirchain vd. [19] tarafından polyesterden yapılmış tişört için CF 7,1 kg-CO₂e/kg-tişört olarak hesaplanmıştır. Yan vd. [18] tarafından yapılan bir diğer çalışmada da saf yün ve yün-polyester karışımından üretilen kumaşların CF'i sırasıyla 14 kg-CO₂e/kg-kumaş ve 13,5 kg-CO₂e/kg-kumaş olarak tespit edilmiştir. Aynı çalışmada, iplik boyama işlemi de göz önüne alındığında bu değerlerin %70,8 oranında artacağı belirtilmiştir. Herva vd. [20], moda eğilimlerine bağlı olarak ceket üretimi yapan bir tekstil fabrikasında kullanılan malzemelerin değişmesi halinde CF miktarlarının yıllar içerisinde değişebileceği sonucuna varmışlardır. Yünlü ve pamuklu ürünlerinin kullanımının toplam CF'ni sırasıyla %58,78 ve %24,89 oranlarında arttırdığı tespit edilmiştir. Bunun yerine sentetik tekstil ürünlerin karbon ayak izine katkısının daha düşük olacağı belirtilmektedir [20]. Tekstil endüstrisinin yüksek enerji tüketiminden dolayı, ürünlerin yeniden kullanımını ve geri dönüşümü gibi alternatifler bilim dünyasında son yıllarda ilgi uyandırmıştır. Bununla birlikte geri dönüştürülmüş ürünlerin hammadde olarak kullanılmasıyla CF'de nasıl bir değişim olacağı

ile ilgili çalışmaların sonuçları önem taşımaktadır. Bu konuda farklı iki çalışmayı [23, 24] referans alan McDougall vd. [25], kullanılmamış yünden üretilen bir dokuma ürününün geri dönüştürülmüş yünden imal edilenlere oranla iki kat fazla CF yaratacağı sonucuna varmıştır. Bu nedenle işletmelerin alabileceği öncelikli önlemler, mevcut üretim prosesinde CO₂, CH₄ vb. gazların açığa çıkmasına neden olan yakıtların kullanımını azaltmaları ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanmaya çalışmaları olmalıdır.

Türkiye'nin Kyoto Protokolü'nü imzalayan ülkeler arasında yer alması nedeniyle, üretim tesislerinin CF miktarlarının hesaplaması önümüzdeki süreçte kaçınılmaz olacaktır. Yapılan araştırma ile ülkemizde kısıtlı akademik karbon ayak izi araştırmalarına bir örnek oluşturmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda bir tekstil fabrikasının kumaş boyama, iplik boyama, baskı ve konfeksiyon bölümlerinin karbon ayak izi miktarları değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Tekstil firması tesis verileri

Çalışma için Marmara Bölgesi'nde yer alan bir tekstil fabrikası seçilmiştir. Tesis, 315 kişi ile faaliyet gösteren, üretim kapasitesi 3.344 t/yıl ile ülkemiz sınırları içerisinde hazır giyim ürünleri üreten orta büyüklükte bir tesis olarak kabul edilebilir. Hesaplamalarda kullanılan tüm veriler 2018 yılına aittir. Yıllık üretimin %80,74'ini boyahane bölümü oluşturmaktadır. Boyahane bölümünde hazır olarak alınan kumaşların boyama, yıkama ve daha sonra apre işlemleri gerçekleştirilmektedir. Baskı bölümünde boyanmış veya düz renk kumaş hazırlandıktan sonra baskıya alınmaktadır. Baskı bölümü işletmede yıllık üretimin %8,82'ünü oluşturmaktadır. Konfeksiyon bölümü, hazırlanmış boyalı veya baskılı kumaşların müşterinin istediği modele göre kesilmesi ve dikilmesi işlemlerini içermektedir. İşletmede yıllık üretimin %5,56'si konfeksiyon bölümünde gerçekleşmektedir. İşletmenin diğer faaliyet alanı iplik boyama yıllık üretimin %4,87'ünü oluşturmaktadır. Tesis bünyesinde bulunan her bir bölüm için hem müşteri isteği ile münferit üretimler hem de sıralı şekilde ilerleyen proses mevcuttur. Ayrıca firma bünyesindeki konfeksiyon ve baskı faaliyetleri, boyahane kapasitesini karşılayamadığı için holding

bünyesinde diğer şubelerdeki tesislerde üretime devam edilmektedir. Bu nedenle her birimin üretim miktarları değişiklik göstermektedir ve karbon ayak izi miktarları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tekstil firmasına ait ayrıntılı tesis verileri Tablo 1'de verilmiştir.

Üretimden kaynaklanan CF hesabında Tablo1'de yer alan üretim yüzdeleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Tesisin yılda ortalama 300 gün çalıştığı dikkate alınmıştır. Tablo 1'de yer alan verilerde araçlar bir yılda aldıkları yol ile temsil edilmiştir. Tüm araçların dizel olduğu kabul edilmiştir. Atık kamyonu yılda 92000 km/yıl, servis aracı 244000 km/yıl yol kaydetmektedir. Tesiste kazan dairesi, jeneratör ve tesis içerisinde yüklemeler esnasında kullanılan iş makinasının çalışmasında tüketilen bir yıllık motorin tüketimi ise 12000 t/yıl olarak tespit edilmiştir. Her üretim bölümü için fabrikanın yıllık üretim yüzdeleri dikkate alınarak yıllık motorin ve atık kamyonu tüketimleri 4 bölüm arasında dağıtılmıştır. Servis araçları yılın tamamında her birimde çalışan personeli düzenli vardiya aralıklarında fabrikaya taşımaktadır. Bu nedenle servis araçlarının toplam aldığı yol tüm bölümler için eşit olarak dağıtılmıştır. Tesiste doğalgaz, hem elektrik üretimi hem de proseslerin ısı gereksinimleri için kullanılmaktadır. Fakat doğalgaz ile yapılan elektrik üretimi fabrikanın ihtiyacını karşılamamaktadır. Bu sebeple karbon ayak izi hesabında hem kullanılan doğalgaz hem de doğalgaz harici tüketilen elektrik enerjisi hesaplamada ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kömür ise, proseslerde gerekli buhar üretimi için kullanılmaktadır. Ham maddenin tesise girişinden nihai ürün oluşumuna kadar geçen süreç içerisinde işletmede meydana gelebilecek enerji kayıpları hesaplamalarda dikkate alınmamıştır.

2.2. Karbon ayak izi hesaplama metodu

Çalışmada karbon ayak izi hesaplamaları Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli [8] Kılavuzunda belirtilen "Tier-1 Metodu" formülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Denklem 1'de gösterilen hesaplama yöntemi "Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Yaklaşımı" kapsamında kirleticilerin CO₂e cinsinden miktarını, diğer bir ifadeyle "Karbon Aya İzi" değerini hesaplamada kullanılmaktadır.

$$CF = AD * EF \quad (1)$$

Tablo 1. Tekstil firmasına ait tesis verileri

Faaliyet Adı	Birim	Kumaş Boyama	İplik Boyama	Baskı	Konfeksiyon
Üretim	t/yıl	2700	163	295	186
Üretim yüzdeleri	%	80,74	4,87	8,82	5,56
Elektrik tüketimi	kWh/yıl	4750000	260000	230000	290000
Doğalgaz tüketimi	m ³ /yıl	1100000	66000	12000	77000
Kömür tüketimi	t/yıl	6600	397	720	461
Motorin	t/yıl	9688,8	584,4	1058,4	667,2
Servis aracı-dizel	km/yıl	61000	61000	61000	61000
Atık kamyonu-dizel	km/yıl	74280,80	4480,40	8114,40	5115,20

Bu denklemde CF (karbon ayak izi); elektrik tüketimi, ısınma, ulaşım vb. nedeniyle tesisten atmosfere yayılan emisyonların CO₂e' i cinsinden karbon ayak izini, AD (faaliyet verisi); bir proseste üretilen veya tüketilen yakıt vb. maddelere ilişkin veriyi, EF (emisyon faktörü); bir kirleticinin hacim, kütle, zaman vb. birim değeri için ortalama emisyon miktarını temsil etmektedir [4, 8].

Birim ürün başına karbon ayak izinin hesaplanabilmesi için üretim verisi rakamları her bir bölümün üretim kapasitelerine bölünerek formülde faaliyet verisi değeri olarak kullanılmıştır. Faaliyet verileri 1 kg ürün başına hesaplanmıştır. Karbon ayak izi hesabı için coğrafi olarak en ilgili ve güncel emisyon faktörleri (kg-CO₂e olarak) kullanılmıştır. Emisyon faktörleri "İngiltere Çalışma, Enerji ve Endüstriyel Strateji Bakanlığı'ndan temin edilmiştir [26] (Tablo 2). Elektrik tüketimi emisyon faktörü için Dulkadiroğlu [27] çalışmasından alınmıştır.

Tablo 2. Emisyon faktörleri [22]

Faaliyet	Birim	EF
Kumaş Boyama	kg-CO ₂ e/kg	2,69
İplik Boyama	kg-CO ₂ e/kg	0,30
Baskı	kg-CO ₂ e/kg	2,69
Konfeksiyon	kg-CO ₂ e/kg	5,34
Elektrik tüketimi	kg-CO ₂ e/kWh	0,60
Doğalgaz tüketimi	kg-CO ₂ e/m ³	2,09
Kömür	kg-CO ₂ e/kg	2,24
Motorin	kg-CO ₂ e/kg	3,19
Servis aracı-dizel	kg-CO ₂ e/km	0,67
Atık kamyonu-dizel	kg-CO ₂ e/km	1,08

3. Bulgular

Yıllık üretimin %80,74'lük kısmını kumaş boyama bölümü oluşturmaktadır. Burada tesise hazır olarak gelen kumaşların boyama, yıkama ve daha sonra apre işlemleri gerçekleştirilmektedir. Kullanılan boya ve

enerji tüketimi bu bölümde karbon ayak izinin ana sebeplerini oluşturmaktadır. Özellikle boyama işlemi sonrası bozulan ürünlerin tekrar boyanması, aynı ürün için kullanılan boya ve enerji tüketimini birim ürün başına daha da artırmaktadır. Baskı bölümünde boyanmış veya düz renk kumaş hazırlandıktan sonra baskıya alınmaktadır. Baskı bölümünde de kullanılan kimyasallar ve boyar maddeler karbon ayak izine en çok yol açan etmenlerdir.

Karbon ayak izi için hesaplanan faaliyet verileri Tablo 3' de verilmiştir. IPCC'nin Tier-1 metoduna göre ürün başına her bir üretim bölümünde karbon ayak izi miktarları hesaplanmış ve Tablo 4 içeriğinde verilmiştir.

Kaynaklarına göre ürün başına karbon ayak izi değerleri karşılaştırıldığında en fazla karbon ayak izine fabrikada kullanılan kömür ve motorinin neden olduğu tespit edilmiştir. Motorin kaynaklı karbon ayak izi miktarları her bir bölüm için birbirine yakın değerlerde ve ortalama 11,44 kg-CO₂e/kg-ürün hesaplanmıştır (Tablo 4). Fabrikanın kaynaklara göre yıllık karbon ayak izinin yüzde dağılımı Şekil 1-4'de gösterilmiştir. Tekstil işletmesinin karbon ayak izi miktarlarının kaynaklarına göre yüzde değerleri incelendiğinde de her bir bölümde yaklaşık %46,9 ile %59,3 oranlarında motorin kaynaklı karbon ayak izi olduğu görülmektedir (Şekil1-4). Kömür kaynaklı karbon ayak izi miktarları kumaş boyama, iplik boyama, baskı ve konfeksiyon bölümleri için 5,46 ve 5,55 kg-CO₂e/kg-ürün aralığında değişmektedir (Tablo 4). Bu da her bölüm için toplam karbon ayak izinin yaklaşık %22,8 ile %28,3'ünü oluşturmaktadır (Şekil 1-4).

Üretim proseslerinden kaynaklanan karbon ayak izinin yüzde dağılımı ise bölümler arasında konfeksiyon; %21,9 (Şekil 4), baskı; %13,2 (Şekil 3),

Tablo 3. Faaliyet verileri (AD değerleri) (kg ürün başına)

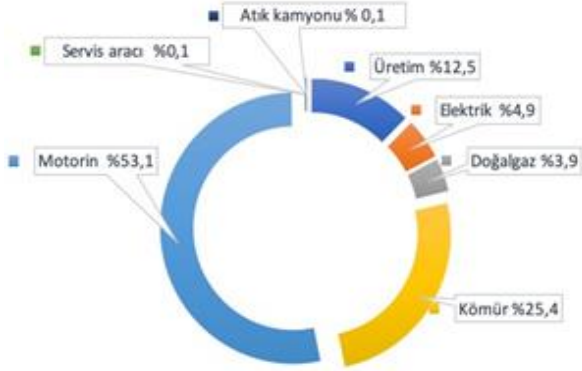
Faaliyet Verileri	Kumaş Boyama	İplik Boyama	Baskı	Konfeksiyon
Üretim	1	1	1	1
Elektrik tüketimi	1,759	1,595	0,779	1,559
Doğalgaz tüketimi	0,407	0,405	0,041	0,414
Kömür tüketimi	2,444	2,436	2,441	2,478
Motorin	3,588	3,585	3,588	3,587
Servis aracı	0,023	0,374	0,207	0,328
Atık kamyonu	0,028	0,027	0,028	0,028

Tablo 4. Tekstil fabrikası farklı bölümlerinin ürün başına karbon ayak izi değerleri

Faaliyet	Kumaş Boyama kg-CO ₂ e/kg-ürün	İplik Boyama kg-CO ₂ e/kg-ürün	Baskı kg-CO ₂ e/kg-ürün	Konfeksiyon kg-CO ₂ e/kg-ürün
Üretim	2,69	0,30	2,69	5,34
Elektrik tüketimi	1,06	0,96	0,47	0,94
Doğalgaz tüketimi	0,85	0,85	0,09	0,87
Kömür	5,48	5,46	5,47	5,55
Motorin	11,45	11,44	11,45	11,44
Servis aracı-dizel	0,02	0,25	0,14	0,22
Atık kamyonu-dizel	0,03	0,03	0,03	0,03
Toplam	21,57	19,28	20,32	24,39

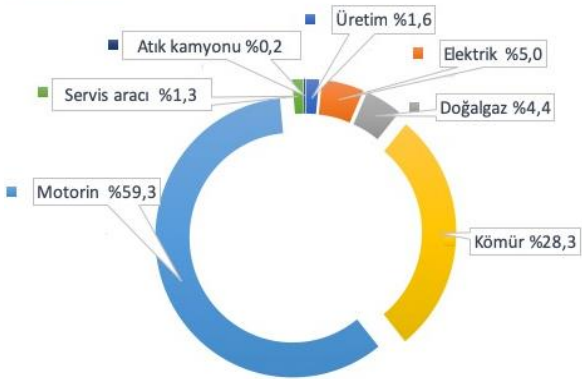
kumaş boyama; %12,5 (Şekil 1) ve iplik boyama; %1,6 (Şekil 2) olarak sıralanmaktadır. Diğer kaynaklar açığa çıkan karbon ayak izleri ise kömür, motorin ve üretime göre daha düşük değerlere sahiptir. Toplam karbon ayak izi değerleri karşılaştırıldığında, 24,39 kg-CO₂e/kg-ürün yıl olarak konfeksiyon bölümü fabrikada en yüksek karbon ayak izi değerine sahiptir. Konfeksiyon bölümünü takiben kumaş boyama, baskı ve iplik boyama bölümleri CF miktarları sırasıyla 21,57 kg-CO₂e/kg-ürün, 20,32 kg-CO₂e/kg-ürün ve 19,28 kg-CO₂e/kg-ürün olarak hesaplanmıştır (Tablo 4).

Kumaş Boyama



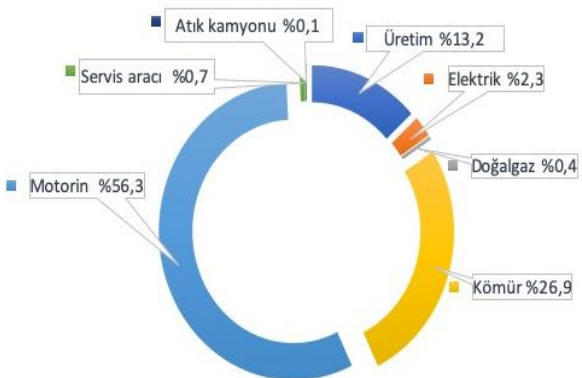
Şekil 1. Kumaş boyama işleminde kaynaklara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

İplik Boyama



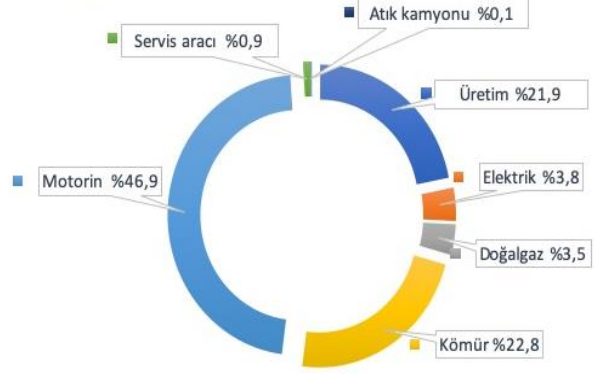
Şekil 2. İplik boyama işleminde kaynaklara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

Baskı



Şekil 3. Baskı işleminde kaynaklara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

Konfeksiyon



Şekil 4. Konfeksiyon bölümü kaynaklara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

Sera gazı hesaplama ve raporlamada tanımlanmış üç kapsam mevcuttur. "Kapsam 1" direkt emisyonlar olarak adlandırılmakta; sahip olunan veya kontrol edilen proses ekipmanlarında kimyasal üretimden kaynaklanan ve yanma sonucu oluşan emisyonları kapsamaktadır. "Kapsam 2" enerji dolaylı emisyonlar olarak adlandırılmakta; satın alınan ve kullanılan elektriğin üretiminden ortaya çıkmaktadır. "Kapsam 3" ise diğer kaynaklı emisyonlar olarak adlandırılmakta; tesis tarafından sahip olunmayan veya kontrol edilemeyen kaynaklardan ortaya çıkan emisyonlar olarak kabul edilmektedir. Kapsamlarına göre direkt emisyonlar, enerji dolaylı emisyonlar ve diğer kaynaklı emisyonlara ait karbon ayak izi yüzde olarak her bölüm için hesaplanmış ve Şekil 5-8'de gösterilmiştir.

Kumaş Boyama

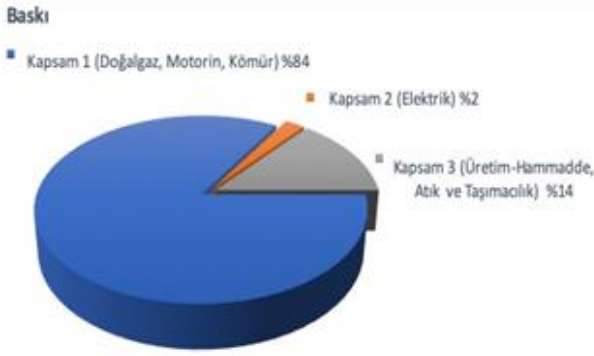


Şekil 5. Kumaş boyama işleminde kapsamlara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

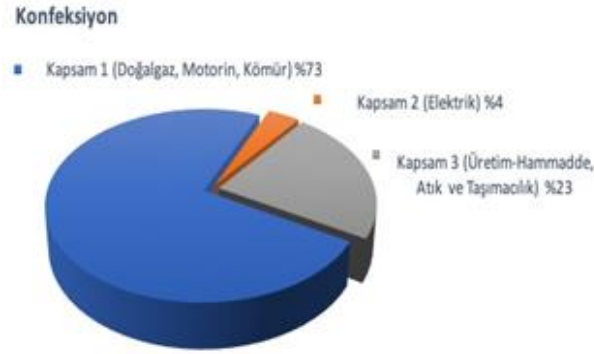
İplik Boyama



Şekil 6. İplik boyama işleminde kapsamlara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı



Şekil 7. Baskı işleminde kapsamlara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı



Şekil 8. Baskı işleminde kapsamlara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

Her bölüm için Kapsam 1 kaynakları büyük oranda karbon ayak izinin sebebi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu oranlar %92 ile en yüksek iplik boyama bölümünde tespit edilirken (Şekil 6), bunu takiben baskı bölümü için Kapsam 1 CF hesaplaması %84 (Şekil 7), kumaş boyama için %82 (Şekil 5) ve konfeksiyon için %73 (Şekil 8) olarak hesaplanmıştır. Kapsam 2 elektrik giderleri kaynaklı CF yüzdeleri ise her bir bölüm için %2 ile %5 arasında değişen değerlere sahiptirler. Kapsam 3'de yer alan üretim, hammadde, atık ve taşımacılık faaliyetleri nedeniyle de en yüksek CF değerlendirmesi %23 ile konfeksiyon bölümü için tespit edilmiştir (Şekil 8). Diğer bölümlerde ise Kapsam 3 CF yüzde dağılımı %14 ile baskı, %13 ile kumaş boyama ve %3 ile iplik boyama olarak sıralanmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma sonucunda elde edilen ürün başına CF miktarları konfeksiyon (24,39 kg-CO₂e/kg-ürün), kumaş boyama (21,57 kg-CO₂e/kg-ürün), baskı (20,32 kg-CO₂e/kg-ürün) ve iplik boyama (19,28 kg-CO₂e/kg-ürün) bölümleri olarak tespit edilmiştir. Son yıllarda karbon ayak izine yönelik birçok araştırma, farklı ülkelerde farklı ürün grupları için yapılmıştır. ABD'de polyesterden yapılmış bir tişört için karbon ayak izi değeri yaklaşık olarak 35 kg-CO₂e/kg-tişört [19], Çin'de saf yün ve yün-polyester karışımından üretilen kumaşların karbon ayak izleri sırasıyla 14 kg-CO₂e/kg-kumaş ve 13,5 kg-CO₂e/kg-kumaş [22]

tespit edilmiştir. Yan vd. [22]'nin elde ettiği bir diğer sonuç ise yün-polyester karışık kumaşlar için iplik boyama işleminin de göz önüne alınması halinde karbon ayak izi değerlerinde %70,8 oranında artış görüldüğü ve 23,1 kg-CO₂e/kg-kumaş karbon ayak izi miktarına ulaşıldığıdır. Türkiye'de yapılmış olan bir diğer çalışmada da bir tekstil firmasının karbon ayak izi hesaplanmış ve sonuç 31,2 kg-CO₂e/kg-kumaş olarak tespit edilmiştir [5].

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular literatür değerleriyle benzerlik göstermek birlikte, her işletmenin proses farklılıkları nedeniyle karbon ayak izi miktarları işletmeye özel rakamlar olarak ortaya çıkmaktadır. Keskin vd. [5] tekstil işletmesi için yaptıkları çalışma sonucunda; karbon ve enerji ayak izinde baskın olan katkıların buhar kazanları, iklimlendirme sistemleri ve bitiş işlemleri olduğunu, diğer önemli bileşenlerin ofis vb. noktalardaki enerji kullanımlarından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu tespitleri destekler nitelikte, çalışmaya konu olan tesisin CF miktarlarının büyük yüzdesini Kapsam 1 kaynaklarının (doğalgaz, motorin, kömür) kullanımı olduğu tespit edilmiştir. Bu oranlar tesisin farklı bölümleri (kumaş boyama, iplik boyama, baskı, konfeksiyon) için %73-92 aralığında değişmektedir. Bu kaynaklar tesiste kazan dairesi, jeneratör, iş makinası yakıtı, buhar ve elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Enerji tasarrufu için öncelikle dikkat edilmesi gereken iki faktör, literatür çalışmalarında da belirtilmiş [28] olan, tekstil sektöründe modern ekipman teknolojisinin tercih edilmesi ve proses optimizasyonun sağlanması olmalıdır. Gelişen teknoloji ile pamuğun düşük sıcaklıklarda ağartılmasını sağlayan katalizörlerin proseste kullanımı, üretimde yeni gelişmelere örnek teşkil etmektedir. Bu katalizörler, ağartma işlemi için gerekli yüksek sıcaklığı düşürerek (yaklaşık 110°C'den 25°C'ye), üretimde süre ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Sonuç olarak, CO₂ emisyonunun azaltılmasında başarılı sonuçlar elde edilmiştir [6].

Üretim giderlerinin ve dolayısıyla karbon ayak izi miktarlarının azaltılması amacıyla ürünlerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü gibi alternatifler de bilim dünyasında son yıllarda çözüm yolları olarak görülmektedir. Kullanılmamış yünden üretilen bir dokuma ürününün, geri dönüştürülmüş yünden imal edilenlere oranla iki kat fazla karbon ayak izi yaratacağını ortaya koyan çalışmalar da mevcuttur [25]. Geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreci; (1) üretimden artan malzemelerin geri dönüşümü, (2) kullanım ömrünü tamamlamış tekstil ürünlerinin atılması yerine, tüketici tarafından farklı amaçlar için yeniden kullanımının özendirilmesi, (3) üretim kaynaklı proses atıklarının geri dönüşümü sıralamasıyla planlandığında, tekstil sektöründe karbon ayak izini azaltmak kaçınılmaz olacaktır [29].

Çalışmanın sonucu olarak, karbon ayak izinin azaltılması amacıyla, üretimde fosil yakıtlardan enerji

elde etmek yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı tercih edilebilir. Bununla birlikte, giyim süresi dolan kumaşların tekrar hammadde olarak kullanımı, renkli ve baskılı kumaşlar yerine tek renk ve baskısız giyimin özendirilmesi, işletmede kullanılan makinelerin düzenli bakımlarının yapılması, sıcak su tanklarının yalıtımlı hale getirilmesi ve enerji tasarruflu aydınlatma elemanlarının kullanımı karbon ayak izinin azalmasına katkı sağlayacaktır. Sıfır atık yönetiminin önem kazandığı son yıllarda, tekstil sektöründe de “sıfır karbon ayak izi” hedeflenerek üretimde sürdürülebilirlik sağlanabilir. Ekonomik kazanç artırılırken, iklim değişikliğinin bir nebze azaltılabilmesi gelecek nesiller için en büyük sorumluluğumuz olmalıdır

Teşekkür

Çalışmaya katkıları için Dr. Öğr. Üyesi Cihan ÖZGÜR’e teşekkür ederiz.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Aksay, C. S., Ketenoglu, O., Kurt, L. 2005. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 25, 29-41.
- [2] Öztürk, K. 2002. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye’ye Olası Etkileri. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(1), 47-65.
- [3] Gunathilaka, L. F. D. Z., Gunawardana K. D. 2015. Carbon Footprint Calculation from Cradle to Grave: A Case Study of Rubber Manufacturing Process in Sri Lanka. International Journal of Business and Social Science, 6(10), 82-94.
- [4] Mutlu, V., Özgür, C., Bekaroğlu, Ş. Ş. K. 2018. Kauçuk Endüstrisinde Karbon Ayak izinin Belirlenmesi. Bilge International Journal of science and Technology Research, 2(2), 139-146.
- [5] Keskin, S. S., Erdil, M., Sennaroğlu, B. 2017. Bir Tekstil Fabrikasının Kumaş Üretiminde Enerji ve Karbon Ayak İzlerinin Belirlenmesi. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1-3 Kasım, Antalya, 95-105.
- [6] Remington, C. 2020. Reducing the carbon footprint in textile manufacturing. Ecotextile News. <https://www.ecotextile.com/sponsored-content/reducing-the-carbon-footprint-in-textile-manufacturing.html> (Erişim Tarihi: 24.01.2020).

- [7] Akhtar, S., Baig, S. F., Saif, S., Mahmood, A., Ahmad, S. R. 2017. Five Year Carbon Footprint of a Textile Industry: A Podium to incorporate Sustainability. Nature Environment and Pollution Technology. 16(1), 125-132.
- [8] IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. General Guidance and Reporting. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html> (Erişim Tarihi: 28.12.2019).
- [9] Greenpeace, 1998. Guide to the Kyoto Protocol. <https://www.readkong.com/page/greenpeace-international-1179766> (Erişim Tarihi: 25.12.2019).
- [10] Parry, M. L. Canziani, O. F. Palutikof, J. P. Van der Linden, C. E. 2007. Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 976.
- [11] USEPA, 2006. U.S. Environmental Protection Agency, “Global Mitigation of Non CO₂ Greenhouse Gases” <http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/international.html> (Erişim: 6.12.2019).
- [12] Patel, J. 2006. Green sky thinking. Environment Business, 122, 32.
- [13] Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., Giljum, S. 2012. Integrating Ecological Carbon and Water Footprint into a “Footprint Family” of Indicators: Definition and Role in Tracking Human Pressure on the Planet. Ecological Indicators, 16, 100-112.
- [14] IPCC, 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf (Erişim Tarihi: 15.12.2019).
- [15] Matthews, H. S., Hendrickson, C. T., Weber, C. L. 2008. The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries. Environmental Science Technology, 42, 5839-5842.
- [16] Ercin, E., Hoekstra, A. Y. 2012. Carbon and Water Footprints Concepts. Methodologies and Policy Responses. United Nations World Water Assessment Programme. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, Paris, France, 26s.
- [17] Inakollu, S., Morin, R., Keefe, R. 2017. Carbon Footprint Estimation in Fiber Optics Industry: A Case Study of OFS Fitel, LLC. Sustainability, 9(5), 865-881.
- [18] McCurry, J. 2009. Environment to Impact on Demand. International Dyer, 194(2), 9.

- [19] Kirchain, R., Olivetti, E., Miller, T. R., Greene, S. 2015. Sustainable Apparel Materials. <http://globalcompostproject.org/wp-content/uploads/2015/10/SustainableApparelMaterials.pdf> (Erişim Tarihi: 29.12.2019).
- [20] Herva, M., Franco, A., Ferreiro, S., A'lvarez, A., Roca, E. 2011. An approach for the Application of the Ecological Footprint as Environmental Indicator in the Textile Sector. *Journal of Hazardous Materials*, 156(1-3), 478-487.
- [21] Hasanbeigi, A., Hasanabadi, A., Abdorrazaghi, M. 2012. Comparison Analysis of Energy Intensity for Five Major Sub-sectors of The Textile Industry in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 23, 186-194.
- [22] Yan, Y., Wang, C., Ding, D., Zhang, Y., Wu, G., Wang, L., Liue, X., Due, C., Zhang, Y., Zhao, C. 2016. Industrial Carbon Footprint of Several Typical Chinese Textile Fabrics. *Acta Ecologica Sinica*, 36(3), 119-125.
- [23] Lowe, J. 1981. Energy Usage and Potential Savings in the Woollen Industry. Wool Industry Research Association, Wira House, West Park Ring Road, Leeds.
- [24] Ogilvie, S. M. 1992. A Review of the Environmental Impact of Recycling. Report. LR 911 (MR) Warren Spring Laboratories, Stevenage, UK.
- [25] McDougall, F., White, P., Franke, M., Hindle, P. 2001. Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory. 2nd Edition. Blackwell Science Ltd. USA, 532s.
- [26] DBEIS, 2017. Greenhouse gas reporting: conversion factors. Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Condensed set (for most users), <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2017> (Erişim Tarihi: 15.11.2019).
- [27] Dulkadiroğlu, H. 2018. Türkiye'de Elektrik Üretiminin Sera Gazı Emisyonları Açısından İncelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 67-74.
- [28] Dhayaneswaran, Y., Ashokkumar, L. 2013. A Study on Energy Conservation in Textile Industry. *Journal of The Institution of Engineers (India) Series B*, 94(1), 53-60.
- [29] Muthu, S.S., Li, Y., Hu, J.Y., Ze, L., 2012. Carbon Footprint Reduction in the Textile Process Chain: Recycling of Textile Materials. *Fibers and Polymers*, 13(8), 1065-1070.