

## BİR TEKSTİL FABRİKASININ KUMAŞ ÜRETİMİNDE ENERJİ VE KARBON AYAK İZLERİNİN BELİRLENMESİ

S. Sinan KESKİN<sup>1(\*)</sup>, Mehtap ERDİL<sup>1</sup>, Bahar SENNAROĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Bölümü, Göztepe/İstanbul

<sup>3</sup>Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, Göztepe/İstanbul

### ÖZET

Enerji ve karbon ayak izleri, mal ve hizmetlerin ekolojik olarak üretimiyle yakın ilişkili parametrelerdir. Tüm insan faaliyetlerine bağlı olarak kullanılan enerji ve bunun sonucu olarak salınan sera gazları, son otuz-kırk yıldır Dünya'nın iklimini Küresel Isınma şeklinde etkilemektedir. İnsan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan en baskın sera gazı karbondioksittir. Karbon ayak izi, üretilen ürün başına salınan karbondioksit ve diğer sera gazlarının miktarı, enerji ayak izi ise, üretilen ürün başına tüketilen enerji miktarıdır.

Yapılan çalışmanın temel hedefi, kumaş üretimi sırasında enerji ve karbon ayak izlerine katkıda bulunan en önemli bileşenlerin belirlenmesidir. Bu amaçla, kumaş üretimindeki enerji ve karbon ayak izlerini incelemek için bir kumaş tekstil üretim tesisi seçilmiştir. Seçilen tesiste hammaddeler olarak yün ve polyester kullanılmaktadır.

Hammaddelerden kumaş üretimi için dokuma, eğme, boyama ve bitiş gibi birbirini takip eden birçok işlemler sonucu kumaş üretimi gerçekleşir. Bu işlemler sırasında doğalgaz enerjisi, elektrik enerjisi ve dizel yakıt tüketilmektedir. Buna ek olarak, dışarıdan temin edilen hammaddelerin üretimleri ve naklieleri sırasında da farklı formlarda enerji tüketilir. Ayrıca, çalışanların ulaşımının sağlanması gibi yardımcı faaliyetler de enerji tüketimine katkıda bulunur. Katkıda bulunan tüm etkenleri göz önünde bulundurarak, enerji ve karbon ayak izleri IPCC 2006 Kılavuzu esas alınarak, Tier yaklaşımları kullanılarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, incelenen tekstil şirketindeki enerji ve karbon ayak izleri sırasıyla 87,7 kWh/kg-kumaş ve 31,2 kg-CO<sub>2</sub>e /kg-kumaş olarak hesaplanmıştır. Karbon ve enerji ayak izlerinde baskın olan katkıların buhar kazanları, iklimlendirme sistemleri ve bitiş işlemleri olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak, ofis ve su arıtma tesisi faaliyetlerinin enerji kullanımlarındaki toplam katkıları, ayak izi değerlerinde de önemli bir bileşen oluşturmuştur.

### ANAHTAR SÖZCÜKLER

Enerji ayak izi, Karbon ayak izi, Kumaş üretimi, Tekstil endüstrisi, Tier yaklaşımı

(\*) sinankeskin@marmara.edu.tr

## ABSTRACT

Energy (EF) and carbon footprints (CF) are important parameters closely related to the ecological production of goods and services. Energy use and subsequent emissions of greenhouse gases (GHGs) in all human activities affect the World's climate in the form of Global Warming in recent decades. The dominant greenhouse gas arising from human activities is carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). CF is CO<sub>2</sub> and other GHGs that is released per unit product. EF is consumed energy per unit product.

The main purpose of this study is the determination of most important components that contribute to the EF and CF during fabric production. For this purpose, a textile company was selected to examine EF and CF for its fabric products. The company uses polyester and wool as raw materials for its products.

The fabric production processes such as finishing, warping, weaving, and dyeing are carried on these raw materials. In these processes, energy is used in the forms of natural gas, electricity, and diesel fuel. In addition, production and transport of the raw material used in the company also consume energy in different forms. Besides, auxiliary activities such as worker transportation will also contribute to the energy consumption. Considering all the contributing factors, energy and carbon footprints are calculated using the Tier methods according to IPCC 2006 Guidelines.

Results indicated that the EF and CF were 87.7 kWh/kg-fabric and 31.2 kg-CO<sub>2e</sub>/kg-fabric, respectively in the textile company examined. The dominant contributions to the energy and carbon footprints were found to be originated from evaporate boilers, climatization equipment, and finishing process in the production. In addition, combined contribution from the energy uses of office and water treatment plant activities was also an important component in footprint values.

## KEYWORDS

Energy Footprint, Carbon Footprint, Fabric production, Textile industry, Tier approach

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Tekstil endüstrisi ve karbon ayak izi

Tekstil endüstrisi ülkemizin üretim ve ihracatında oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple, Türkiye tekstil endüstrisi için yüksek hacimli üretim ve buna bağlı enerji tüketimi önemlidir. Tekstil endüstrisi doğalgaz, elektrik ve fosil yakıt formlarında enerji tüketimiyle atmosfere sera gazları salmaktadır. Bu kapsamda, enerjinin etkin olarak kullanımının önemi de artmakta olup, son yıllarda enerji etkinliğini artırarak, yaratılan kirliliğin azaltılmasını sağlayan teknolojilere ilgi artmaktadır. Karbondioksit baskın sera gazı olmasına karşın, metan gazı da sera etkisi bakımından önemli bir yere sahiptir (Steinfeld ve Wassenaar, 2007). Gelişmekte olan ülkelerde insan faaliyetlerinin sonucunda atmosferdeki metan miktarının yaklaşık % 70 oranında artışı söz konusudur (IPCC, 2006; Greenpeace, 1998).

Karbon ayak izi konsepti, 1996 yılında ekolojik ayak izi konseptiyle ortaya çıkmıştır (Wackernagel ve Rees, 1996). Bir ürünün tüm yaşam döngüsü için tüm aktiviteler sonucunda açığa çıkan

doğrudan ve dolaylı sera gazı salınımı şeklinde de açıklanabilmektedir (Carbon Trust, 2007; IPCC, 2006; IPCC, 2007). Bu kavram, hammadde üretimi, ürün üretimi, ürün kullanımı ve ürünün atık haline gelmesi sonucu açığa çıkan sera gazı salınımlarını içermektedir. Üretim için gerekli tüm aşamalar sonucu, birim ürün başına açığa çıkan eşdeğer karbondioksit miktarı olarak da tanımlanır (Patel, 2006).

### 1.2. Tekstil endüstrisinde gerçekleştirilen bazı karbon ayak izi çalışmaları

Son yıllarda karbon ayak izine yönelik birçok araştırma, farklı ülkelerde farklı ürün grupları için yapılmıştır. ABD’de yapılan bir araştırmada (Kirchain vd., 2015), polyesterden yapılmış bir tişört için karbon ayak izi değeri 7,1 kg-CO<sub>2</sub>e/tişört olarak hesaplanmış ve bu da yaklaşık olarak 35 kg CO<sub>2</sub>e/kg-tişört değerine karşılık gelmektedir. İran’ın tekstil endüstrisinde yapılan bir çalışmada (Hasanbeigi vd., 2012), yünlü örgü kumaşlar için enerji ayak izi değeri 73 ile 132 kWh/kg-kumaş arasında hesaplanmıştır. Çin’de yapılan bir araştırmada (Yan vd., 2016), saf yün ve yün-polyester karışımından üretilen kumaşların karbon ayak izleri sırasıyla 14 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-kumaş ve 13,5 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-kumaş olarak hesaplanmıştır. Aynı çalışmada, iplik boyama işlemi de göz önüne alındığında bu değerlerin %70,8 oranında artacağı belirtilmektedir. Buna göre söz konusu değer, yün-polyester karışık kumaşlar için 23,1 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-kumaş olacaktır. Buna ek olarak, 40,7 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-kumaş değerine yol açan kumaş örme için düz örgü tekniği kullanıldığında %76,2’lik bir artışın olacağı belirtilmiştir. Yün ve polyester elyaf üretiminden kaynaklanan karbon ayak izleri bu değere ilave edilmemiştir.

Tekstil endüstrisinin yüksek enerji tüketiminden dolayı, ürünlerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü gibi alternatifler bilim dünyasında son yıllarda ilgi uyandırmıştır. Daha önceki iki farklı çalışmayı (Lowe,1981; Ogilvie, 1992) referans alan bir çalışmada (Mc Dougall vd., 2001), kullanılmamış yünden üretilen bir dokuma ürününün, geri dönüştürülmüş yünden imal edilenlere oranla iki kat fazla karbon ayak izi yaratacağı sonucuna varılmıştır. Başka bir çalışmada (Woolridge vd., 2006), İngiltere’de yaygın olan giysilerin geri dönüşümü yoluyla üretilen tekstil ürünleri ile kullanılmamış hammaddeden üretilen tekstil ürünlerinin enerji tüketimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca, enerji verimliliğini teknolojik gelişmelerle iyileştirmeye yönelik araştırmalar son yıllarda ilgi çekmektedir. Örnek bir çalışmada, bir tekstil fabrikasında ekipman teknolojisi ve proses optimizasyonunun enerji tasarrufuna etkisi incelenmiştir (Dhayaneswaran ve Ashokkumar, 2013).

## 2. MATERYAL VE METHOD

### 2.1. Kumaş tekstil üretim süreci

Bu çalışma için seçilen sanayi tesisi Marmara bölgesinde olup, bu tesis kumaş ve halı üretmektedir. Kumaş üretimiyle ilgili akış şeması Şekil 1’ de gösterilmektedir. Kumaş, yün, keten, pamuk, kenevir veya başka malzemelerin ham liflerinden imal edilen bir tekstil ürünü olarak tanımlanmaktadır. Bu hammaddeler üzerinde finisaj, eğme, dokuma ve boyama gibi kumaş üretim işlemleri yapılır.



Şekil 1. Seçilen tesis için kumaş üretimi akış şeması

Bu işlemlerde enerji kaynağı olarak doğalgaz, elektrik ve dizel yakıt kullanılmaktadır. Buna ek olarak, dışarıdan temin edilen hammaddelerin üretimi ve nakliyesinde de farklı formlarda enerji tüketilmektedir. Ayrıca, çalışanların ulaşımı gibi yardımcı faaliyetler de enerji tüketimine katkıda bulunmaktadır. Katkıda bulunan tüm faktörler göz önünde bulundurularak, enerji ve karbon ayak izleri, Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli (IPCC) 2006 Kılavuzuna (IPCC, 2006) uygun olarak Tier yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Tesiste 450 ton ham yün ve 150 ton ham polyester kullanılarak, yıllık 475 ton kumaş (% 80 yün-% 20 polyester karışımı) üretilmiştir. Bu kapsamda, 2015 yılındaki kumaş üretimi için 20.455.740 kWh elektrik enerjisi ve 18.825.600 kWh doğal gaz enerjisi tüketilmiştir.

## 2.2. Karbon ayak izi hesabı

IPCC 2006 Kılavuzuna göre, sera gazı salınımlarının ayak izi hesaplanmasında üç farklı Tier yaklaşımı mevcuttur (IPCC, 2006; IPCC, 2007). Bu çalışmada, eldeki mevcut verilerin sınırlı olması sebebiyle, en basit yaklaşım olan Tier 1 metodu kullanılmıştır. İstisna olarak, elektrik enerjisinin üretiminde ülkemizdeki yakıt ve mevcut kullanılan teknolojileri göz önünde bulunduran Tier 3 metodu kullanılmıştır. Her bir süreç için tüketilen enerji türüne göre ilgili emisyon faktörleri literatürden (Url-1; Url-2) alınarak, 2015 yılındaki yıllık 475.000 kg kumaş üretimi için karbon ayak izi (KAİ) Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak hesaplanmıştır (Pekin, 2006; Atabey, 2013; Turanlı, 2015).

$$\text{Emisyon} = \text{Tüketilen enerji} \times \text{Emisyon faktörü} \times \text{Oksidasyon faktörü}^* \quad (1)$$

\* Oksidasyon faktörü karbonun kolay okside olmasından dolayı 1 olarak kabul edilmektedir.

$$\text{KAİ} = \text{Emisyon [kg-CO}_2\text{e]} / \text{Yıllık üretim miktarı [kg-kumaş]} \quad (2)$$

### 2.3. Enerji ayak izi hesabı

İncelenen tekstil tesisinde tüketilen enerji ve buna bağlı enerji ayak izi (EAİ) değerleri Eşitlik 3 ve 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Tüketilen enerji [kWh/yıl]} = \text{Nominal güç [kW]} \times \text{Günlük çalışma süresi [saat/gün]} \times \text{Yıllık çalışma gün sayısı [gün/yıl]} \quad (3)$$

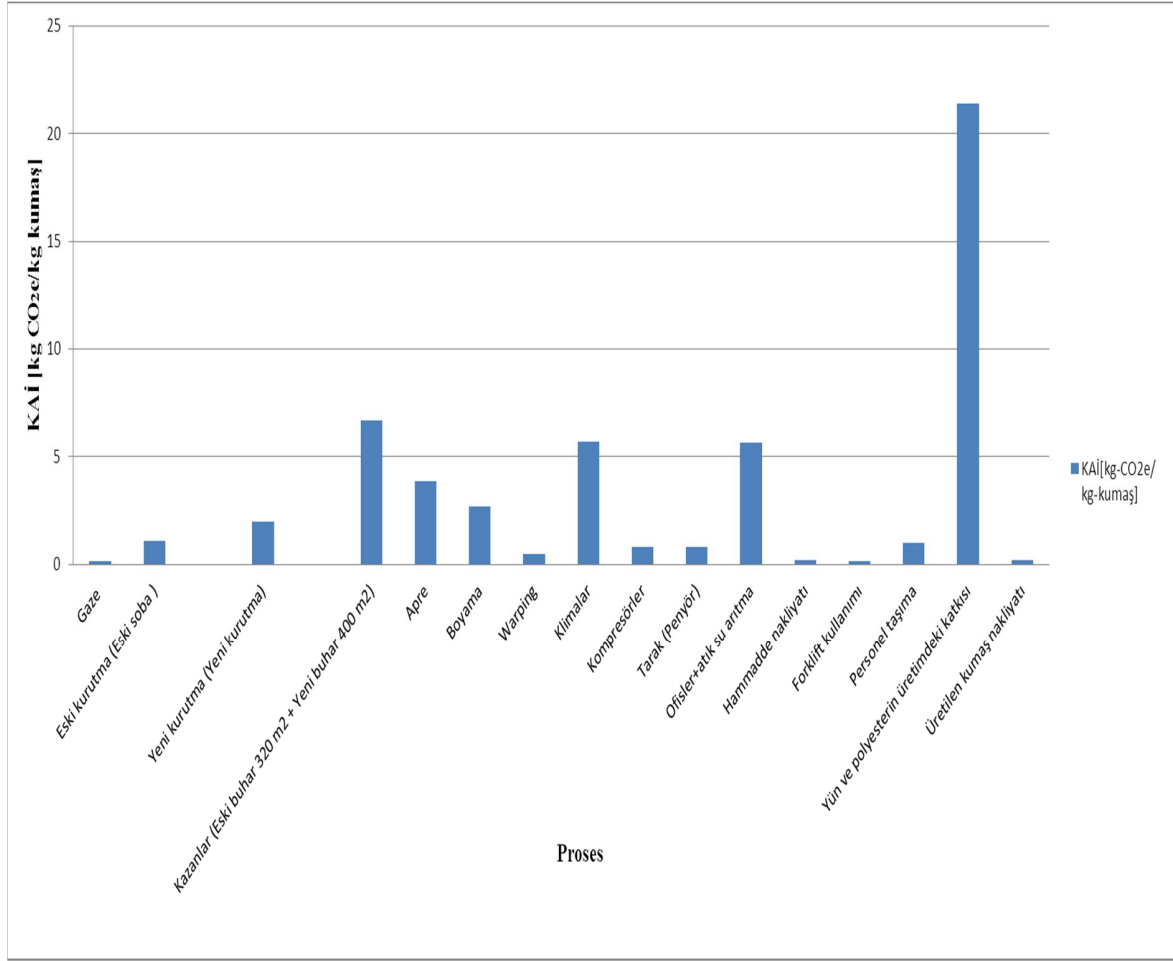
$$\text{EAİ [kWh/kg-kumaş]} = \text{Tüketilen enerji [kWh/yıl]} / \text{Yıllık üretim miktarı [kg-kumaş/yıl]} \quad (4)$$

## 3. SONUÇLAR

İncelenen tekstil firmasında gerçekleştirilen kumaş üretiminin her bir sürecindeki karbon ve enerji ayak izi değerleri yukarıda açıklanan formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

### 3.1. Kumaş tekstil üretim tesisindeki karbon ayak izi hesabı

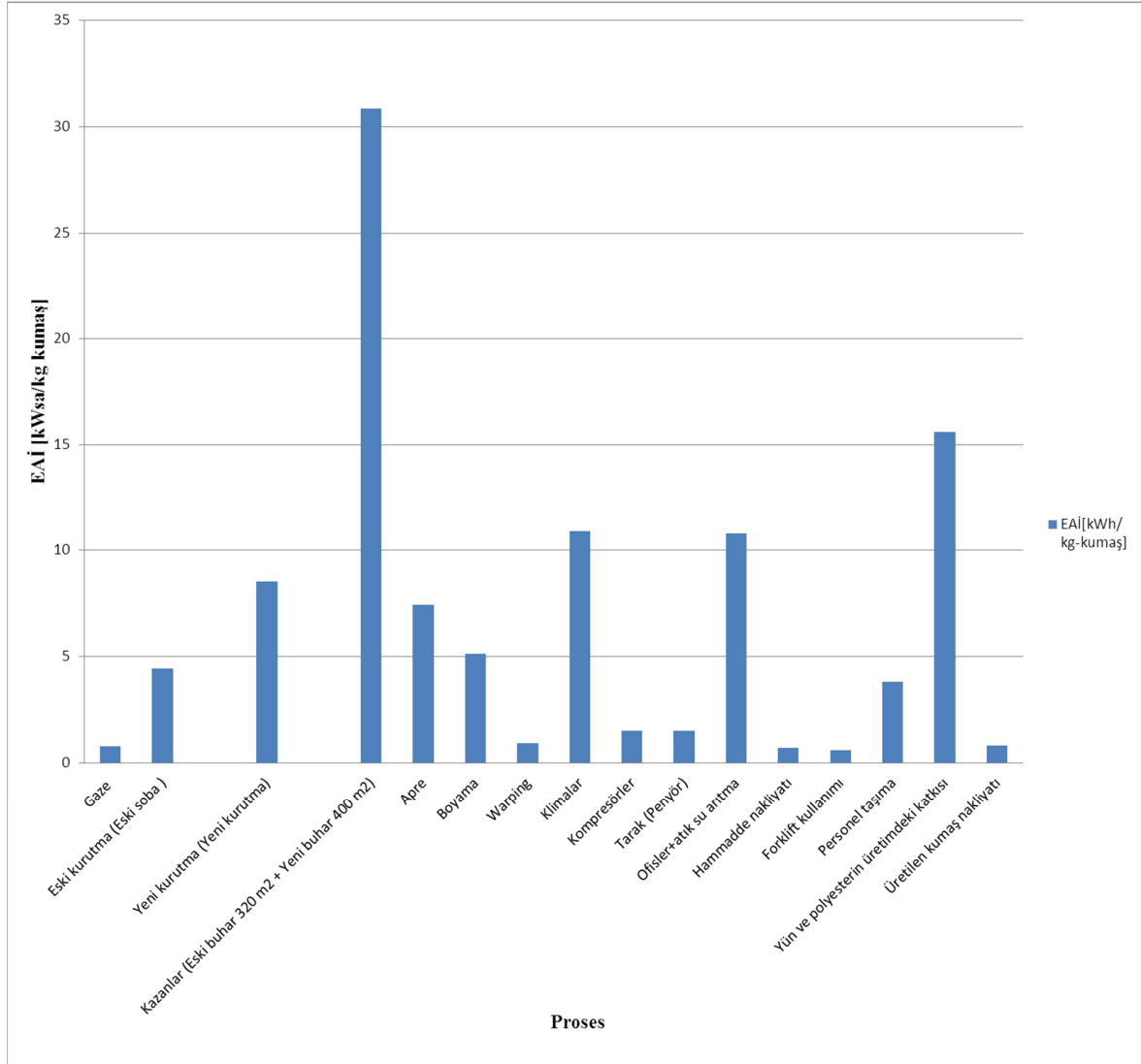
Ele alınan tesisin dışarıdan temin ettiği hammaddelerin üretimleri ve nakliyelerinden kaynaklananlar dahil olmak üzere, kumaş üretiminin gerektirdiği tüm süreçler için karbon ayak izi değerleri dağılımı Şekil 2’de gösterilmiştir. Buradan görülebileceği gibi, hammadde üretiminin oluşturmuş olduğu karbon ayak izi değeri olan 21,4 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-kumaş tüm süreçler arasında en yüksek değeri oluşturmaktadır. Bu değeri sırasıyla kazan dairesi faaliyetleri, iklimlendirme faaliyetleri ve (ofis + atık su arıtma) faaliyetleri takip etmektedir. En düşük karbon ayak izi değerini 0,14 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-kumaş ile gaze işleme oluşturmuştur.



Şekil 2. Hammadde temini ve kumaş üretimi kaynaklı karbon ayak izi değerleri

### 3.2. Kumaş tekstil üretim tesisindeki enerji ayak izi hesabı

Ele alınan tesisin dışarıdan temin ettiği hammaddelerin üretimleri ve nakliyelerinden kaynaklananlar dahil olmak üzere, kumaş üretiminin gerektirdiği tüm süreçler için enerji ayak izi değerleri dağılımı Şekil 3’de gösterilmiştir. Buradan görülebileceği gibi, kazan dairesi faaliyetlerinin oluşturmuş olduğu enerji ayak izi değeri olan 30,8 kWh/kg-kumaş tüm süreçler arasında en yüksek değeri oluşturmaktadır. Bu değeri sırasıyla hammadde olarak kullanılan yün ve polyesterin üretimleri sırasındaki faaliyetler, iklimlendirme faaliyetleri ve (ofis + atık su arıtma) faaliyetleri takip etmektedir. En düşük enerji ayak izi değerini 0,6 kWh/kg-kumaş ile forklift kullanımı kaynaklı faaliyetler oluşturmuştur.



Şekil 3. Hammadde temini ve kumaş üretimi kaynaklı enerji ayak izi değerleri

#### 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

İncelenen kumaş üretim tesisindeki her bir süreç için hesaplanan karbon ve enerji ayak izi değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo1.** Kumaş üretim tesisindeki süreçler için karbon ve enerji ayak izi değerleri

Süreç	KAİ [kg-CO <sub>2</sub> e/kg-kumaş]	EAI [kWh/kg- kumaş]
Gaze	0,14	0,76
Eski kurutma (Eski soba )	1,1	4,42
Yeni kurutma (Yeni kurutma)	2	8,52
Kazanlar (Eski buhar 320 m <sup>2</sup> + Yeni buhar 400 m <sup>2</sup> )	6,67	30,83
Apre	3,88	7,4
Boyama	2,69	5,1
Warping	0,48	0,9
Klimalar	5,69	10,9
Kompresörler	0,79	1,5
Tarak (Penyör)	0,79	1,5
Ofisler+atık su arıtma	5,63	10,8
Hammadde nakliyatı	0,18	0,7
Forklift kullanımı	0,15	0,6
Personel taşıma	1,02	3,8
<b>Tesisin kumaş üretimi kaynaklı</b>	<b>31,2</b>	<b>87,7</b>
Yün ve polyester hammadde üretimi kaynaklı	21,4	15,6
Üretilen kumaş nakliyatı	0,22	0,8
<b>Genel Toplam</b>	<b>52,8</b>	<b>104,1</b>

Tesisteki üretimden kaynaklanan toplam karbon ayak izi 31,2 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-kumaş olarak hesaplanmıştır. Yün ve polyester hammaddelerin üretimleri sırasındaki ve üretilen kumaşların nakliyatı sonucu ortaya çıkan emisyonlar dahil olmak üzere, kumaş üretiminin toplam karbon ayak izi 52,8 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-kumaş olarak bulunmuştur.

Tesisteki üretimden kaynaklanan toplam enerji ayak izi 87,7 kWh/kg-kumaş olarak hesaplanmıştır. Yün ve polyester hammaddelerin üretimleri sırasındaki ve üretilen kumaşların nakliyatı sonucu ortaya çıkan emisyonlar dahil olmak üzere, kumaş üretiminin toplam karbon ayak izi 104,1 kWh/kg-kumaş olarak bulunmuştur.



## 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Tesisin enerji ve karbon ayak izlerinin oluşumunda baskın olan katkıların kazan dairesi faaliyetleri, iklimlendirme faaliyetleri ve (ofis + atık su arıtma tesisi) faaliyetlerinden kaynaklandığı gözlenmiştir.

Ülkemiz açısından tekstil endüstrisindeki karbon ve enerji ayak izlerinin azaltılması son derece önemli bir ekolojik katkı sağlayacağından, aşağıda sunulan önlemler ile çevre odaklı bir üretim sağlanabilecektir ( IPCC, 2003; Federal Environment Agency, 2011):

- Periyodik olarak çalışanlara çevre odaklı üretime yönelik eğitimler verilmesi,
- Makina bakımlarının düzenli olarak yapılması,
- Su ve enerji tüketimi kontrollerinin yapılması,
- Sistemlerdeki boru, vana ve tankların ısı yalıtımlarının yapılması,
- Isı geri kazanım sistemlerinin kullanılması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması,
- Otomatik dozaj ve taşıma sistemlerinin kullanılması,
- Üretimde sıcaklık gibi fiziki parametrelerin otomatik ölçüm ve takiplerinin yapılması,

## KAYNAKLAR

- Atabey, T., 2013, *Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği*, Fırat Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Carbon Trust, 2007. "Carbon Footprint Measurement Methodology, Version 1.1". 27 February 2007, The Carbon Trust, London, UK. <http://www.carbontrust.co.uk>.
- Calculating our carbon footprint convert kWh electricity to kg CO<sub>2</sub>; draft Url-1[http://www.leicsgov.uk/calculating\\_our\\_carbon\\_footprint.pdf](http://www.leicsgov.uk/calculating_our_carbon_footprint.pdf).
- Dhayaneswaran, Y., Ashokkumar, L., 2013, A Study on Energy Conservation in Textile Industry, *J. Inst. Eng. India Ser. B (March–May 2013) 94(1):53–60*, DOI 10.1007/s40031-013-0040-5, India.
- Greenpeace, 1998. Guide to the Kyoto Protocol.
- Federal Environment Agency, Brigitte Zletlow. *lichtl Ethics& Brands*, May 2011, Environmental Standards In The Textile and Shoe Sector-A Guideline On The Basis Of The Brefs-Best Available Techniques Reference Documents Of The EU-Umwelt Bundes Amt

- Guidelines for Measuring and Managing CO<sub>2</sub> emission from Freight Transport Operations, March 2011(draft) Url-2 [http:// www.cefic.org/Documents/IndustrySupport/Transport-andLogistics/Best%20Practice%20Guidelines&20%20General%20Guidelines/CeficECA%20Guidelines%20for%20measuring%20and%20managing%20CO<sub>2</sub>%20emissions%20from%20transport%20operations%20Final%20,30.03.2011.pdf](http://www.cefic.org/Documents/IndustrySupport/Transport-andLogistics/Best%20Practice%20Guidelines&20%20General%20Guidelines/CeficECA%20Guidelines%20for%20measuring%20and%20managing%20CO2%20emissions%20from%20transport%20operations%20Final%20,30.03.2011.pdf)
- IPPC, 2003. Reference document on best available techniques (BAT) for the textiles industry. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), European Commission.
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 10: Emissions from livestock and manure management. Retrieved from [http://www.ipcc nggip.iges .or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_10\\_Ch10\\_Livestock.pdf](http://www.ipcc nggip.iges .or.jp/public/2006gl/pdf/4_10_Ch10_Livestock.pdf).
- IPCC, 2007 Revised 2007 IPCC Guideliness for National Greenhouse Gas Inventories: Revene Manual Intergovermental Panel on Climate ChangeCambridge University Press, Cambridge
- 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.
- Kirchain, R., Olivetti, E., T Reed Miller,T., R., and 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”, Materials Systems Laboratory Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA, 7 October 2015.
- Lowe, J. 1981. Energy Usage and Potential Savings in the Woollen Industry. Wool Industry Research Association. Leeds, UK
- McDougall, F., White, P., Franke, M. & Hindle, P. 2001. Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory. 2nd Edition. Blackwell Science Ltd.
- Ogilvie, S.M. 1992. A Review of the Environmental Impact of Recycling. Report LR 911 (MR) warren Spring Laboratories, Stevenage, UK
- Patel, J., 2006. "Green sky thinking". *Environment Business (122)*: 32.
- Pekin, M., 2006, *Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları* , Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2006, İTÜ

- Steinfeld, H., & Wassenaar, T., 2007. The role of livestock production in carbon and nitrogen cycles. *Annual Review of Environment and Resources*, 32(1), 271–294. doi:10.1146/annurev.energy.32.041806.143508.
- Turanlı, A., 2015, *Estimation of carbon footprint: A case study for Middle East Technical University*, Master Thesis, May 2015, Middle East Technical University.
- Wackernagel, M. and Rees, W., 1996. Urban ecological footprints Why cities cannot be sustainable-And why they are a key to sustainability, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 16, Issues 4-6, July-November 1996,pp223-248.
- Woolridge, A.C., Ward, G.D, Phillips, P.S. Collins, M. & Gandy, S., 2006. Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material: An UK energy saving perspective. *Resources Conservation & Recycling* 46: 94-103.
- 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.