



## PAMUKLU TEKSTİL ÜRETİMİNDE SU AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elif ŞİMŞEK YEŞİL<sup>1\*</sup>, Ayşe DAL<sup>2</sup>, Emrah ÖZTÜRK<sup>3</sup>, Mehmet KİTİŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü/Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>3</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Aksu Mehmet Süreyya Demiraslan Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Mevcut En İyi Teknikler,  
Pamuklu Kumaş,  
Su Ayak İzi,  
Tekstil.*

### Öz

Global ölçekte su kaynakları üzerindeki baskılar giderek artmaktadır. Gelecekte ülkemizin de dâhil olduğu birçok ülkede su kıtlığının yaşanması beklenmektedir. Bu durum tekstil sektörü gibi suyu yoğun kullanarak üretim yapan sektörler için bir endişe kaynağıdır. Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sağlamak için özellikle suyu yoğun kullanan sektörler başta olmak üzere sektörlerin su ayak izi değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada pamuklu tekstil üretiminde yaşam döngüsü boyunca su ayak izi değerleri araştırılmıştır. Bu kapsamda hammadde çıkarma (pamuk üretimi, çırçırılama vb.), pamuklu kumaş üretimi, nakliye, tüketici kullanımı ve kullanım ömrü sonunda elden çıkarma aşamaları için su ayak izi değerleri ve yaşam döngüsü boyunca pamuklu kumaş üretimi için toplam su ayak izi değeri literatür araştırmalarıyla belirlenmiştir. Yaşam döngüsü boyunca pamuklu kumaş üretimi için toplam su ayak izi değerleri 4.573-7.583 m<sup>3</sup>/ton aralığında değişim göstermektedir. Toplam su ayak izi değerinin %93-97'lik kısmını pamuk üretimi ve %2-6'lık kısmını da pamuklu kumaş üretimi oluşturmaktadır. Çırçırılama, nakliye ve tüketici kullanımı için toplam su ayak izi oranları %1 ve toplam su ayak izi değeri ise 55 m<sup>3</sup>/ton olarak bulunmuştur. Dolayısıyla pamuk üretimi, üretim prosesleri ve tüketici kullanımı adımlarında verimlilik tedbirleri uygulayarak pamuklu kumaş için su ayak izinin azaltılması sağlanabilir.

## EVALUATION OF WATER FOOTPRINT IN COTTON TEXTILE PRODUCTION

### Keywords

*Best Available Techniques,  
Cotton Fabric,  
Textile,  
Water Footprint.*

### Abstract

Pressures on water resources are increasing on a global scale. It is expected that there will be water scarcity in many countries, including our country, in the future. This is a concern for industries using water intensively, such as textiles. In order to ensure the sustainable use of water resources, it is necessary to know the water footprint values, especially in the sectors that use water intensively. In this study, water footprint values were investigated throughout the life cycle of cotton textile production. In this context, the water footprint values for (cotton production, ginning) cotton fabric production stage, transportation, consumer use and disposal at the end of life, and the total water footprint value for cotton fabric production throughout the life cycle were determined by literature research. The total water footprint values for cotton fabric production throughout its life cycle vary between 4,573 and 7,583 m<sup>3</sup>/ton. For the total water footprint value, 93-97% is associated with cotton production and 2-6% is from cotton fabric production. Total water footprint rate for ginning, transportation and consumer use was found to be 1% and the total water footprint value was found to be 55 m<sup>3</sup>/ton. Therefore, water footprint reduction for cotton fabric can be achieved by applying efficiency measures in cotton production, production processes and consumer use steps.

### Alıntı / Cite

Şimşek Yeşil, E., Dal A., Öztürk E., Kitiş M. (2023). Pamuklu Tekstil Üretiminde Su Ayak İzinin Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1167-1173.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Şimşek Yeşil, 0000-0002-7884-8912  
A. Dal, 0000-0002-5389-1914  
E. Öztürk, 0000-0001-6421-6474  
M. Kitiş, 0000-0002-6836-3129

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	03.04.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.07.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	28.07.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: elifsimsekbursa@gmail.com , +90-246-341-2363

## EVALUATION OF WATER FOOTPRINT IN COTTON TEXTILE PRODUCTION

Elif ŞİMSEK YEŞİL<sup>1†</sup>, Ayşe DAL<sup>2</sup>, Emrah ÖZTÜRK<sup>3</sup>, Mehmet KITIŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geological Engineering/Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

<sup>2</sup> Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

<sup>3</sup> Department of Environmental Protection Technologies, Aksu Mehmet Sureyya Demiraslan Vocational School, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Turkey

---

### Highlights

- Water footprint values were investigated throughout the life cycle of cotton textile production.
- Total water footprint values for cotton fabric production throughout its life cycle vary between 4,573 and 7,583 m<sup>3</sup>/ton.
- For the total water footprint value, 93-97%: cotton production and 2-6%: cotton fabric production.
- Total water footprint rates for ginning, transportation and consumer use were found to be 1% and the total water footprint value was found to be 55 m<sup>3</sup>/ton.

---

### Purpose and Scope

The main purpose of this study was to determine the water footprint for cotton fabric production throughout its life cycle and to offer best water control and reduction measures.

### Design/methodology/approach

In this study, the water footprint of cotton textile production was investigated. It consists of 5 stages: raw material extraction, cotton fabric production stage, transportation, consumer use, and end-of-life disposal. Blue, green and gray water footprints that may occur at these stages were examined. In addition, the total water footprint value of the cotton textile product throughout its life cycle was calculated and measures to be taken to reduce the water footprint were presented.

### Findings

Water footprint values for cotton production vary between 4,426 and 7,066 m<sup>3</sup>/ton. The blue water footprint for ginning is specified as 40 m<sup>3</sup>/ton. In line with this data, 40 m<sup>3</sup>/ton was taken as the total water footprint value during the ginning phase. Water footprint values vary between 91.76 and 462 m<sup>3</sup>/ton at the cotton fabric production stage. Water footprint values were found to be 0.004 m<sup>3</sup>/ton and 15 m<sup>3</sup>/ton, respectively, during the transportation and consumer use phases. Only average values of the literature data were included during the ginning, transportation and consumer use stages. Total water footprint values in cotton textile production vary between 4,573 and 7,583 m<sup>3</sup>/ton throughout its life cycle.

### Originality

The total water footprint value obtained from this study for cotton fabric production will make a significant contribution to researchers, industries and decision-makers. In addition, reducing total water footprint, which covers the processes from raw material production to disposal of a textile product, will create awareness in other studies and full-scale applications.

---

<sup>†</sup> Corresponding author: elifsimsekbursa@gmail.com, +90-246-341-2363

## 1. Giriş (Introduction)

Dünyadaki toplam su varlığı yaklaşık 1.4 milyar km<sup>3</sup> olup (Kara ve Gürel, 2013) sanayi için su kullanımı ortalama %20 oranındadır (Çapar ve Yetiş, 2018). Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2018 yılı verilerine göre Türkiye'de sanayi ve içme-kullanma su kullanım oranı ise ortalama %23 seviyesindedir (TOB, 2021). Bu oranın 2030 yılında artış göstermesi beklenmektedir (Çapar ve Yetiş, 2018). 2010'ların başlarından ortasına kadar 1,9 milyar insan potansiyel olarak ciddi şekilde su kıtlığı olan bölgelerde yaşamıştır. 2050' de bu sayı 2,7-3,2 milyar kişi olarak artış göstermesi beklenmektedir (Boretti ve Rosa, 2019). Endüstriyel su tüketimindeki beklenen artışın, iklim değişikliğinin su kaynaklarına olan etkisi ve diğer baskılar nedeniyle yakın gelecekte ülkemiz için ciddi bir sorun olabileceği öngörülmektedir (Çapar ve Yetiş, 2018). Bununla birlikte su kaynaklarının miktar olarak azalması sonucu suyu yoğun tüketen imalat sektörlerinin etkileneceği de düşünülmektedir. Bu sektörler arasında kaybedilen su miktarının en yüksek olduğu ilk üç sektör; gıda ürünleri imalatı, tekstil ürünleri imalatı ve metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı olarak öne çıkmaktadır (Çapar ve Yetiş, 2018).

İklim değişikliği ve su krizinden olumsuz yönde etkilenecek sektörlerin başında tekstil sektörü gelmektedir (Çapar ve Yetiş, 2018). Tekstil sektöründe pamuk üretimi aşamasında su yoğun olarak kullanılmaktadır. Türkiye'nin pamuk üretimi için ton başına toplam su ayak izi değeri 6.836 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Sadece bu aşamada değil pamuklu kumaş üretimi aşamasında da suya diğer aşamalara göre daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye'de tekstil sektöründe tipik su tüketimi 70-350 m<sup>3</sup>/ton aralığında değişmektedir (Ozturk vd., 2016). Bir diğer çalışmada ise pamuklu kumaş boyama ve terbiyesinde spesifik su tüketim değeri 80-200 m<sup>3</sup>/ton olarak belirtilmiştir (Raja vd., 2019). Gelecekte su kaynaklarında miktarsal azalmalar olduğu takdirde su kıtlığı meydana gelecektir. Bu durumda tekstil üretimi gibi yoğun su tüketen sektörlerde su verimliliğini esas alan uygulamaların hayata geçirilmesi önem taşımaktadır. Bunun için su ayak izinin yaşam döngüsü boyunca bilinmesi faydalı olacaktır. Böylelikle su ve atıksu, suyla ilişkili enerji maliyetlerinin azaltılması, daha düşük çevresel etki ve firma imajının iyileştirilmesi gibi birçok konuda fayda sağlayacaktır.

Bu çalışmada, pamuklu tekstil ürünlerinin yaşam döngüsü boyunca su ayak izi değerleri araştırılmış ve su ayak izinin azaltılmasına yönelik tedbirler sunulmuştur. Pamuk üretimi, çırçırılama, pamuklu kumaş üretimi, nakliye, tüketici kullanımı ve kullanım ömrü sonunda elden çıkarma gibi aşamaların su ayak izi incelenmiştir. Bu çalışmanın ana amacı, yaşam döngüsü boyunca pamuklu kumaş üretimi için su ayak izini belirlemek ve su kullanımının en iyi şekilde azaltılmasını sağlayacak tedbirleri sunmaktır. Bu çalışma sonucunda elde edilen toplam su ayak izi değeri bu konuda çalışan araştırmacılara önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca bir tekstil ürününün ham madde üretiminden bertarafına kadar olan sürecini kapsayan toplam su ayak izi verilerinin tedbirler sonucunda azaltılması diğer çalışmalar ve uygulamalar için de bir farkındalık oluşturacaktır.

## 2. Su Ayak İzi (Water Footprint)

Su ayak izi; bir ürünün üretiminde kullanılan su miktarını veya bireyin kullandığı su miktarını ifade eden bir kavramdır (WFN, 2019). Ayrıca bireyin ya da ürünün dolaylı su tüketimini de hesaplamaktadır (Hoekstra vd., 2011). Su ayak izi; mavi, yeşil ve gri su ayak izi olarak bilinen öğelerden oluşmaktadır. Mavi su ayak izi, yüzey sularından (göller, nehirler, rezervuarlar) ve yeraltı suyundan (akiferler) çekilen tatlı su hacmidir (McLellan vd., 2014). Mavi su ayak izinde kullanılan suyun geri döngüsü olmamaktadır (Hoekstra vd., 2011). Yeşil su ayak izi, geçici olarak toprak veya bitki örtüsü üzerinde kalan yağmur suyunun tüketimini ifade etmektedir (Franke ve Mathews, 2013). Gri su ayak izi ise kirleticileri kabul edilebilir su kalitesi seviyesine ulaştırmak için seyreltmede kullanılan su hacmi olarak tanımlanabilir (Hoekstra vd., 2011).

## 3. Pamuklu Tekstil Üretiminde Su Ayak İzi (Water Footprint in Cotton Textile Production)

Bu çalışmada pamuklu tekstil üretiminin su ayak izi araştırılmıştır. Pamuklu tekstil üretimi hammadde çıkarma, pamuklu kumaş üretim aşaması, nakliye, tüketici kullanımı ve kullanım ömrü sonunda elden çıkarma olmak üzere 5 aşamadan oluşmaktadır (Tablo 1). Her bir aşamada oluşabilecek mavi, yeşil ve gri su ayak izleri incelenmiştir (Şekil 1). Ayrıca pamuklu tekstil ürününün yaşam döngüsü boyunca toplam su ayak izi değeri hesaplanmış ve su ayak izinin azaltılmasına yönelik önlemler sunulmuştur.

**Tablo 1.** Pamuklu kumaş için yaşam döngüsü adımları (Life cycle steps for cotton fabric) (Luo vd., 2022)

Pamuklu Kumaş İçin Yaşam Döngüsü Adımları	İşlem
Hammadde çıkarma	Pamuk üretimi
	Çırcır
	İplik üretimi
Pamuklu kumaş üretim	Dokuma
	Apre
	Giysi imalatı
	Kot yıkama
Nakliye	Hammadde taşımacılığı
	İplik taşımacılığı
	Kumaş taşımacılığı
Tüketici kullanımı	Yıkama
	Kurutma
	Ütüleme
Kullanım ömrü sonunda elden çıkarma	Ger dönüşüm
	Atık bertarafı



\*Terbiye-boyama işlemlerinde su tüketimi mevcuttur.

**Şekil 1.** Pamuklu kumaş yaşam döngüsü basamakları ve su kullanım noktaları (Cotton fabric life cycle steps and water usage points)

### 3.1. Hammadde Çıkarma Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint in Raw Material Extraction)

#### 3.1.1. Pamuk Üretimi Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint During Cotton Production)

Pamuk üretiminde önde gelen ülkelerden biri olan Özbekistan'ın pamuk üretimi için mavi su ayak izi değeri 4.171 m<sup>3</sup>/ton olarak hesaplanmıştır (Aldaya vd., 2010). Türkmenistan'ın pamuk üretimi için mavi su ayak izi değeri ise 6.875 m<sup>3</sup>/ton olarak bulunmuştur (Aldaya vd., 2010). İspanya'da pamuk üretimi için mavi su ayak izi değeri 4.380 m<sup>3</sup>/ton olarak hesaplanmıştır (Chico vd., 2013). Türkiye'nin pamuk üretimi için mavi su ayak izi değeri ise 5.271 m<sup>3</sup>/ton olarak hesaplanmıştır (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Buna göre global ölçekte pamuk üretiminde mavi su ayak izi değerleri 4.171-6.875 m<sup>3</sup>/ton arasında değişmektedir.

Özbekistan'ın pamuk üretimi için yeşil su ayak izi değeri 255 m<sup>3</sup>/ton olarak hesaplanmıştır (Aldaya vd., 2010). Türkmenistan'ın pamuk üretimi için yeşil su ayak izi değeri 191 m<sup>3</sup>/ton olarak bulunmuştur (Aldaya vd., 2010). İspanya'da pamuk üretimi için yeşil su ayak izi değeri 422 m<sup>3</sup>/ton olarak hesaplanmıştır (Chico vd., 2013). Türkiye'nin pamuk üretimi için yeşil su ayak izi değeri 1.076 m<sup>3</sup>/ton olarak hesaplanmıştır (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Buna göre global ölçekte pamuk üretiminde yeşil su ayak izi değerleri 191-1.076 m<sup>3</sup>/ton arasında değişmektedir.

İspanya'da pamuk üretimi için gri su ayak izi değeri 326 m<sup>3</sup>/ton olarak hesaplanmıştır (Chico vd., 2013). Türkiye'nin pamuk üretimi için gri su ayak izi değeri 490 m<sup>3</sup>/ton olarak bulunmuştur (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Buna göre global ölçekte pamuk üretiminde gri su ayak izi değerleri 326-490 m<sup>3</sup>/ton arasında değişmektedir. Pamuk üretimi aşamasında Tablo 2'de belirtilen çalışmalara göre mavi, yeşil ve gri toplam su ayak izi değerleri 4.426-7.066 m<sup>3</sup>/ton arasında değişiklik göstermektedir.

**Tablo 2.** Ülkeler bazında pamuk üretimi aşaması su ayak izi (Water footprint of cotton production stage for various countries)

Ülkeler	Mavi su ayak izi (m <sup>3</sup> /ton)	Yeşil su ayak izi (m <sup>3</sup> /ton)	Gri su ayak izi (m <sup>3</sup> /ton)	Toplam (m <sup>3</sup> /ton)	Referanslar
Türkmenistan	6.875	191	-1	7.066	Aldaya vd., 2010
Özbekistan	4.171	255	-1	4.426	Aldaya vd., 2010
Türkiye	5.271	1.076	490	6.837	Mekonnen ve Hoekstra, 2010
İspanya	4.380	422	326	5.128	Chico vd., 2013

<sup>1</sup>Veri mevcut değildir.

Pamuk üretimi aşamasında diğer aşamalara göre daha yüksek oranda su ayak izi bulunmaktadır. Su tasarrufu sağlamak ve su ayak izinin azaltılmasında belirli teknikler kullanılabilir. Tarımsal sulama yöntemleri, yüzey sulama, basınçlı sulama ve yüzey altı sulama şeklinde sınıflandırılmaktadır (Çetin vd., 2010). Su tasarrufu için daha verimli tarımsal sulama faaliyetlerinin yaygınlaştırılması etkili olabilir. Pamuk üretiminde kullanılan pestisit ve kimyasalların azaltılması ve buna bağlı olarak gri su ayak izinin ortadan kaldırılması sonucunda toplam su ayak izi %1 oranında azaltılabilir (URS, 2012).

### 3.1.2. Çırcırlama Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint in Ginning)

Çırcırlama işleminde pamuk tiftiği pamuk tohumundan ayrılmaktadır. Çırcırlama işlemi ısıtıcı, ayırıcı, doldurma kontrolü, nem giderme/ilavesi, taşıyıcı, klima/dağıtıcı, çırcır standı ve balya presinden oluşmaktadır (Abuhay vd., 2021). Çırcırlama aşamasında su ayak izi hesaplamak için kuru pamuğun nemlendirilmesinde kullanılan su hesaplamaya dâhil edilmektedir. Bunun amacı yangın riskini önlemek ve endüstriyel aşamaları kolaylaştırmaktır. İspanya'da çırcırlama aşaması için mavi su ayak izi değeri 40 m<sup>3</sup>/ton olarak bulunmuştur (Chico vd., 2013).

### 3.2. Pamuklu Kumaş Üretim Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint in Industrial Production)

İspanya'da pamuklu kumaş üretiminin mavi su ayak izi değeri 91,76 m<sup>3</sup>/ton olarak bulunmuştur (Chico vd, 2013). İngiltere'nin pamuklu kumaş üretimi mavi su ayak izi ve gri su ayak izi değeri sırasıyla 57,4 m<sup>3</sup>/ton ve 404,2 m<sup>3</sup>/ton olarak bulunmuştur. İngiltere'nin toplam pamuklu kumaş üretimi toplam su ayak izi değeri 462 m<sup>3</sup>/ton olarak hesaplanmıştır (URS, 2012). Türkiye'de proses bazlı mavi su ayak izi değeri 118 m<sup>3</sup>/ton olarak bulunmuştur (Dal, 2020). Pamuklu kumaş üretimi aşamasında haşıl sökme, merserizasyon, ağartma, boyama, baskı ve apre prosesleri için mavi su ayak izi değerleri sırasıyla 1-22,2 m<sup>3</sup>/ton, 1-61 m<sup>3</sup>/ton, 1-93,2 m<sup>3</sup>/ton, 0,4-330 m<sup>3</sup>/ton, 13-394 m<sup>3</sup>/ton ve 0,03-148 m<sup>3</sup>/ton'dur (IPPC BREF, 2023). Diğer çalışmalarda ise pamuklu dokuma kumaş terbiye ve boyama/baskı prosesleri için mavi su ayak izi değeri 80-86 m<sup>3</sup>/ton olarak hesaplanmıştır (Demirel, 2019). Pamuklu kumaş boyama ve terbiyesinde mavi su ayak izi değeri 80-200 m<sup>3</sup>/ton olarak değişiklik göstermektedir (Raja vd., 2019). Buna göre global ölçekte pamuklu kumaş üretiminde su ayak izi değerleri 91,76-462 m<sup>3</sup>/ton arasında değişmektedir.

Pamuklu kumaş üretiminde su ayak izi değerleri çok değişken olmaktadır. Dolayısıyla su tüketimini azaltmak için temiz üretim teknikleri uygulanmalıdır. Temiz üretim kavramı, endüstrilerde kaynak hattından ürün hattına kadar olan kısımda bütüncül ve ortaya çıkan sorunları önleyici bir yaklaşıma sahiptir. Temiz üretim tekniklerinin uygulanması için Avrupa Birliği (AB) Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC) bürosu tarafından 'Mevcut En İyi Teknikler (MET/BAT) Sektörel Referans Dokümanları (BREF)' hazırlanmıştır. Tekstil sektörüne özgü "Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Tebliği (TSEKÖKT)" ve IPPC Tekstil BREF dokümanları bulunmaktadır. Belirtilen dokümanlar içerisinde pamuklu kumaş üretimine dair MET'ler yer almaktadır. Ayrıca literatürde ve sahada pamuklu kumaş üretimine dair iyi uygulama örnekleri de bulunmaktadır. Pamuklu kumaş üretiminde uygun tekniklerin/MET'lerin uygulanmasıyla su tasarrufu sağlanabilmektedir.

Su tasarrufu sağlamak için yönetimsel tedbirler (çevre yönetim sistemi, izleme-kontrol, otomasyon vb.), su verimliliği yüksek teknolojiler ve ekipmanlar kullanılmalı, uygun atıksu akımlarının geri kullanımı ve alternatif su kaynaklarının kullanılması sağlanmalı ve son olarak da proses modifikasyonları uygulanmalıdır. Tekstil endüstrisinde belirlenen atıksuların doğrudan yeniden kullanımıyla %16-25 oranında su tüketiminin azaltılabileceği sonucuna varılmıştır (Oztürk ve Cinperi, 2018). Tekstil endüstrisinde yıkama ve durulama sularının arıtılmadan geri kullanımıyla %30-70 oranında su tasarrufu sağlanabilmektedir (USEPA, 2008; LCPC, 2010). Tekstil işletmesinde uygun atıksu akımlarının arıtılarak uygun proseslerde tekrar kullanılması tekniği ile %29-55 oranında su tüketiminde azalma sağlanabileceği ifade edilmiştir (Öztürk, 2014). Durulama suyunun arıtılmadan mümkün olan proseslerde kullanılması tekniği uygulanarak %6-21 oranında su tasarrufu sağlanabileceği belirtilmiştir (Demirel, 2019).

### 3.3. Nakliye Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint in Shipping)

Nakliye aşaması hammadde taşımacılığı, iplik taşımacılığı ve kumaş taşımacılığı olmak üzere 3 adımda gerçekleşmektedir. Böylelikle su ayak izi sonuçları aşamalara ve yakıt türüne göre farklılık göstermektedir (Luo vd., 2022). İngiltere’de nakliye için mavi su ayak izi değeri 0,004 m<sup>3</sup>/ton olarak bulunmuştur (URS, 2012).

### 3.4. Tüketici Kullanımı Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint for Consumer Use)

Tekstil kullanımında tüketici davranışına bağlı olarak çok fazla su tüketilebilir. Giysi ütülemede minimum su tüketimi olduğundan kullanıcı su ayak izine dâhil edilmemiştir. İngiltere’de tüm giysiler için yıkama sayısı aynı kabul edilmiştir. İngiltere’nin pamuklu tekstil ürünü kullanıcı mavi su ayak izi 15 m<sup>3</sup>/ton olarak bulunmuştur. Başka bir bilimsel çalışmada diğer hammaddelerden elde edilen ürünün kullanıcı mavi su ayak izi 14,5 m<sup>3</sup>/ton’dur (URS, 2012). Su ayak izini azaltmak için gerekli tedbirler uygulanarak tasarruf sağlanabilir. Ürün ömrünün uzatılması, liflerin dayanıklılığının artırılması, tüketici davranışlarının hızlı ve tek kullanımlık modadan uzaklaştırılması sonucunda %10-33 aralığında tasarruf sağlanabilmektedir (URS, 2012). Giysilerin yıkama gereksinimlerinin azaltılması ve daha az kimyasal ürünlerin kullanımı sonucu yılda %10-15 oranında yıkamalarda azaltım sağlanabilir (URS, 2012).

### 3.5. Kullanım Ömrü Sonunda Elden Çıkarma Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint at End-of-Life Disposal)

Çekya’da yürütülen çalışmada tekstil atığının bertarafı çöp kutusuna atılması, evdeki katı yakıtlı kazanda yakılması, tekstil toplama kabına atılması, aileye veya arkadaşaya verilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca başka bertaraf yöntemleri olarak da ikinci el eşya olarak kullanım, doğrudan hayır kurumuna bağış yapma ve doğrudan atık toplama alanına götürülme yöntemleri ile bertarafının yapılabileceği ortaya konulmuştur (Nenckova vd., 2020). Diğer bir çalışmada tekstil atığının bağışlama, yeniden kullanım, geri dönüşüm veya yakma için toplandığı belirtilmiştir. Bu çalışmada tekstil atığının yakılarak bertaraf edildiği kabul edilmiştir. Yakılarak bertaraf edilen ürünün su ayak izi 0,0006 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur (Muthukumar, 2020).

## 4. Pamuklu Kumaşın Toplam Su Ayak İzi (Total Water Footprint of Cotton Fabric)

Literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınarak ülkeler bazında belirtilmiş veriler toplanarak minimum ve maksimum değerler elde edilmiştir. Pamuk üretimi için toplam (mavi-yeşil-gri) su ayak izi değerleri 4.426-7.066 m<sup>3</sup>/ton arasında değişiklik göstermektedir. Çırcırlama için mavi su ayak izi değeri 40 m<sup>3</sup>/ton olarak belirtilmiştir. Bu veri doğrultusunda çırcırlama aşamasında toplam su ayak izi değeri olarak 40 m<sup>3</sup>/ton esas alınmıştır. Pamuklu kumaş üretimi aşamasında su ayak izi değerleri 91,76-462 m<sup>3</sup>/ton arasında değişim göstermektedir. Nakliye ve tüketici kullanımı aşamasında su ayak izi değerleri sırasıyla 0,004 m<sup>3</sup>/ton ve 15 m<sup>3</sup>/ton olarak bulunmuştur. Çırcırlama, nakliye ve tüketici kullanımı aşamalarında literatürden edinilen bilgi dahilinde sadece ortalama değerlere yer verilmiştir. Pamuklu tekstil üretiminde yaşam döngüsü boyunca toplam su ayak izi değerleri 4.573-7.583 m<sup>3</sup>/ton arasında değişiklik göstermektedir.

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma kapsamında pamuklu tekstil ürününün yaşam döngüsü boyunca oluşabilecek su ayak izi araştırılmıştır. Farklı aşamalarda oluşan su ayak izi değerleri literatürden elde edilmiştir. Ancak tekstil ürününün yaşam döngüsü boyunca su ayak izi çalışması literatürde nadir bulunmaktadır. Bu çalışmada ülke bazlı hammadde çıkarma, üretim prosesleri, nakliye, tüketici kullanımı ve kullanım ömrü sonunda elden çıkarma aşamaları için su ayak izi araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda Türkiye verilerinin diğer ülkelerin verileri ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Yaşam döngüsü boyunca pamuklu kumaş üretimi için toplam su ayak izi değerleri 4.573-7.583 m<sup>3</sup>/ton aralığında değişim göstermektedir. Toplam su ayak izi değerinin %93-97’lik kısmı pamuk üretimi ve %2-6’lık kısmı pamuklu kumaş üretiminden oluşmaktadır. Çırcırlama, nakliye ve kullanıcı için toplam su ayak izi oranı ise %1’dir. Literatürde yer alan çalışmalardaki su ayak izi miktarı, uygulamada elde ettiğimiz sonuçtan fazla olabilmektedir. Bunun sebebi pamuk üretiminde sulama yönteminin ve tüketilen yağmur suyu miktarının farklılık göstermesi olabilir. Pamuk üretim miktarında; ekili alan ve tesis üretim miktarı verileri farklı olabileceğinden toplam su ayak izinde farklı sonuçlar elde edilebilir. Bu çalışma sonucunda pamuk üretiminde su kullanımının azaltılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Su ayak izini azaltmak ve su tasarrufu sağlamak adına teknikler/MET’ler kullanılabilir. Pamuk üretimi ve üretim prosesleri aşamasında önerilen tekniklerin/MET’lerin kullanımı sonucunda belirli oranlarda su tasarrufu sağlanacaktır. Diğer bilimsel çalışmalarda pamuk üretiminde, sulamada iyileştirmeye yönelik konulara yer verilebilir. Gelecekte, gerçek ölçekli uygulamalarda, tekstil hammaddelerinin yetiştirilmesi/üretiminden son ürünün bertarafına kadar (beşikten-mezara) farklı lif türleri için su ayak izinin hesaplandığı bilimsel çalışmalar yapılabilir.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Yazar Elif ŞİMŞEK, Yükseköğretim Kurulu (YÖK) 100/2000 Doktora Programı ve TÜBİTAK 2211/A Yurtiçi Genel Doktora Burs Programı kapsamında “Sürdürülebilir Su Kaynakları” tematik alanında doktora bursiyeridir. Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (SDÜ BAP, Proje No: FDK-2022-8638) ve YÖK 100/2000 Doktora Programı tarafından finansal olarak desteklenmiştir. Yazarlar, SDÜ BAP Birimi, YÖK ve TÜBİTAK’a destekleri için teşekkür eder.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Abuhay, A., Mengie, W., Tesfaye, T., Gebino, G., Ayele, M., Haile, A., Yillie, D., 2021. Opportunities for new biorefinery products from Ethiopian ginning industry by-products: Current status and prospects. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6(3), 195-214. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.04.001>
- Aldaya, M.M., Hoekstra, A.Y., 2010. Water Footprint of Cotton, Wheat and Rice Production in Central Asia. Value of Water Research Report 41. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft.
- Boretti, A., Rosa, L., 2019. Reassessing the projections of the world water development report. *NPJ Clean Water*, 2(1), 15. <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
- Chico, D., Aldaya, M. M., Garrido, A., 2013. A water footprint assessment of a pair of jeans: the influence of agricultural policies on the sustainability of consumer products. *Journal of Cleaner Production*, 57, 238-248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.001>
- Çapar, G., Yetiş, Ü., 2018. Sanayide Su Verimliliğinin Ülkemizdeki Durumu. *Anahtar dergisi*.
- Çetin, Ö., Eylen, M., Sönmez, F. K., 2010. Basınçlı sulama sistemlerinin su kaynaklarının etkin kullanımındaki rolü ve mali desteklerin bu sistemlerin yaygınlaşmasındaki etkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 53-57. ISSN: 1308-3945
- Dal, A., 2020. Entegre bir tekstil baskı-boyama işletmesinde su ve karbon ayak izlerinin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76s, Isparta.
- Demirel, Y. E., 2019. Entegre Bir Tekstil İşletmesinde Temiz Üretim Uygulamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 211s, Isparta.
- Franke, N., Mathews, R., 2013. C&A's water footprint strategy: cotton clothing supply chain. Water Footprint Network, Enschede, Netherlands & C&A Foundation, Zug, Switzerland.
- Hoekstra, A. Y., Chapagin A. K., Aldaya M. M., Mekonnen M. M., 2011. The Water Footprint Assessment Manual. Earthscan, Washington, 206.
- IPPC BREF, 2023. 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.
- Kara, T., Gürel, C., 2013. Farklı su derinliklerinin çeltik verimine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(2), 82-86. <https://doi.org/10.7161/anajas.2013.282.82>
- Lebanese Cleaner Production Center (LCPC), 2010. Cleaner Production Guide for Textile Industries. Lebanese Cleaner Production Center Cleaner Production, Beirut, 75s.
- Luo, Y., Wu, X., Ding, X., 2022. Carbon and water footprints assessment of cotton jeans using the method based on modularity: A full life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 332, 130042. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130042>
- McLellan, R., Iyengar, L., Jeffries, B., Oerlemans, N., 2014. Living planet report 2014: species and spaces, people and places. WWF International. ISBN: 978-2-940443-87-1
- Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y., 2010. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 12590-1276. doi:10.5194/hess-14-1259
- Muthukumar, R., 2020. LCA Based Water Footprint Assessment for a White Shirt.
- Nenckova, L., Pecáková, I., Šauer, P., 2020. Disposal behaviour of Czech consumers towards textile products. *Waste Management*, 106, 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.001>
- Ozturk, E., Cinperi, N. C., 2018. Water Efficiency and Wastewater Reduction in an integrated Woolen Textile Mill. *Journal of Cleaner Production*, 201, 686- 696. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.021>
- Ozturk, E., Koseoglu, H., Karaboyacı, M., Yigit, N. O., Yetis, U., Kitis, M., 2016. Minimization of water and chemical use in a cotton/polyester fabric dyeing textile mill. *Journal of cleaner production*, 130, 92-102. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.080>
- Öztürk, E., 2014. Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü ve Temiz Üretim Uygulamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 484s, Isparta.
- Raja, A.S.M., Arputharaj, A., Saxena, S., Patil, P.G., 2019. Water Requirement and Sustainability of Textile Processing Industries. Muthu, S.S. (Ed.), *Water in Textiles and Fashion Consumption, Footprint, and Life Cycle Assessment (155-173)*, Woodhead Publishing, 214s. ISBN: 978-0-08-102633-5
- Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB), 2021. Erişim Tarihi: 08.01.2023 Su Verimliliği Grubu Çalışma Belgesi. [https://cdn.niys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/467/Sayfa/1497/1861/DosyaGaleri/su\\_verimliliği\\_grubu\\_calisma\\_belgesi.pdf](https://cdn.niys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/467/Sayfa/1497/1861/DosyaGaleri/su_verimliliği_grubu_calisma_belgesi.pdf)
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2008. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) 2008 Report on the Environment (ROE). <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/9043>.
- URS, 2012. Review of Data on Embodied Water in Clothing Summary Report. Rapor No: 49352469, 55s.
- Water Footprint Network (WFN), 2019. Erişim Tarihi: 08.10.2019. What is Water Footprint Assessment. <http://https://www.waterfootprint.org/water-footprint-2/what-is-a-water-footprint/>.