

## Hazır giyim sektöründe temiz üretim uygulamalarının çevresel kazanımlarının araştırılması

### Investigation the environmental benefits of cleaner production practices in the apparel industry

Nurdan BÜYÜKKAMACI<sup>1\*</sup>, Sema BAHAR ERDEM<sup>2</sup>, Şafak BİROL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

nurdan.buyukkamaci@deu.edu.tr

<sup>2</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

semabaharerdem@gmail.com

<sup>3</sup>TYH Tekstil, AŞ, İzmir, Türkiye.

safakbirol@tyh.com.tr

Geliş Tarihi/Received: 05.07.2022  
Kabul Tarihi/Accepted: 22.12.2022

Düzeltilme Tarihi/Revision: 19.12.2022

doi: 10.5505/pajes.2022.13794  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Hazır giyim sektöründe Dünya’da söz sahibi olmak isteyen firmalar, sürdürülebilirlik stratejileri doğrultusunda, çevreye en az zarar verecek seçenekleri araştırmaktadır ve bu amaçla yaygın olarak yaşam döngüsü analizi (YDA) yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu çalışmada da, YDA yaklaşımı ile hazır giyim fabrikalarında daha sürdürülebilir üretim gerçekleştirilmesi için uygulanabilecek farklı alternatiflerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. YDA çalışmaları, konfeksiyon işlemleri gerçekleştiren bir fabrikanın sahasından alınan veriler ile gerçekleştirilmiştir. Fonksiyonel birim, sevkisyata hazır bir adet kapüşonlu giysi olarak seçilmiştir ve öncelikle bu ürünün mevcut çevresel etkileri beşikten kapıya yaklaşım ile belirlenmiştir. Daha sonra sadece konfeksiyon aşamasında yapılabilecek iyileştirmelerin belirlenmesi için kapıdan kapıya sistem sınırı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında dört adet senaryo oluşturulmuş ve her bir senaryonun çevresel etkileri mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Yaşam döngüsü analizleri GaBi 6.0 LCA yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Seçilen etki kategori yöntemi ise CML-2001’dir. Yapılan analizler sonucunda, en iyi sonuçlar, tüm uygulamalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile birlikte nakliye yakıt türü olarak biyodizel kullanılmasını temsil eden Senaryo 5 ile elde edilmiştir. Bu senaryonun uygulanması durumunda mevcut duruma (Senaryo 1) göre küresel ısınma, asitleşme ve abiyotik tükenme kategorilerinde sırasıyla %74.40, %84.32 ve %60.91 oranında çevresel etkilerinin azalacağı belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hazır giyim, Yaşam döngüsü analizi, Sürdürülebilirlik, Temiz üretim, Yenilenebilir enerji.

#### Abstract

Apparel companies that corner the market, in line with their sustainability strategies, are looking for options that will cause the least harm to the environment, and life cycle analysis (LCA) approach is widely used for this purpose. The aim of this study is to determine the environmental effects of a hoodie with the LCA and to evaluate different alternatives for more sustainable production of this product. LCA studies were carried out with data obtained from the field of a factory that performs garment operations. The functional unit is a ready-to-shipment hoodie, and first of all, the current environmental impacts of this product were determined with a cradle-to-gate approach. Then, the boundary of the gate-to-gate was used to determine the improvements that could be made only in the garment stage. Within the scope of the study, four scenarios were generated and the environmental effects of each scenario were compared with the current situation. Life cycle analyzes were performed with GaBi 6.0 LCA software. The selected impact category method is CML-2001. As a result of the evaluations, the best results were obtained with Scenario 5, which represents the use of biodiesel as a fuel type in transportation together with the use of renewable energy sources in all applications. With this scenario, reductions of 74.40%, 84.32% and 60.91% were determined in the effect categories of global warming, acidification and abiotic depletion, respectively, according to the current situation (Scenario 1).

**Keywords:** Apparel, Life cycle assessment, Sustainability, Cleaner production, Renewable energy.

## 1 Giriş

Türkiye, dünyanın en önemli tekstil ve hazır giyim tedarikçilerinden biri olup Avrupa’nın en büyük ikinci tekstil tedarikçisi konumundadır [1]. 2021 yılı Ocak-Haziran döneminde Türkiye’nin hazır giyim ve konfeksiyon ihracatı, pandeminin etkilerini göstermeye başladığı 2020 yılının aynı dönemine kıyasla %35.3 oranında artarak 9.4 milyar dolar olmuştur [2].

Tekstil ve hazır giyim sektörü çevresel açıdan ele alındığında, bu sektörde kullanılan zararlı kimyasal maddeler, yüksek su

tüketimi ve buna bağlı su kirliliği, üretim süreçlerindeki yüksek enerji tüketimi ve bununla ilişkili hava emisyonları başta olmak üzere nakliye ve ambalajlama problemleri ile atık oluşumu konuları sürdürülebilir üretimin önündeki en büyük engellerdir [3]. Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan çevre kirliliğinin giderek artması ve doğal kaynakların tükenmeye başlaması nedeniyle işletmelerin çevreye karşı sorumlulukları da artmıştır. İşletmeler; uluslararası anlaşmalar, yasal gereklilikler ve insanların artan duyarlılıkları nedeniyle hizmet ve üretim proseslerinde çevreye duyarlı üretim ve hizmet tekniklerini benimsemeye başlamışlardır [4].

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

Tüketicilerin sürdürülebilir ürünlere artan talebine karşılık verebilmek için pek çok firma çeşitli Ar-Ge faaliyetleri yürütmektedir [5]-[7]. Firmaların sürdürülebilirlik değerlendirmesi sonuçlarının raporlanması, kuruluşun sürdürülebilirlik hedeflerini ve avantajlarını yatırımcılara duyurmasını sağlamaktadır. Ayrıca, bu çalışmalar kamuoyunun sürdürülebilirlik anlayışını yükseltmenin bir aracıdır. Dolayısıyla herhangi bir fabrikada çevresel etkilerin azaltılabilmesi için yapılacak çalışmalar sürdürülebilirliğin üç temel direği olan ekonomik, çevresel ve sosyal kazanımları arttırmaktadır [8]. Avrupa Birliği (AB), 30 Mart 2022 tarihinde "Sürdürülebilir ve Döngüsel Tekstil Ürünleri için AB Stratejisi" dokümanını yayınlamıştır. 2030 yılına kadar AB pazarına sunulan tekstil ürünlerinin, uzun ömürlü ve geri dönüştürülebilir olması, büyük ölçüde geri dönüştürülmüş elyaftan yapılmış, tehlikeli madde içermeyen, sosyal haklara ve çevreye duyarlı olarak üretilmiş ürünler olması hedeflenmiştir. Bu kapsamda sektörün rekabet gücünün artırılması, uluslararası çalışma standartlarına göre çalışma koşullarının iyileştirilmesi ve tekstil ürünlerinin değerinin ekonomide mümkün olduğu kadar uzun süre korunmasının sağlanmasının yanı sıra, bu ürünlerin yaşam döngüleri boyunca çevresel ayak izlerinin azaltılmasına yönelik stratejiler oluşturulmuştur [9]. Buna ek olarak Avrupa Yeşil Mutabakat 'da yer alan "Yenilenebilir Enerji Direktifi" ile 2030 yılında enerjinin %40'ının yenilenebilir kaynaklardan sağlanması hedefi belirlenmiştir. Bu doğrultuda tekstil ürünleri ve hazır giyim sektörlerinin değer zincirinde şeffaflığa yönelik çalışmaları yoğunlaştırması, enerji ihtiyacını yenilenebilir kaynaklardan karşılaması, iplik ayırıştırma teknolojileri geliştirmesi, pamuk alternatifi elyafların ve biyolojik olarak çözünür geri dönüştürülmüş hammaddelerin kullanım payını artırması, biyolojik olarak çözünür ve bitki bazlı ambalaj malzemeleri kullanması ve geri dönüşüme olanak sağlayacak tedarik zincirleri oluşturması, Türk ihracatçıları ticarete avantajlı konuma getirecektir [10]. Hazır giyim üretimi ülkemiz ekonomisi için önemli bir yere sahip olduğundan, bu sektörde oluşan çevresel yüklerin azaltılması ile sürdürülebilir çözümler sunmak büyük önem taşımaktadır.

Temiz üretim yaklaşımı eko-verimlilik, yeşil üretim/sanayi ve sürdürülebilir üretim ile ilişkilidir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı temiz üretimi, "insanlara ve çevreye yönelik riskleri azaltmak için süreçlere, ürünlere ve hizmetlere entegre bir çevre stratejisinin sürekli olarak uygulanması" olarak tanımlamaktadır. Temiz üretim stratejilerinin uygulanması ile sanayi işletmelerinin teknik, çevresel ve ekonomik performansları iyileştirilebilmektedir [11]. Temiz üretim süreçlerini benimseyen tekstil şirketleri; kaynak kullanımında verimlilik, üretim ve atık yönetimi maliyetlerinde azalma, çevre yasalarına, yönetmeliklere ve ilgili ulusal stratejilere uyum, ceza riskinin azaltılması, uluslararası markaların ilgili beklentilerinin karşılanması gibi kazanımları elde edebilmektedir [12].

Temiz üretim yaklaşımının hayata geçirilmesi için ürün ve süreçlere uygulanabilecek farklı yöntemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda temiz üretim fırsatlarını tespit etmek için birçok araç ortaya konulmuş olup, uygulama alanına göre kullanılması gereken araçlar değişmektedir. Söz konusu araçların hangisinin seçileceği, işletmedeki soruna ve yapılmak istenen çalışmaya bağlıdır. Temiz üretim uygulamalarının öğelerini oluşturan araç ve metotlardan bazıları şunlardır; Çevresel Etki Değerlendirme, Yaşam Döngüsü Analizi, Çevre Yönetim Sistemi uygulamaları

vb. [13]. Bu araç ve metotlar arasında günümüzde en yaygın kullanılan ise yaşam döngüsü analizi (YDA) yaklaşımıdır. YDA, bir süreç, ürün veya faaliyetin çevreyi nasıl etkilediğini analiz etmek için kullanılacak bir araçtır [14],[15].

Tekstil ürünlerinin yaşam döngüsünün karmaşık doğası ve bunların çevre üzerindeki etkileri, sürdürülebilirlik yaklaşımı bağlamında potansiyel çevresel yükleri değerlendirmek için kapsamlı değerlendirme metodolojisi gerektirir. YDA yaklaşımı, seçilen ürünlerin, hizmetlerin ve süreçlerin tüm döngüleriyle ilişkili başarılı bir yorum sağlamaktadır [16]. Yaşam döngüsü düşüncesi yaklaşımının kullanılması, hazır giyim endüstrisinde enerji kullanımıyla ilgili en kritik endişe alanlarının ve potansiyel iyileştirme stratejilerinin belirlenmesine ve ayrıca sürdürülebilir bir üretim için en bilinçli kararların alınmasına da yardımcı olacaktır [17].

Hazır giyim sektöründe gerçekleştirilen işlemler, giysilerin nihai tüketiciye ulaştırılması ve dağıtımından önceki son adımdır. Elektrik ve buhar gerektiren farklı aşamaları içerir. Enerji gereksinimi fabrikadan fabrikaya, makine verimliliğine, ürün tasarımına ve kumaş türüne göre değişmektedir [18],[19]. İsviçre'de tekstil ve hazır giyim sektörünün sürdürülebilirlik performansını incelemek ve iklim etkilerini azaltmak için yapılan YDA çalışmasında, en etkili yaklaşımın yenilenebilir enerji kullanımı olduğu belirlenmiştir [20]. Sri Lanka'da yapılan bir çalışmada hazır giyim sektörünün termal ve elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli alternatif enerji senaryoları YDA yaklaşımı ile karşılaştırılarak, güneş enerjisi tabanlı elektrik üretiminin kullanılması ile en yüksek çevresel faydaların sağlanabileceği belirtilmiştir [21].

Bu çalışmada, organik pamuktan yapılmış bir adet kapüşonlu giysinin çevresel etkilerinin belirlenmesi ve mevcut çevresel etkilerin azaltılması için tekstil tedarik zincirinin en son aşaması olan konfeksiyon süreci (hazır giyim imalatı) esnasında uygulanabilecek alternatif yaklaşımların etkilerinin belirlenmesi amacıyla yaşam döngüsü analizi uygulanmıştır. Hazır giyim imalatı sırasında kullanılan elektrik ve buhar, çevresel etkilere en çok katkıda bulunan girdilerdir. Bu husus göz önünde bulundurularak, pilot tesis olarak seçilen hazır giyim fabrikasında daha çevre dostu üretim gerçekleştirme alternatiflerini değerlendirmek için enerji tedarik yöntemi ve yakıt türü parametreleri değiştirilerek, mevcut durumu da kapsayan, beş senaryo analizi gerçekleştirilmiştir. Pilot tesis özelinde gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları tüm hazır giyim firmalarına yol gösterici olacaktır.

## 2 Yöntem

### 2.1 Fabrikanın Genel Bilgileri ve Üretim Süreçleri

4500'ü aşkın çalışanı ve 20 milyon parçanın üzerindeki üretim kapasitesi ile Türkiye'nin en büyük hazır giyim üreticilerinden biri olan TYH Tekstil'in İzmir-İşıkent fabrikasında çalışmalar yürütülmüştür. TYH Tekstil'in farklı lokasyonlarda toplam 12 üretim tesisi bulunmaktadır. TYH Ar-Ge merkezleri, İstanbul ve İzmir'deki iki merkezde araştırma ve geliştirme projeleri yürütmektedir ve Ar-Ge çalışmalarının önemli bir kısmı sürdürülebilirliğe hizmet eden dijitalleşme odağında sürdürülebilir üretime yöneliktir. Ayrıca firma sürdürülebilir üretim için kurulmuş olan Sustainable Apparel Coalition (SAC) üyesi olup, Higg Index modülü ile yıllık çevresel sürdürülebilirlik performansını ölçmektedir.

Çalışma kapsamında temel olarak İzmir-İşıkent fabrikası değerlendirilirken, bu tesise lojistik destek sağlayan Manisa-Ege Lojistik fabrikası da değerlendirmeye alınmıştır. Her iki

tesiste de kesim ve dikim işlemleri gerçekleştirilmektedir. Konfeksiyon sürecinde hangi tür (tişört, pijama vb.) ve hangi bedende (medium, small, vb.) ürün dikilecekse ona uygun bir şekilde kumaşlar kesilir ve sonrasında dikim işlemleri gerçekleştirilir. Eğer düğme, çıt çıt, fermuar gibi aksesuarlar var ise bunlar da ürüne eklenir. Ardından ürünler ütülenip katlanır ve paketlenerek satış yapılacak mağaza veya satış yerlerine gönderilir. Seçilen pilot tesisin üretim akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. TYH Tekstil'de en çok üretilen ürünler polo tişört, svetsört, tişört gibi örme kumaş giysilerdir.



(a)



(b)

Şekil 1(a): Ürünün üretim akış şeması (beşikten kapıya),  
(b): Ürünün hazır giyim fabrikasında üretim akış şeması  
(kapıdan kapıya).

Figure 1(a): Production flow scheme of the product (cradle to gate). (b): Production flow scheme of the apparel (gate to gate).

## 2.2 YDA çalışmaları

Bu çalışma, ISO 14040 ve 14044 uluslararası standartları baz alınarak yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisine uygun olarak yürütülmüştür [22],[23]. YDA dört temel aşamadan oluşur: amaç ve kapsam tanımı, envanter analizi, etki değerlendirilmesi ve yorumlama [24]. Bu aşamalarda göz önüne alınan koşullar ve faktörler aşağıda verilmektedir.

### 2.2.1 Hedef ve kapsam

Bu çalışmada bir adet kapüşonlu giysi için yaşam döngüsü analizi ile çevresel etkileri hesaplamak ve bu sonuçlara göre, hazır giyim sektöründe yapılabilecek çevresel iyileştirme fırsatlarını araştırmak amaçlanmıştır. Mevcut çevresel etkileri belirlemek için yapılan ön çalışmalarda, hammadde üretimi, iplik ve kumaş üretim prosesleri, TYH Tekstil'de kumaşın kesim dikim ve ambalajlama prosesleri ile naklieleri içeren beşikten kapıya yaklaşım uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde tüm etki kategorilerinde pamuk üretimi ve yaş işlemlerin gerçekleştiği kumaş üretimi aşamalarının en fazla çevresel etkiye neden olan süreçler olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, başka pek çok çalışmada da belirtilen bilinen bir gerçektir [25],[26]. Ancak, ülkemiz için önemli bir yere sahip olan hazır giyim (konfeksiyon) aşamasında yapılacak iyileştirmeler de ürünün ömrü boyunca neden olacağı toplam çevresel etkilerde azalmaya neden olacaktır. Bu makale kapsamında sadece hazır giyim üretimi aşamasında yapılabilecek iyileştirmeler neticesinde elde edilebilecek çevresel kazanımların belirlenmesine odaklanılmıştır. Bu amaçla, pilot tesis olarak seçilen fabrikada daha çevre dostu üretim gerçekleştirme alternatiflerini değerlendirmek için enerji tedarik yöntemi ve yakıt türü parametreleri değiştirilerek senaryolar oluşturulmuştur.

### 2.2.2 İşlevsel (Fonksiyonel) birim

İşlevsel birim 1 adet kapüşonlu giysi olarak kabul edilmiştir (Şekil 2). Bir adet sevkiyata hazır paketlenmiş ürünün ağırlığı

0.8776 kg'dır. Etki iyileştirme seçeneklerinin analizi için aynı işlevsel birim kullanılmıştır.



Şekil 2. Bir adet kapüşonlu giysinin model resmi.

Figure 2. Image of a hoodie.

1.250 kg hazır boyalı kumaştan yaklaşık %30 fire ile bir adet kapüşonlu giysi üretilmektedir. Hazır örme boyalı kumaşa ait özellikler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Kumaşın içeriği ve üretim yerleri.

Table 1. Contents and production locations of the fabric.

Materiyal	Kompozisyon	Kumaş ağırlığı, kg	İplik	Örme kumaş	Kumaş boyama	Hazır giyim
Ana kumaş	%100 Organik pamuk	1.095		Bu prosesler Türkiye lokasyonundaki fabrikalarda gerçekleştirilmiştir.		TYH Tekstil İzmir fabrikası
Ribana kumaş	%94 Organik pamuk+%6 Elastan	0.154				

### 2.2.3 Sistem sınırları

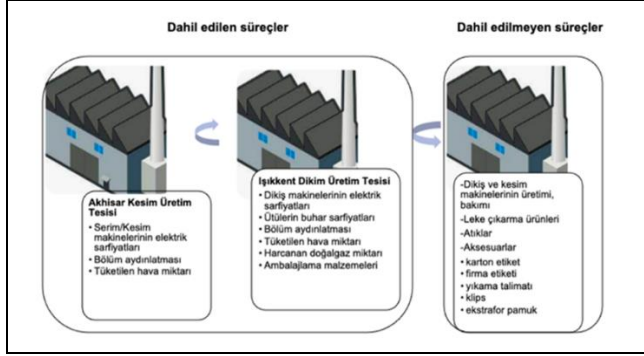
Bir adet kapüşonlu giysinin mevcut çevresel etkilerinin belirlendiği ön çalışmada sistem sınırı Şekil 1(a)'da görülen beşikten kapıya iken, sadece hazır giyim aşamasının değerlendirildiği çalışmada sistem sınırı yalnızca hazır giyim ana üretim süreçlerini içeren kapıdan kapıya yaklaşım olarak alınmıştır Şekil 1(b). Hazır giyim aşaması yaşam döngüsü analizi, TYH Tekstil'de gerçekleştirilen hazır kumaşın kesim, dikim ve ambalajlama prosesleri ile lojistik destek aldığı fabrika ile arasındaki naklieleri içermektedir. Dahil edilmeyen süreçler ise aksesuarların üretimi, dikim ve kesim makinalarının üretimi, bu makinaların bakımı ile lisanslı firmalara verilen tekstil malzemesi, plastik ve kağıt atıkları gibi atıkların bertaraf edilmesidir.

Kesim prosesinde açığa çıkan kırpıntılar yan ürün olarak kabul edilmiş ve bu durumda herhangi bir yük dağılımına gerek görülmemiştir.

Kesim ve dikim üretim merkezleri arasındaki nakliyeler karayolu taşımacılığı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. "GLO:Truck, Euro 6, up to 7.5 tgross" veri seti kullanılmıştır. Manisa-Akhisar da kesilen ürünün İzmir-Işıkent tesisinde dikimi yapılmaktadır ve aralarındaki ortalama mesafe yaklaşık 85 km olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışma kapsamına dahil edilen ve hariç tutulan süreçler Şekil 3'te görülmektedir. Çalışmanın temel amacı, hazır giyim sektöründe üretim sırasında ve ulaşımda kullanılacak enerji kaynaklarına göre ürünün çevresel etkilerindeki değişimi belirlemek olduğu için, tüm uygulamalarda ortak etki

yaratacak, üretim makinelerinin üretimi, ambalaj gibi kalemler sistem dışında tutulmuştur.



Şekil 3. Hazır giyim üretimi YDA çalışmasına dahil edilen ve edilmeyen süreçler.

Figure 3. Processes included and excluded in the LCA study of apparel.

#### 2.2.4 Envanter analizi

Yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin ikinci basamağı olan yaşam döngüsü envanter analizi, ürüne ve ürünü oluşturan süreçlere ait girdi ve çıktı miktarını belirlemek için oluşturulan veri toplama ve hesaplama evresidir.

Bu çalışmada kullanılan veriler birincil ve ikincil verilerdir. Birincil veriler, modellenen yaşam döngüsü aşamalarıyla ilgili olarak doğrudan sahadan toplanan verilerdir. Birincil veriyeye ulaşılamama durumunda ikincil veriler YDA yazılımı mevcut veri tabanından temin edilmiştir.

Mevcut çevresel etkilerin belirlenmesi ön çalışmalarında pamuk, elastan (likra), iplik ve kumaş üretimi aşamaları için gerekli veri, hem birincil veri olarak saha verisinden hem de ikincil veri olarak YDA yazılımı veri tabanından temin edilmiştir.

Konfeksiyon prosesleri kesim, dikim, baskı, ütölleme, paketleme gibi ana süreçler ile aydınlatma ve tesislerin havalandırması gibi tamamlayıcı süreçleri içermektedir. Konfeksiyon işleminden kaynaklanan fire oranları, tüketilen elektrik ve buhar miktarları, giysinin malzeme bileşimi sahadan alınan veriler ile belirlenmiştir. Kullanılan veriler 2021 yılı dönemini temsil etmektedir.

Elektrik karışımı, buhar üretimi, ulaşım modları, yakıt gibi arka plan süreçlerini modellemek için GaBi yazılımında yer alan "Energy" veri tabanından faydalanılmıştır. Şebekeden gelen

elektrik ve buhar tüketimi için ulusal veriler uygulanmıştır. Veri tabanından alınan şebeke elektrik karışımı %14 linyit, %18 taş kömürü, %37 doğalgaz ve %31 yenilenebilir kaynaklardan karşılanmaktadır. Buhar üretiminde kullanılan doğalgazın %99.36'sı ise ithal edilmektedir. Buhar üretiminde kullanılan biyokütlede ise küspe, okalıptüs, sert ağaç, zeytin atığı peletleri, atıklar (organik ve belediye), hurma yağı kalıntıları, kanalizasyon çamuru, mezbaa kalıntısı, yumuşak odun, kışık buğday samanı karışımı, odun yongaları, odun peletleri ve ülkeye özgü duruma göre ahşap artıkları yer almaktadır. Biyokütlenin yakılması ile buhar üretimi gerçekleşmekte; alçı, taban külü veya uçucu kül gibi oluşan yanma artıklarının inşaat işlerinde yeniden kullanıldığı varsayılmıştır.

Bu çalışmada hazır giyim süreci için kullanılan veri setleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

#### 2.2.5 Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve oluşturulan senaryolar

Pamuklu tekstilde en çok kullanılan yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yöntemleri EDIP, ReCiPe ve CML'dir [27]. Bu çalışmada ise CML 2001 etki değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. CML yöntemi, Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir ve YDA çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem sınıflandırma, karakterizasyon ve normalizasyonu içerir.

Etki kategorilerinin ve karakterizasyon yöntemlerinin seçimleri, Uluslararası Yaşam Döngüsü Veri Sistemi (ILCD) el kitabındaki tavsiyelere dayanmaktadır. ILCD tarafından önerilen ozon tabakasının incelenmesi ve iyonlaştırıcı radyasyon gibi bazı etki kategorileri, tekstil endüstrisi için düşük düzeyde ilgili olduğu düşünüldüğünden [28], bu çalışmada değerlendirilmemiştir. Buna göre çalışma kapsamında dikkate alınan etki kategorileri asitleşme potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, abiyotik kaynakların tükenmesi potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli ve insan toksisite potansiyelidir. Günümüzde, yüksek kapasitede üretim yapan hazır giyim üreticileri, enerji ihtiyaçları için güneş enerjisine ve biyokütleyle yatırım yapmaktadırlar ve geleneksel olmayan enerji kaynaklarına doğru ilerleme vardır. Üretim tesislerine solar PV teknolojisi kurmak ve petrol bazlı kazanları biyokütle ile değiştirmek, bu endüstri genelinde bazı yaygın girişimlerdendir [17]. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de değerlendirilen bu uygulamalar göz önünde bulundurularak, Tablo 3'te verilen, mevcut durumu da içeren beş farklı üretim senaryosu, YDA yaklaşımı ile değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Yaşam döngüsü envanter verileri.

Table 2. Life cycle inventory data.

Girdiler	Miktar	Birim	Veri seti
Boyalı kumaş	1.245	kg	Kumaş üretimi prosesinden
Elektrik	3.6	MJ	TR: Electricity grid mix TR: Electricity from photovoltaic
Buhar	0.4451	kg	TR: Process steam from natural gas TR: Process steam from biomass (solid)
Paketleme, karton	0.02	kg	US: Corrugated product
Paketleme, ambalaj	0.0052	kg	RER: Polyethylene film (PE-LD)
Dizel	0.00584	kg	EU-28: Diesel mix at filling station EU-28: Biodiesel based on rape seed methyl ester (RME) at filling station

Tablo 3. Üretilen senaryolar.  
Table 3. The generated scenarios.

Senaryolar	Elektrik	Termal enerji	Nakliye
S1- Mevcut Durum	Şebeke elektriği	Doğalgaz	%100 fosil
S2- Yenilenebilir enerjilerin kullanılması	Güneş enerjisi	Doğalgaz	%100 fosil
S3- Yenilenebilir enerjilerin kullanılması 2	Şebeke elektriği	Biyokütle	%100 fosil
S4- Nakliyedeki yakıt türünün değiştirilmesi	Şebeke elektriği	Doğalgaz	Biyodizel
S5- Enerji ve yakıt türünün birlikte değiştirilmesi	Güneş enerjisi	Biyokütle	Biyodizel

Senaryo (S1): Bu senaryo, fabrikanın mevcut üretim uygulamalarına karşılık gelmektedir. Fabrikanın mevcut işleyişinde kesim ve dikim prosesinde kullanılan elektrik, şebekeden temin edilmektedir. Ütuleme prosesinde kullanılan buhar doğalgaza dayalıdır. Kesim ve dikim tesisleri arasındaki taşımacılıkta kullanılan yakıt ise %100 fosil kaynaklıdır.

Senaryo (S2): Bu senaryoda kesim ve dikim tesislerinde kullanılan elektriğin yenilenebilir kaynaklardan sağlanacağı kabul edilmiştir ve elektrik kaynağı fotovoltaik güneş enerjisi olarak seçilmiştir. Diğer üretim aşamaları mevcut durum ile aynı şekilde değerlendirilmiştir.

Senaryo (S3): Bu senaryoda üretim tesisindeki termal enerji kaynağı biyokütle olarak değerlendirilmiştir. Elektrik kaynağı ve nakliye yakıt türünün mevcut üretim ile aynı olduğu varsayılmıştır.

Senaryo (S4): Bu senaryoda iki üretim tesisi arasındaki nakliyede kullanılan kamyonun yakıt türünün değiştirilmesiyle oluşacak çevresel etkiler analiz edilmiştir. Yakıt türü %100 fosil yerine kolza tohumundan üretilmiş biyodizel ile değiştirilmiştir. Diğer üretim aşamaları mevcut durum ile aynı şekilde değerlendirilmiştir.

Senaryo (S5): Bu senaryoda alternatif enerji kaynaklarının değişimine ilave olarak iki üretim tesisi arasındaki nakliyede kullanılan kamyonun yakıt türünün değiştirilmesi ile çevresel etkiler analiz edilmiştir. Yakıt türü %100 fosil yerine biyodizel ile değiştirilmiştir.

### 3 Bulgular

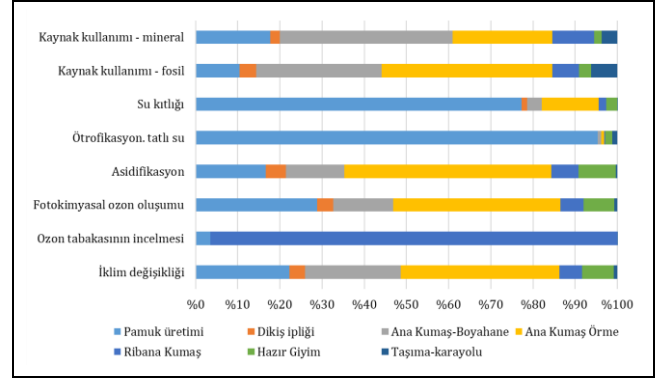
#### 3.1 Ürünün mevcut çevresel etkileri

Bir adet kapüşonlu giysi için beşikten kapiya gerçekleştirilen yaşam döngüsü çalışmalarında hammaddenin üretimi, başka bir tesiste gerçekleştirilen iplik ve kumaş üretim prosesleri, TYH Tekstil'de kumaşın kesim dikim ve ambajlama prosesleri ve nakliyeler dikkate alınmıştır. Pamuk ve polyester hammaddelerinin taşınması ile boyalı kumaşın taşınması karayolu taşımacılığı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ön çalışmalarda elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmektedir. Pamuk üretimi, kumaş boyama ve örme işlemleri ile karşılaştırıldığında hazır giyim sürecinin çevresel etkilerinin daha az olduğu görülmektedir. İklim değişikliğine en fazla etki %36 ile ana kumaşın örme prosesinden kaynaklanırken, hazır giyim proseslerinin katkısı %7.2'dir.

#### 3.2 Hazır giyim üretimi aşamasında yapılabilecek iyileştirmelerin çevresel etkileri

Ürünün tüm yaşam döngüsü değerlendirildiğinde, hazır giyim proseslerinde yapılacak iyileştirmeler, ürünün toplam çevresel etkilerinde azalmaya neden olacaktır. Hazır giyim sürecinde çevresel etkilere neden olan bileşenler incelendiğinde imalat sırasında kullanılan elektrik ve buharın en çok katkıda bulunan girdiler oldukları belirlenmiştir. Örneğin; iklim değişikliğine

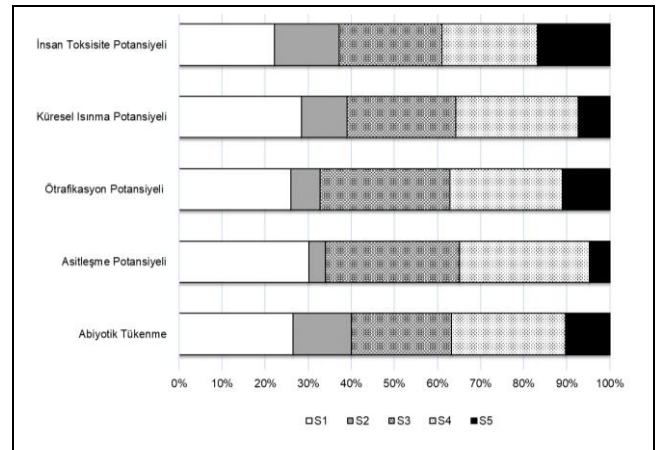
etkilerde elektrik tüketimi %77 ve buhar tüketimi %17 katkı vermektedir.



Şekil 4. Bir adet kapüşonlu giysi için mevcut çevresel etkilerin belirlenmesine yönelik ön çalışma sonuçları.

Figure 4. Preliminary study results for determining the current environmental impacts for one hoodie.

Asitleşme potansiyeli etkisi %95 oranında elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlar dikkate alınarak enerji tedarik yöntemi ve yakıt türü parametreleri değiştirilerek oluşturulan senaryolar için elde edilen etki kategorilerine göre sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 5'te görülmektedir. Beş senaryo için insan toksisite potansiyeli (HTP), küresel ısınma potansiyeli (GWP), asitleşme potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP) ve abiyotik tüketim potansiyeli (ADP) etki kategori yöntemlerine göre çevresel etkiler analiz edilmiştir.

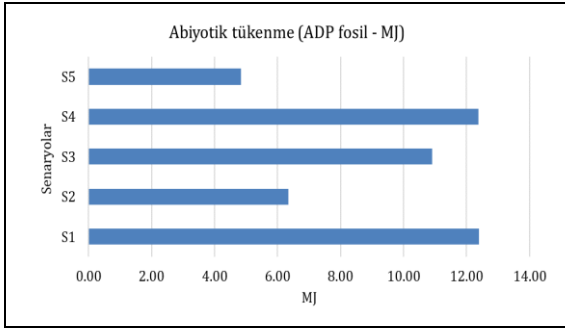


Şekil 5. Tüm senaryoların yaşam döngüsü etki analizleri kıyaslamaları.

Figure 5. Comparison of life cycle impact analysis of all scenarios.

### 3.2.1 Abiyotik tükenme-fosil (ADP)

Bu etki kategorisi, küresel olarak yenilenemeyen hammadde miktarının azaltılmasını açıklamaktadır. Yenilenemeyen en az 500 yıllık bir zaman dilimi anlamına gelmektedir. Abiyotik tükenme ile ilgili olarak, Senaryo 1 ve Senaryo 4'ün en yüksek abiyotik tükenme potansiyeline (sırasıyla 12.39 ve 12.38 MJ) sahip olduğu görülmektedir (Şekil 6). Bu senaryolarda, yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanılması nedeniyle diğer senaryolara göre daha yüksek etkiler belirlenmiştir. S2, S3 ve S5 senaryolarında ise yenilenebilir enerji alternatiflerinin kullanılması ile ADP değerleri azaltılmıştır. S5, S1'e göre kıyaslandığında %60.91 oranında daha düşük ADP etkisi olduğu görülmektedir.

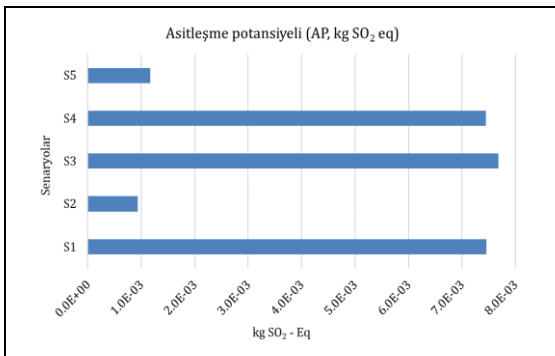


Şekil 6. ADP-fosil etki kategorisi sonuçları.

Figure 6. ADP-fossil impact category results.

### 3.2.2 Asitleşme potansiyeli (AP)

Asitleşme potansiyeli, belirli maddelerin H<sup>+</sup> iyonları oluşturma ve salma yeteneği olarak tanımlanır. Referans madde kükürt dioksittir. Elektrik, proses suyu ve doğalgaz gibi kaynakların kullanımı asitleşme potansiyelini artırmaktadır [14]. Şekil 7'de görüldüğü gibi, Senaryo 1, Senaryo 3 ve Senaryo 4 en yüksek asitleşme potansiyeline sahiptirler. Şebeke elektriği yerine güneş enerjisinin kullanıldığının kabul edildiği Senaryo 2 ve Senaryo 5, asitleşme üzerinde en az etkiye sahip olan senaryolardır. Mevcut duruma göre S5 senaryosunda %84.32 oranında azalma gerçekleşmiştir.



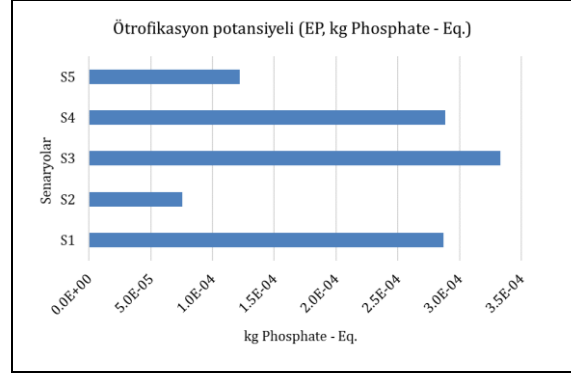
Şekil 7. AP etki kategorisi sonuçları.

Figure 7. AP impact category results.

### 3.2.3 Ötrofikasyon potansiyeli (EP)

Ötrofikasyon suda veya karada olabilir. Tarımda hava kirleticileri, atıksu ve gübreleme ötrofikasyona katkıda bulunur. Ötrofikasyon potansiyeli fosfat eşdeğerlerinde hesaplanır. Tekstil sektörünün tüm yaşam döngüsü incelendiğinde bu etki kategorisine en çok katkıda bulunan üretim aşamaları tarım aşaması ve kumaşların boyanmasıdır.

Hazır giyim imalatı aşaması ise sadece elektrik tüketimine bağlı olarak az miktarda ötrofikasyon potansiyeli kategorisine katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla beklendiği üzere bu çalışmada en yüksek EP etkisi, şebeke elektriğinin kullanıldığı Senaryo 1, 3 ve 4'te belirlenmiştir (Şekil 8).

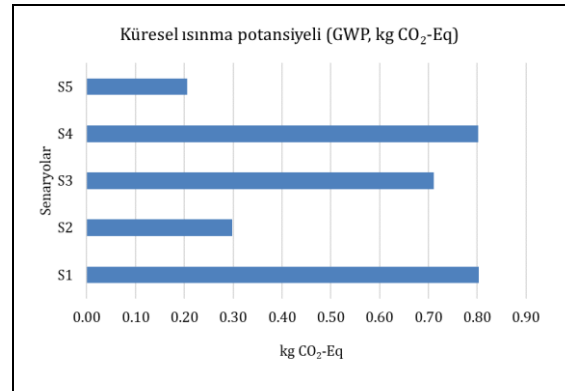


Şekil 8. EP etki kategorisi sonuçları.

Figure 8. EP impact category results.

### 3.2.4 Küresel ısınma potansiyeli (GWP)

Küresel ısınma potansiyeli, karbondioksit eşdeğerleri (CO<sub>2</sub>-Eq.) cinsinden hesaplanır ve bir emisyonun sera potansiyeli CO<sub>2</sub> ile ilişkili olarak verilmektedir. En yüksek GWP ye sahip senaryolar, mevcut durumu yansıtan Senaryo 1 ve sadece yakıt türünün değişmesiyle oluşturulan Senaryo 4'tür. Dolayısıyla nakliyenin bu kategoride etkisi yok denecek kadar azdır. Elektrik üretimi, küresel iklim değişikliğini besleyen sera gazı emisyonlarına en büyük katkıda bulunan etmenlerden biridir [29]. Yenilenebilir enerji alternatifleriyle oluşturulan diğer senaryolarda (S2 ve S5) GWP değerleri daha azdır. Sürdürülebilir üretimi temsil eden Senaryo 5 de ise mevcut duruma göre % 74.40 oranında bir azalma gerçekleşerek, küresel ısınma potansiyeli önemli oranda düşmüştür (Şekil 9).



Şekil 9. GWP-100 etki kategorisi sonuçları.

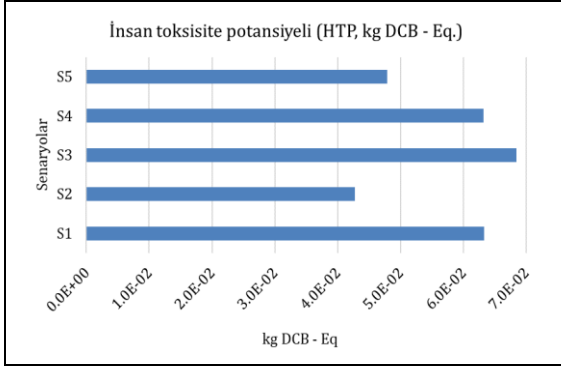
Figure 9. GWP-100 impact category results.

### 3.2.5 İnsan toksisitesi potansiyeli (HTP)

İnsan toksisitesine PM, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve ağır metaller gibi kirleticiler neden olmaktadır. En yüksek etki, buharın üretimi için kullanılan doğalgazın yerine biyokütle ile oluşturulan S3 senaryosunda belirlenmiştir (Şekil 10).

Oysaki biyokütle, enerjinin sürdürülebilir bir şekilde elde edilebileceği kaynaklardan biri olarak görülmektedir. Biyokütlenin yanması sonucu SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC gibi farklı uçucu bileşikler oluşmakta, bu gazlar yerel hava kalitesini bozarak insan sağlığına zarar verebilmektedir [30]. Bu nedenle,

biyokütle kullanımından dolayı oluşabilecek olumsuz etkilerin en düşük seviyeye indirilmesi için gerekli önlemlerin alınması elzemdir.



Şekil 10. HTP etki kategorisi sonuçları.

Figure 10. HTP impact category results.

#### 4 Sonuç ve değerlendirme

Hazır giyim imalatı yapan bir firmadan toplanan saha verileriyle, organik pamuklu bir adet kapüşonlu giysinin mevcut çevresel etkileri yaşam döngüsü analizi yaklaşımı ile değerlendirilmiştir ve hazır giyim üretimi aşamasında çevresel etkilerin özellikle elektrik ve buhar kullanımından kaynaklandığı belirlenmiştir. Daha sonra hazır giyim üretimi aşamasında olumsuz etkileri azaltmak amacıyla çeşitli senaryolar üretilmiş ve bu senaryoların çevresel etkileri mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Oluşturulan senaryolarda şebeke elektriği yerine yenilenebilir enerji kaynağı kullanılması ile çevresel etkiler üzerinde önemli azalmalar gerçekleşmiştir. Yapılan analizler sonucunda, en iyi sonuçlar, tüm uygulamalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile birlikte nakliyede yakıt türü olarak biyodizel kullanılmasını temsil eden Senaryo 5 ile elde edilmiştir. Bu senaryonun uygulanması durumunda mevcut duruma (Senaryo 1) göre küresel ısınma, asitleşme ve abiyotik tükenme kategorilerinde sırasıyla %74.40, %84.32 ve %60.91 oranında çevresel etkilerinin azalacağı belirlenmiştir. Buhar üretiminde doğalgaz yerine biyokütle kullanımında ise yalnızca abiyotik tükenme ve küresel ısınma potansiyeli etki kategorilerinde azalma meydana gelmiştir. Abiyotik tükenmede doğalgaz yerine yenilenebilir kaynak olan biyokütle kullanımı ile hem dışa bağımlılık hem de doğal kaynakların sınırlı olmasından dolayı çevreye olan zarar azaltılmıştır. Biyokütlenin yakılması sırasında atmosfere CO<sub>2</sub> salınmasına rağmen, bu CO<sub>2</sub> fotosentez yoluyla biyokütlenin yeniden büyümesiyle tekrar yakalanacağından küresel ısınma potansiyelini azaltmıştır [31]. İki tesis arasındaki nakliyede kullanılan kamyonun yakıt türünün değiştirilmesi ile çevresel etkilerde önemli bir değişiklik olmamıştır; dolayısıyla bu etki ihmal edilebilir düzeydedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkilerinin fosil yakıtlara göre daha az olduğu bilinen bir gerçektir ve bu çalışma sonuçlarına göre de fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına geçilmesi durumunda daha sürdürülebilir hazır giyim imalatı yapılabileceği sayısal olarak da belirlenmiştir. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi enerji kaynaklarının kullanılabilmesi için gerekli olan arazi seçimine dikkat edilmelidir ve bu tesislerin tarım arazilerinin üzerine yapılmamasına dikkat edilmelidir [32]. Fabrikaların kendi

çatılarına yerleştirebilecekleri güneş panelleri ile ihtiyacı olan enerjiyi solar enerji panelleri ile sağlaması, sürdürülebilir üretim için uygun bir yaklaşım olarak görülmektedir.

#### 5 Conclusions

The current environmental effects of an organic cotton hoodie were evaluated with the life cycle analysis approach using the field data collected from a ready-made apparels manufacturing company, and it was determined that the environmental effects were mainly caused by the use of electricity and steam during the production of ready-made apparel. Then, various scenarios were generated in order to reduce the negative impacts of apparel production and the environmental effects of these scenarios were compared with the current situation. In the scenarios created, especially in which the use of renewable energy sources instead of grid electricity, significant reductions in environmental impacts have been realized. As a result of the evaluations, the best results were obtained with S5, which represents the use of biodiesel as a fuel type in transportation together with the use of renewable energy sources in all applications. With this scenario, reductions of 74.40%, 84.32% and 60.91% were determined in the effect categories of global warming, acidification and abiotic depletion, respectively. In the use of biomass instead of natural gas in steam production, only abiotic depletion and global warming potential impact categories decreased. With the use of biomass, which is a renewable resource, instead of natural gas, in abiotic depletion, the damage to the environment has been reduced due to both external dependency and limited natural resources. Although CO<sub>2</sub> is released into the atmosphere during the combustion of biomass, this CO<sub>2</sub> is recaptured by regrowth of biomass via photosynthesis, thus reducing the global warming potential [31]. There was no significant change in environmental impacts by changing the fuel type of the truck used in transportation between the two facilities; therefore, this effect is negligible.

It is a known fact that the environmental effects of renewable energy sources are less than fossil fuels, and according to the results of this study, it has been determined numerically that more sustainable ready-made garments can be produced in case of using the renewable energy sources instead of fossil fuels. Care should be taken in the selection of land required for the use of energy sources such as solar energy and wind energy, and these facilities should not built on agricultural lands [32]. It is seen as an appropriate approach for sustainable production that factories provide the energy they need with solar panels that they can place on their own roofs.

#### 6 Teşekkür

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli finansal destek TÜBİTAK 119C078 No.lu proje tarafından sağlanmıştır.

#### 7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada, Nurdan BÜYÜKKAMACI, Sema BAHAR ERDEM'le birlikte fikrin oluşması, literatür taraması, yaşam döngüsü analizi çalışmalarının yapılması ve makalenin yazımına katkı vermiştir. Şafak BİROL çalışmanın gerçekleşmesi için gerekli veri temininde destek olmuştur.

#### 8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## 9 Kaynaklar

- [1] Öztürk E, Ozgur C, Tanacan E, Karaboyacı M. "Tekstil sektöründe temiz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi". 11. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Bursa, 15-17 Ekim 2015.
- [2] İstanbul Tekstil ve Hammaddeleri İhracatçıları Birliği. "İhracatçı Birlikleri Aylık İhracat Bilgi Notları". <https://www.ihkib.org.tr/bilgi-bankasi/raporlar/aylik-ihracat-bilgi-notlari/k-294> (26.02.2022).
- [3] Eser B, Celik P, Cay A, Akgumus D "Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Olanakları". *Tekstil ve Mühendis*, 23(101), 43-60, 2016.
- [4] Davarcioğlu B, Lelik A. "Sanayide İklim Değişikliğine Uyum ve Eko-Verimlilik (Temiz Üretim) Programı: Örnek Uygulamalar." *Mesleki Bilimler Dergisi*, 6(2), 94-105, 2017.
- [5] Horasan. "Sürdürülebilirlik ve AR-GE". <http://www.horasan.com/arge.php> (16.11.2022).
- [6] Sun Tekstil. "Sürdürülebilirlik Yolculuğumuzu Keşfedin". <https://www.suntekstil.com.tr/surdurulebilirlik-yolculugumuz> (16.11.2022).
- [7] Altın N. "Zorlu Tekstil'den Sürdürülebilirlik Odaklı Ar-Ge". <https://turkishtimedergi.com/ar-ge/zorlu-tekstilden-surdurulebilirlik-odakli-ar-ge> (16.11.2022).
- [8] Gbolarumi FT, Wong KY, Olohunde ST. "Sustainability assessment in the textile and apparel industry: a review of recent studies". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1051, 1-15, 2021.
- [9] European Commission. "EU Strategy for Sustainable Textiles". [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12822-EU-strategy-for-sustainable-textiles\\_en](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12822-EU-strategy-for-sustainable-textiles_en) (30.03.2022).
- [10] İstanbul Sanayi Odası. "Tekstil Ürünleri Sanayi ve Giyim Eşyaları Sanayi Raporu". [https://www.iso.org.tr/surdurulebilirlik/docs/TEKSTIL\\_GIYIM\\_210921\\_opt.pdf](https://www.iso.org.tr/surdurulebilirlik/docs/TEKSTIL_GIYIM_210921_opt.pdf) (26.02.2022).
- [11] Öztürk E, Köseoğlu H, Karaboyacı M, Yigit NO, Yetis U, Kitis M. "Sustainable textile production: cleaner production assessment/eco-efficiency analysis study in a textile mill". *Journal of Cleaner Production*, 138, 248-263, 2016.
- [12] World Wide Fund for Nature. "WWF Cleaner Production Guide for the Textile Sector". [https://d2hawiim0tjbd8.cloudfront.net/downloads/wwf\\_guideline\\_cleaner\\_production\\_textile\\_2018.pdf](https://d2hawiim0tjbd8.cloudfront.net/downloads/wwf_guideline_cleaner_production_textile_2018.pdf) (26.02.2022).
- [13] Budak C. Endüstrilerde Temiz Üretim ve Su Minimasyonu Yaklaşımları AB ve Türkiye'de Temiz Üretim Uygulamaları: Tekstil Endüstrisi Örneği. Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2014.
- [14] Kazan H, Akgul D, Kerc A. "Life cycle assessment of cotton woven shirts and alternative manufacturing techniques". *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(4), 849-864, 2020.
- [15] Odabaşı SÜ, Büyükgüngör H. "Life cycle assessment analysis of plastic coupling". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(3), 434-443, 2022.
- [16] Baydar G, Ciliz N, Mammadov A. "Life cycle assessment of cotton textile products in Turkey". *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 213-223, 2015.
- [17] Muthukumarana TT, Karunathilake HP, Punchihewa HKG, Manthilake MMID, Hewage KN. "Life cycle environmental impacts of the apparel industry in Sri Lanka: Analysis of the energy sources". *Journal of Cleaner Production*, 172, 1346-1357, 2018.
- [18] Moazzem S, Daver F, Crossin E, Wang L. "Assessing environmental impact of textile supply chain using life cycle assessment methodology". *The Journal of the Textile Institute*, 109(12), 1574-1585, 2018.
- [19] Islam I. Energy Consumption Determinants for Apparel Sewing Operations: An Approach to Environmental Sustainability. PhD Thesis, Kansas State University, Lawrence, USA, 2016.
- [20] Jun Cai Y, Ming Choi T. A United Nations' Sustainable Development Goals perspective for sustainable textile and apparel supply chain management, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 141, 102010, 2020.
- [21] Muthukumarana TT, Karunathilake HP, Punchihewa HKG, Manthilake MMID, Hewage KN. "Life cycle environmental impacts of the apparel industry in Sri Lanka: Analysis of the energy sources", *Journal of Cleaner Production*, 172, 1346-1357, 2018.
- [22] International Organization for Standardization. "Environmental management-Life Cycle Assessment-Principles and framework". Geneva, Switzerland, 4040, 2006.
- [23] International Organization for Standardization. "Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and guidelines". Geneva, Switzerland, 14044, 2006.
- [24] Barnes E, Reed J, Wallace M, Peterson M, O'Leary P. "A Life Cycle Assessment of the Cotton Textile Chain". [https://baumwollboerse.de/wp-content/uploads/vortraege/Vortrag-OLeary\\_2012.pdf](https://baumwollboerse.de/wp-content/uploads/vortraege/Vortrag-OLeary_2012.pdf) (16.11.2022).
- [25] Aşkın G, Palamutçu S, İkiz Y. "Pamuklu tekstiller ve çevre: bir bornozun yaşam döngü değerlendirmesi". *Tekstil ve Konfeksiyon*, 3, 197-205, 2009.
- [26] Turrillas FAE, Guardia M. "Environmental impact of recover cotton in textile industry". *Resources, Conservation and Recycling*, 116, 107-115, 2017.
- [27] Chen F, Xu P, Ji X, Wang L, Chu J. "A review: life cycle assessment of cotton textiles". *Industria Textila*, 72(1), 19-29, 2021.
- [28] Sandin G, Roos S, Spak B, Zamani B, Peters G. "Environmental assessment of Swedish clothing consumption-six garments, sustainable futures". Göteborg, Sweden, Mistra Future Fashion report, 2019:05, 2019.
- [29] Thompson S, Duggirala B. "The feasibility of renewable energies at an off-grid community in Canada". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2740-2745, 2009.
- [30] Sözen E, Gündüz G, Aydemir D, Güngör E. "Biyokütle kullanımının enerji, çevre, sağlık ve ekonomi açısından değerlendirilmesi". *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 148-160, 2017.
- [31] Alma MH. "TÜBA Biyokütle Enerjisi Raporu". Ankara, Türkiye, TÜBA Raporları, 46, 2022.
- [32] Yıldız ZE. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Etkileri". <https://www.petroturk.com/makale/yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-etkileri> (30.03.2022).