

Yenilikçi Soya Lifi İçeren Mamul Denim ve Spor Giyim Kumaşların Yaşam Döngüsü Analizi (LCA)

Emel Ceyhun SABİR*¹ ORCID 0000-0002-2385-1524

Serdal SIRLIBAŞ² ORCID 0000-0002-0926-6791

İpek DÖNMEZ UZUN² ORCID 0009-0000-6879-6189

Deniz CİVAN YİĞİT² ORCID 0000-0001-6184-7668

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

²BOSSA T.A.Ş., Adana

Geliş tarihi: 11.09.2023

Kabul tarihi: 25.12.2023

Atıf şekli/ How to cite: SABİR, E.C., SIRLIBAŞ, S., DÖNMEZ UZUN, İ., CİVAN YİĞİT, D., (2023). Yenilikçi Soya Lifi İçeren Mamul Denim ve Spor Giyim Kumaşların Yaşam Döngüsü Analizi (LCA). Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(4), 887-898.

Öz

Bu çalışmada yenilikçi doğal lif olan soya protein lifinin denim ve spor giyim ürün olarak üretilen mamul kumaşların yaşam döngü analizi (LCA) incelenmiştir. Çalışmada, denim ve spor giyim ürün grubundan seçilmiş dokuma kumaşlarda atkıda kullanılmak üzere, pamuk, soya lifi ve pamuk/soya karışım ipliklerinden oluşan 8 farklı harman kullanılmıştır. Soya lifi oranı, harmanda %10, %30 ve %50 şeklinde seçilmiş olup diğer karışım materyali pamuktur. Atkı iplikleri Ne10 ve Ne16 şeklinde iki farklı iplik numarasında üretilmiştir. Çözümlü ipliği ise tüm kumaşlarda aynı olup, %100 pamuk materyalidir. Bu iplikler kullanılarak 4 adet denim ve 4 adet spor giyim olmak üzere toplam 8 adet kumaş dokunmuştur. Denim ve spor giyim üretim hattında, işletme koşullarında, mamul kumaşlar elde edilmiştir. Numune kumaşlara, seçilmiş mamul kumaş anti-bakteriyel aktivite, renk haslığı ve bazı kumaş performans testleri uygulanmıştır. Soya lifi içeriğinin dokuma kumaşların haslık ve performansını olumsuz etkilemediği görülmüştür. Çalışmadaki tüm kumaş numuneleri, denim ve spor giyim hattında ayrı ayrı olmak üzere, Yaşam Döngü Analizi (LCA) çalışması ile analiz edilmiştir. Soya lifinin yaşam döngü analizi çalışmasında en iyi sonuç; denim kumaş için atkıda %90 pamuk-%10 soya lifi ve spor giyim kumaş üretiminde %50 pamuk-%50 soya lifi ipliği kullanılmış kumaşlarda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Soya lifi, Denim kumaş, Spor giyim kumaş, Yaşam döngüsü analizi (LCA)

Life Cycle Analysis (LCA) of Finished Denim and Sportswear Fabrics Containing Innovative Soy Fiber

Abstract

In this study, the life cycle analysis (LCA) of finished fabrics produced as denim and sportswear products of soy protein fiber, an innovative natural fiber, was examined. In the study, 8 different blends consisting of cotton, soybean fiber and cotton/soybean blend yarns were used to be used in the weft of woven fabrics

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Emel Ceyhun SABİR, emelc@cu.edu.tr

selected from the denim and sportswear product group. The ratio of soybean fiber is selected as 10%, 30% and 50% in the blend, and the other blending material is cotton. Weft yarns are produced in two different yarn counts, Ne10 and Ne16. The warp thread is the same in all fabrics and is 100% cotton material. Fabrics produced using these yarns; It is woven as 8 different fabrics, four of which are denim and four are sportswear. Finished fabrics were obtained in the denim and sportswear production line, under operating conditions. Anti-bacterial activity, color fastness and some fabric performance tests were applied to the sample fabrics. It has been observed that soy fiber content does not adversely affect the fastness and performance of woven fabrics. All fabric samples in the study were analyzed by Life Cycle Analysis (LCA) study, separately for denim and sportswear lines. The best result in the life cycle analysis study of soybean fiber; It was obtained in fabrics using 90% cotton-10% soy fiber in weft for denim fabric and 50% cotton-50% soy fiber yarn in sportswear fabric production.

Keywords: Soy fiber, Denim fabric, Sportswear fabric, Life cycle analysis (LCA)

1. GİRİŞ

Günümüzde denim kumaşlar günlük hayatta başlı başına bir giyim tarzı olmuştur. Bu gelişme ve denime olan yoğun talep tekstil sektörünü de sürekli bir arayış içerisine itmiştir. Son zamanlarda Ar-Ge birimlerinin çalışmaları denim kumaş üzerinde daha da yoğunlaşmıştır. Farklı lifler ve/veya lif karışımları, farklı kimyasallar, farklı yıkama reçeteleri ve farklı mekanik işlemlerle denim ürünlerde bir çok yeni renk ve efekt açılımları keşfedilmiştir. Aynı zamanda denim üretiminde ve performans parametrelerinde değişkenlerin etkisini belirli kılabilmek için bilimsel yaklaşımlar da ağırlık kazanmaya başlamıştır [1]. Türkiye denim üretimi konusunda Avrupa ülkeleri başta olmak üzere dünyada oldukça iyi bir tedarikçi konumundadır ve dünya markalarının birçoğunun denim üretimi Türkiye’de gerçekleşmektedir. İlk üretildiğinden bu yana denim, tekstil sektörünün vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Tekstil sektörünün en kötü dönemlerinde bile sektörün amaçlarına ulaşması için bir lokomotif görevi üstlenmiştir.

Denim, gerek günlük ve gerekse şık giyim kategorisinde olmak üzere dünya modasının en cazibeli ürün grubudur. Denim kumaşlar ağırlıklı olarak pamuk ipliği içermekte olduğundan insanlar tarafından konfor düzeyi yüksek, doğa dostu bir giyim malzemesidir. Denim kumaşın bu denli büyük talep içermesi bu kumaş türünde yenilikçi çalışmaların da önünü açmaktadır. Farklı liflerin kullanımı da bu yenilikçi çalışmalardan biridir. Özellikle de sürdürülebilir ve birçok özelliği içeren

(anti-bakteriyel, doğada çözünebilir, vb) farklı liflerin kullanımı ürünün katma değerini ciddi oranda artırırken ürünün tercih edilmesini de sağlamaktadır. Son yıllarda denim kumaş üretiminde ve terbiyesinde çevresel faktörleri dikkate alan çalışmalar ağırlık kazanmaya başlamıştır. Zervent Ünal ve Küçük, çalışmalarında çevreci bir uygulama olan ozonlama proses şartlarının denim kumaşın mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir [2]. Kadem ve Saraç [3] ısıtma düzenleme, Sabır ve Doba Kadem [4] kaplamalı denim kumaşta konfor ve haslık özellikleri, Tölek ve Doba Kadem [5] denim kumaşta farklı boyama prosesi ile performans ölçümü, Sabır ve Dönmez [6], kostik azaltmasının denim kumaş performansına etkileri ve Gülşen Bakıcı ve Doba Kadem [7] denim kumaşta dikilebilirlik üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Denim ve spor giyim ürünlerinde müşterilerin farklı beklentilerini karşılamak için yeni lifler üretimde kullanılmaktadır. Yenilikçi olarak görülen pek çok lifler karışım halinde iplik olarak özellikle atkı ipliği olarak kullanılabilir. Soya protein lifi de denim ve spor giyim ürünlerinde kullanıldığına dair bir çalışmaya rastlanmamıştır bu nedenle bu ürün gruplarında soya lifi, yenilikçi bir lif olarak tanımlanabilmektedir.

Soya lifi günümüzde farklı tekstil ürünlerinde kullanımı ile tüm yönleriyle yavaş yavaş tanınmaya başlanan bir lif türüdür. Soya fasulyesinden elde edilen bir protein lifidir. Ülkemiz soya bitkisinde oldukça iyi bir üretici durumdadır ancak bu lifin üretimi henüz ülkemizde mevcut değildir. Günümüzde denim üretimi ve spor giyim

üretiminde talep ve dolayısıyla üretim hacmi giderek artmaktadır. Bu nedenle bu ürünlerin yaşam döngü analizleri ile çevresel etkilerinin incelenmesi de gerekmektedir. Bu çalışmada soya lifi kullanılmış spor giyim ve denim kumaş üretiminin yaşam döngüsü analizi yapılmıştır.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, bir ürünün üretimi ya da bir hizmetin sağlanması sırasında kullanılan hammaddelerin temininden başlayarak, ilgili tüm üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve oluşan atıkların bertarafını da kapsayan yaşam döngüsünün her bir aşamasındaki çevresel etkilerini belirlemek, raporlamak ve denetlemek için kullanılan bir yöntemdir. Çevresel etkilere yönelik olarak yapılan araştırmalar 2050 yılına kadar karbon ayak izinde "0" hedefi nedeniyle büyük önem arz etmektedir.

Guinee çalışmasında, 1992'de Hollanda Leiden Üniversitesi Çevre Bilimi Merkezi (CML), uzun bir süre için standardı belirleyen Çevresel Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) metodolojisi hakkında bir kılavuz yayınlamıştır. O zamandan beri LCA metodolojisi çok ilerlemiş ve Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) LCA hakkında bir dizi standart yayınlamıştır. Bu gelişmeler, LCA alanındaki diğer önemli enstitülerle işbirliği içinde CML tarafından yazılan yeni bir LCA El Kitabı'na dâhil edilmiştir. LCA ile ilgili bu El Kitabının genel amacı, LCA için ISO Standartlarına dayanan bilimsel bir arka plan belgesi ile doğrulanmış ve adım adım bir LCA çalışması yürütmek için operasyonel yönergeleri olan bir kitap oluşturulmuştur. Farklı ISO elemanları ve gereklilikleri, her adım için "mevcut en iyi uygulama" için işlevsel hale getirilmiştir. CML, ürünlerin çevresel etkilerini, yani LCA'yı belirlemek için standart bir metodolojinin geliştirilmesinde güçlü bir rol oynamaktadır. Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (SETAC), Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) gibi uluslararası forumlar da yapılmaktadır [8]. LCA, araştırma ve geliştirme süreci, tekstil ve giysilerin etiketlenmesi için önemli bir araçtır. Tekstil ve Konfeksiyonun Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi El Kitabı (LCA), sistematik olarak LCA sürecini kapsamlı örnekler ve vaka çalışmaları ile kapsamaktadır. Kitabın

birinci bölümünde karbon ve ekolojik ayak izlerinden bertaraf, yeniden kullanım ve geri dönüşüme kadar LCA'daki temel göstergeler ve süreçler ele alınmaktadır. İkinci bölümde ise, tekstil ve konfeksiyon endüstrisindeki çok çeşitli LCA uygulamaları tartışılmaktadır. Farklı sahalarda da yaşam döngü analizi üzerine pek çok çalışma bulunmaktadır.

Dönmez ve Sabır, denim terbiye işletmelerinde verimlilik ve yaşam döngüsü değerlendirmesi üzerine deneysel çalışma ile yaşam döngüsü analizinin tekstil işletmelerinde uygulanabileceğini göstermişlerdir [9]. Angela ve Sotirios çalışmasında, pamuk, ipek, yün, keten, kenevir vb. gibi doğal lifleri kullanmışlardır ve pamuk yetiştiriciliği ve liflerinin çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla tekstil üretimi incelenmiş olup ve Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) kullanılmışlardır [10]. Bevilacqua ve arkadaşları, çalışmalarında pamuk ipliğinin üretim aşaması 2,81 CO₂ kg-eşdeğerine eşit bir etki sağladığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar pamuk ipliği üretiminin en kritik etkileri boyama (1.24 CO₂ kg-eşd.) ve iplik eğirmede (0.64 CO₂ kg-eşd.) olduğunu ve reaktif boyama ve pigment boyamanın, elektrik ve termal enerjiye bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Termal enerji tüketimi ile ilgili olarak boyama tesislerindeki bazı iyileştirmeler soğutma suyunun geri kazanılması, buhar yoğunlaşmasının kazanlara dönüşü veya farklı proses ile suların yeniden kullanılması şeklindedir. Bu iyileştirmelerle, tesisin CO₂ emisyonunda %41.7 oranında azalma sağlayacağını göstermişlerdir [11]. Peters ve arkadaşları çalışmalarında, Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), tekstil ürünlerinin hammadde çıkarılmasından lifi işlemeye, tekstil üretimine, dağıtımına ve kullanımına, bertaraf veya geri dönüşüme kadar çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanmışlardır [12].

Roos ve arkadaşları, çalışmalarında LCA'nin, tekstil endüstrisi için uygulanabilirliği ve kimyasalların çevresel etkilerini incelemişlerdir. Suyun tüketilmesi ve enerji tüketimi konularında, kimyasalların kullanımı ve emisyonları tekstil ürünleri için önemli çevresel faktörler olduğunu, kimyasalların muhasebeleştirilmesinin LCA metodolojisi ve uygulamasında zayıf bir noktada

olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, LCA'nın tekstil ürünlerinin kimyasal performans değerlendirmelerine değer katıp katmadığı ve LCA'ya toksisite konularının dâhil edilmesinin tekstil ürünleri için çevresel performans sıralamalarını etkileyip etkilemediğini de araştırmışlar ve LCA'nın tekstil endüstrisindeki çevresel karar vericiler için yararlı olduğu ve kimyasal etkiler dâhil edildiğinde daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır [13]. Roos ve Peters diğer bir çalışmada, Tekstil endüstrisinde kimyasalların kullanımı ve emisyonu ile bu kimyasalların bazılarının kendine özgü toksik özellikleri önemli olduğunu belirtmişler ve toksik etkilerin kantitatif değerlendirmesi, “toksik ayak izi” olarak adlandırılan bir yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) yaklaşımında bulunmuşlardır. Toksik ayak izi hesaplamasının, tekstil endüstrisini kimyasallarını daha sürdürülebilir kullanıma yönlendirmek için yararlı bir yöntem olup olmadığını incelemişlerdir [14].

Qian ve arkadaşları çalışmasında, denim kumaşın kimyasal ayak izinin hesaplanması ve değerlendirilmesini yapmışlardır. Araştırmacılar, kimyasal hammaddelerin ilk girdileri ve kimyasal kirleticilerin nihai emisyonları dahil olmak üzere, büyük toksik etkiye sahip kimyasal kategorilerini tanımlamak için, kimyasal ayak izi (ChF) karşılaştırması ve değerlendirmesi yapmıştır. Bu çalışmada, tekstil ve hazır giyim ürünlerinin ChF metodolojisi, vaka çalışması olarak denim üretimi ile USEtox modeli kullanılarak gösterilmiştir. Çalışmada yaş işlem sürecinde, yaşam döngüsü boyunca insan ve ekolojik toksisitelere büyük etkisi olan birçok kimyasal kirletici belirlenmiştir [15]. Yi ve arkadaşları, tekstil ve konfeksiyon ürünlerinin kimyasal ayak izi (USEtox) modeline dayalı insan ve ekolojik toksisitelerin değerlendirilmesi konulu çalışmasında, Yaşam döngüsü değerlendirme çerçevesinde, kimyasal ayak izinin (ChF) karşılaştırılması ve değerlendirilmesini kullanmışlardır. Bu çalışmada, ChF tekstil ve hazır giyim ürünleri metodolojisi denim pantolonlu vaka çalışması olarak üretim USEtox modeli kullanılarak gösterilmiştir [16].

Velden ve arkadaşları çalışmalarında, pamuk, polyester (PET), naylon, akrilik ve elastan

kullanılarak üretilen tekstil ürünleri, tekstilin çevresel yükünü araştırmışlardır. Yaşam döngüsü envanteri (LCI) verileri, Hollanda hükümeti literatüründen, yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) veri tabanlarından, emisyon kayıt veri tabanından ve hem üretim ekipmanı hem de tekstil şirketlerinin imalat şirketleriyle iletişiminden toplamışlar ve Eko-maliyetler 2012 (önleme tabanlı bir gösterge), CO2 eşdeğeri (karbon ayak izi), Kümülatif Enerji Talebi (CED) ve ReCiPe (hasara dayalı bir gösterge) şeklinde dört göstergede ortaya koymuşlardır [17].

Wang ve arkadaşları, ürün üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanması ve değerlendirilmesinde önemli bir yöntem olan karbon ayak izini detaylı olarak araştırmışlardır. Bu çalışmada, tekstil ürünlerinin muhasebesi ve değerlendirilmesi tartışılmaktadır. Muhasebe sınırı, her türlü yatırımın karbon emisyonu katsayıları, kamu yatırımlarının bölünme prensibi ve muhasebe sonuçlarının değerlendirilmesi için kalite kriterleri vb. açısından Çin'deki büyük ölçekli tekstil üretiminin özellikleri ışığında gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel üretim aşamalarında ise, karbon ayak izi araştırma ve tanıtımının geliştirilebileceği, böylece tekstil karbon ayak izinin daha fazla araştırılması için bu çalışmanın referans olacağı belirtilmiştir [18]. Dönmez Uzun ve arkadaşları, denim kumaş materyali olarak iplikten geri dönüştürülen soya lifi ve pamuktan üretilmiş denim kumaşların yaşam döngü analizini incelemişler ve geri dönüştürülmüş soyanın çevreci bir ürün olduğunu göstermişlerdir [19].

Bu çalışma ile pamuk ile birlikte karşılaştırmalı olarak, bitkisel protein esaslı olan ve doğaya zarar vermeyen soya lifinin denim kumaş üretiminde çevreye zarar verip vermeyeceği ortaya konulmak istenmiştir. Çalışmada, soya lifi değişen oranlarda harmanda kullanılarak pamuk karışımı iplikler üretilmiştir. İplikler, BOSSA T.A.Ş./Adana/Türkiye denim işletmelerinde konvansiyonel işletme koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma konusu denim kumaş için de, BOSSA T.A.Ş./Adana/Türkiye işletme altyapısı kullanılarak üretilen kumaşlar terbiye prosesleriyle mamul hale getirilerek beşikten kapıya yaşam döngüsü analizi (LCA) yapılmıştır. Çalışma, iplik ve kumaş

üretimi ile kumaş terbiyesi şeklinde gerçekleşen üretimde, elde edilen deneysel ürünlerin yaşam döngü değerlendirmesini kapsamaktadır. Soya lifi içerikli denim kumaş yaşam döngüsü değerlendirmesi tamamlanmış ve aynı koşullarda üretilen pamuk lifi içerikli denim kumaş yaşam döngüsü değerlendirmesi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Seçilmiş iki farklı atkı iplik numarası ile dokunmuş denim kumaşların üretiminde tüketilen enerji, kimyasal ve suyun Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) ile doğadaki karbon ayak izi ölçümleri yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada, pamuk ve soya/pamuk içerikli olmak üzere sekiz farklı atkı ipliği kullanılarak spor giyim ve denim kumaşlar üretilmiştir. Çözgü ipliği sabit olup %100 pamuk ipliğidir. Tasarlanan ipliklerin üretim bilgileri aşağıdaki gibidir.

Atkı ve çözgü iplik bilgisi:

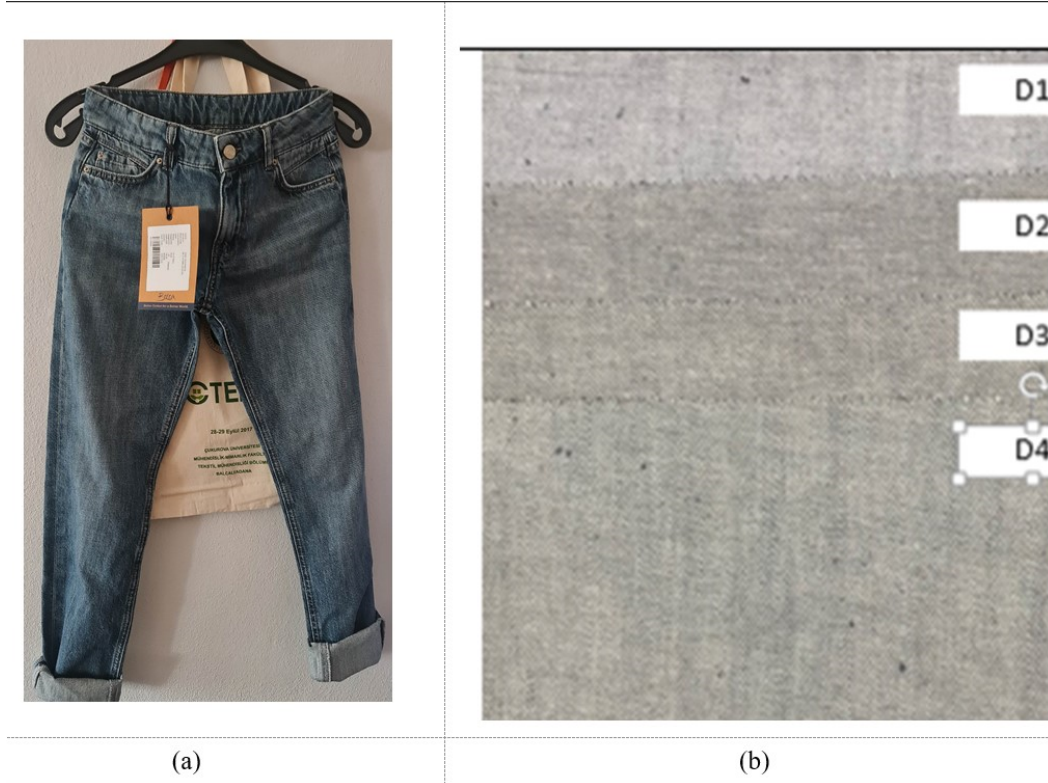
- Atkı ipliklerindeki harman oranı farklı olduğu için ilk olarak harman hallaçta elyaf karışımı yapılmıştır.

- Streç atkı iplikleri için ring iplik makinesinde 78 dtex elastan beslenerek $\alpha = 4,5$ büküm katsayısı, 3,5 elastan çekimi ile iplikler üretilmiştir.
- Rijit atkı iplikleri ise, $\alpha = 4,5$ büküm katsayısında ve çözgü iplikleri ise, $\alpha = 4,3$ büküm katsayısında ring iplik makinesinde üretilmiştir.
- Ne 10 numara atkı iplikleri için tur sayısı 14,2 (T'') iken, Ne 16 numara atkı iplikleri için tur sayısı 18 (T'')'dir.
- Çözgü ipliğinin tur sayısı 13,46 (T'')'dir.

Tasarlanan spor giyim ve denim kumaşların üretim bilgileri Çizelge 1'deki gibidir. 50'şer m olarak dokunan kumaşların tarak no ve tarak enleri aynı olup 60/4, 180 cm dir. İnce numaralı atkı ipliğinin kullanıldığı kumaşlarda görüntünün/yapının sıkı olması için atkı sıklığı arttırılmıştır. Spor giyim kumaşına 'S' kodu, denim kumaşına ise 'D' kodu verilmiştir. Her iki tür kumaştan çözgüsü aynı, atkısı (harmanı) farklı dörder numune üretilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen kumaşlardan mamul denim pantolon dikimi de gerçekleştirilmiştir. Pantolon ve soya lifinin denim kumaşın arka yüzündeki görünümü Şekil 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Denim ve spor giyim amaçlı üretilen 8 farklı kumaşın genel özellikleri

Sıra	Kumaş kodu	Çözgü ipliği	Atkı ipliği	Streç/ rigid	Çözgü ipliği rengi
1	S1	Ne 9,8/1 Pamuk	Ne 10/1 (%100 Pamuk)	Rigid	Ekru
2	S2	Ne 9,8/1 Pamuk	R-10/1 (%90 Pamuk-%10 Soya) + 78 dtex Ea	Streç	Ekru
3	S3	Ne 9,8/1 Pamuk	R-16/1 (%70 Pamuk-%30 Soya)+78 dtex Ea	Streç	Ekru
4	S4	Ne 9,8/1 Pamuk	R-16/1 (%50 Pamuk-%50 Soya)	Rigid	Ekru
5	D1	Ne 9,8/1 Pamuk	R-16/1 (%100 Pamuk) +78 dtex Ea	Streç	Deep
6	D2	Ne 9,8/1 Pamuk	R-16/1 (%90 Pamuk-%10 Soya)	Rigid	Deep
7	D3	Ne 9,8/1 Pamuk	R-10/1 (%70 Pamuk-%30 Soya)14,2	Rigid	Deep
8	D4	Ne 9,8/1 Pamuk	R-10/1 (%50 Pamuk-%50 Soya)+ 78 dtex Ea	Streç	Deep



Şekil 1. (a) Çalışma sonucunda mamul denim kumaştan üretilmiş pantolon giyim ürünü, (b) Atkıda soya lifinin kumaş ters yüzündeki görünüm

2.2. Metot

Çalışmada yaşam döngüsü değerlendirmesi, SETAC(Çevre Toksikoloji ve Kimya Örgütü (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)) tarafından başlatılan yaklaşım ile yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan analizler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

LCA Çalışmalarında Hesaplanan Çevresel Etkiler:

Kaynak Tüketimi (Abiotic Depletion): Kaynak Tüketimi, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarında doğal kaynakların (petrol, demir cevheri vb.) tüketimini ifade eden etki kategorilerinden biridir. Küresel, bölgesel ve yerel etki boyutuna sahiptir ve kullanılan mineral miktarını ve kullanılan fosil yakıt miktarını ifade eder. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

çalışmalarında kaynak tüketimi kg Sb (Antimon) cinsinden ifade edilmektedir.

Asidifikasyon (Acidification): Asidifikasyon, asitleştirici maddelerin toprak, yeraltı suyu, yüzey suyu, organizmalar, ekosistemler ve malzemeler üzerinde yarattığı toksik etkiyi ifade eden etki kategorisidir. Asidik gazların atmosferdeki su ile reaksiyona girmeleri sonucunda ‘asit yağmuru’ denilen olay gerçekleşmektedir. Asit yağmurlarının oluşumu da ekosistem içerisindeki çeşitliliğin azalmasına sebep olmaktadır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarında asidifikasyon kg SO₂ eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir.

Ötrofikasyon/Nütrifikasyon (Eutrophication): Ötrofikasyon, havaya, suya ve toprağa besi maddelerinin (nutrients) aşırı salınımı nedeniyle oluşan makro besi maddelerinin artışının sebep olduğu etkileri ifade eden etki kategorisidir. Nitrat

ve fosfat gibi besi maddelerinin var olması ekosistem içerisindeki yaşamın devamlılığı için büyük önem taşıyor olsa da yüksek konsantrasyonlarda bulunmaları sonucu sulak alanlarda alg patlamalarına neden olmaktadır ve bu da su içerisindeki oksijen miktarının azalmasına sebep olur. Bu durum ekosistemin zarar görmesine neden olur. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarında nitrifikasyon kg PO₄ eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir.

Küresel Isınma (Global Warming): Küresel Isınma, iklim değişikliği sebebiyle atmosferin ısınmasını ifade eden bir kavramdır. Küresel ısınmaya en fazla neden olan insan faaliyetlerinden biri de petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil kaynakların yakılmasıdır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarında küresel ısınma kg CO₂ eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir.

Ozon Tabakası İncelmesi (Ozone Layer Depletion): Ozon Tabakası İncelmesi, insan kaynaklı emisyonlar (CFC, HCFC, klor, brom vb.) tarafından stratosferdeki ozon miktarının azalmasını ve ozon deliği olarak adlandırılan ozon tabakasının incelenmesini ifade eden bir kavramdır. Ozon tabakasının delinmesi insanlar, hayvanlar ve bitkiler üzerinde kanserojen etki yapmaktadır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarında ozon tabakası incelmesi kg CFC-11 eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir.

İnsan Sağlığı Toksisitesi (Human Toxicity): İnsan sağlığı toksisitesi, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarında çeşitli kimyasalların çevreye salınımı sonucu insan sağlığı üzerinde yarattığı toksik etkiyi ifade etmektedir. Ağır metaller gibi insan sağlığına toksik etkide bulunan kimyasalları belirten çevresel etki olarak bilinir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarında toksisite kg 1,4-DB (diklorobenzen) eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir.

Tatlısu Ekotoksitesitesi (Freshwater Aquatic Ecotoxicity): Tatlısu Ekotoksitesitesi, toksik maddelerin havaya, suya veya toprağa karışımı sonucu Tatlısu ekosistemine olan etkileri ifade eder. Toksik maddelerin etkisini yansıtan Ekotoksitesite Potansiyeli (Ecotoxicity Potential) USES-LCA ile

hesaplanmaktadır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarında tatlısu ekotoksitesitesi kg 1,4-DB eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir.

Deniz Ekotoksitesitesi (Marine Ecotoxicity): Deniz Ekotoksitesitesi, toksik maddelerin deniz ekosisteminde yarattığı etkileri ifade etmektedir. Toksik maddelerin etkisini yansıtan Ekotoksitesite Potansiyeli (Ecotoxicity Potential) USES-LCA ile hesaplanmaktadır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarında deniz ekotoksitesitesi kg 1,4-DB eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir.

Karasal Ekotoksitesite (Terrestrial ecotoxicity): Karasal Ekotoksitesite, çevreye salınan toksik maddelerin karasal ekosistem üzerinde yarattığı etkileri ifade etmektedir. Toksik maddelerin etkisini yansıtan Ekotoksitesite Potansiyeli (Ecotoxicity Potential) USES-LCA ile hesaplanmaktadır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarında Karasal ekotoksitesite kg 1,4-DB eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir.

Fotokimyasal Oksidasyon (Photochemical Oxidation): Fotokimyasal Oksidasyon olarak ifade edilen foto oksidan oluşumu, tarımsal ürünlere, insan sağlığına ve ekosisteme zarar veren reaktif maddelerin oluşumunu açıklayan etki kategorilerinden biridir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarında fotokimyasal oksidasyon kg C₂H₄ eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışma kapsamında soya elyafı kullanılarak pamuk-soya karışımı atkı iplikleri üretilmiştir. Daha sonra bu atkı iplikleri kullanılarak denim ve spor giyim kumaşları dokunmuştur. Dokunan kumaşlar terbiye işlemlerinden geçirilmiştir. Kumaşlar mamul olduğunda LCA çalışmasına başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, LCA yapılmadan önce üretilen atkı ipliklerinin kalite standartlarına uygunluğu standart test yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Önce elyaf ve iplik daha sonra da kumaş testleri tamamlanmıştır. Bu şekilde kalite kontrol aşamalarında geçirilerek ürün haline

gelebileceği tespit edilmiş ve LCA çalışmasına başlanmıştır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), belirli bir ürün, proses veya aktivitenin çevresel performanslarını “beşikten mezara kadar” değerlendiren bir sistem yaklaşımıdır. LCA, bir ürünün üretimi ya da bir hizmetin sağlanması sırasında kullanılan hammaddelerin temininden başlayarak, ilgili tüm üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve oluşan atıkların bertarafını kapsayan yaşam döngüsünün her bir aşamasındaki çevresel etkilerini belirlemek, raporlamak ve denetlemek için kullanılan bir yöntemdir. Üretim esnasında işletmelerin tükettikleri doğal kaynaklar, harcadıkları enerji, havaya, suya ve toprağa saldıkları her türkü katı sıvı ve gaz emisyonlarının en aza indirilmesiyle gerçekleşen ‘Ürün Sürdürülebilirliği ve Temiz Üretim’ çalışmalarının başlangıç noktası, beşikten mezara /cradle to grave) anlayışıyla yapılan Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi analizleridir. Kaynak ve enerji verimliliği çalışmalarının temelini oluşturan LCA Avrupa’da birçok yasanın oluşumunda etkin bilimsel bir araçtır. Yaşam döngüsü değerlendirilmesi (LCA) için SimaPro yazılımı kullanılmıştır ve veri girişi yapılarak değerlendirme yapılmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirilmesinde hesaplanan çevresel etkilere göre bulgular denim ve spor giyim için verilmiştir.

3.1. Denim Kumaş Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Denim kumaşlarının yaşam döngü değerlendirilmesi için Çizelge 2’de D1, D2, D3, D4 denim kumaşlarının yaşam döngüsü değerlendirme detayları verilmiştir. Denim kumaşında referans kumaş olarak atkı ipliği harmanında %100 pamuk olan D1 kumaşı baz alınmıştır. D1 kumaşı ile D2 kumaşı, D1 kumaşı ile D3 kumaşı ve D1 kumaşı ile D4 kumaşı kıyaslanmıştır. Kıyaslamada formül (1.1) kullanılmıştır, Çizelge 3’de D1 kumaşı ile D2 kumaşı, D1 kumaşı ile D3 kumaşı ve D1 kumaşı ile D4 kumaşı yaşam döngüsü değerlendirme sonuçları kıyaslanmıştır. D1-D2, D1-D3, D1-D4 kumaşlarında yaşam döngüsü değerlendirme sonuçları parametreler olarak kıyaslanmıştır. İyileşme değeri olarak en yüksek değerde gelen D2 kumaşı olduğu görülmektedir. D2 kumaşı atkı ipliği, %90 pamuk-%10 soya protein elyafı içeren kumaştır. D2 kumaşının iyileşme değerlerinin iyi gelmesinin nedeni kullanılan atkı ipliğinin ince olması ve harmanda %90 pamuk-%10 soya protein elyafı kullanılmasıdır. D2 kumaşının atkı ipliği Ne16/1 ‘dir. Atkı ipliği kalınlaştıkça yaşam döngüsü değerlendirme parametrelerinin iyileşmeye olumlu katkı sağlamadığı görülmektedir.

Çizelge 2. D1, D2, D3 ve D4 kodlu denim kumaşlarının yaşam döngüsü değerlendirilmesi

CML-IA Baseline European (EU 25) parametreleri	Birim	D1 kumaşı	D2 kumaşı	D3 kumaşı	D4 kumaşı
Kaynak tükenmesi (Fosil Yakıtlar)	MJ	22,78596548	16,77747703	18,24662977	24,72083873
Küresel ısınma (Gwp100a)	kg CO2 eq	1,817439953	1,376760331	1,524481988	2,030931311
Ozon tabakasının incilmesi (Odp)	kg CFC-11 eq	1,14212E-07	8,09358E-08	9,08402E-08	1,25987E-07
İnsan yaşamı üzerindeki toksik etki	kg 1,4-DB eq	0,679740896	0,534569312	0,596280407	0,770535551
Tatlısu yaşamı üzerindeki toksik etki	kg 1,4-DB eq	5,634738522	4,215383198	4,383319421	5,534040982
Deniz yaşamı üzerindeki toksik etki	kg 1,4-DB eq	2206,38016	1735,059997	1906,547288	2475,942935
Karasal yaşam üzerindeki toksik etki	kg 1,4-DB eq	0,374888566	0,278618031	0,288472493	0,361981935
Fotokimyasal oksidasyon	kg C2H4 eq	0,00041669	0,000340972	0,000434421	0,000564456
Asitleştirme	kg SO2 eq	0,011348026	0,008900015	0,01005077	0,01298979
Ötrofikasyon	kg PO4--- eq	0,00609577	0,004778924	0,005234652	0,0067403
Toplam Su Kullanımı	m3	0,597113229	0,449294395	0,498606923	0,647825211

Çizelge 3. D1 kodlu kumaşının D2, D3 ve D4 kodlu kumaşlarla ile yaşam döngüsü değerlendirme kıyaslaması

CML-IA Baseline European (EU 25) parametreleri	Birim	D1-D2 kumaş kıyaslaması	D1-D3 kumaş kıyaslaması	D1-D4 kumaş kıyaslaması
Kaynak tükenmesi (Fosil Yakıtlar)	Mj	26,4	19,9	-8,5
Küresel ısınma (Gwp100a)	Kg Co2 Eq	24,2	16,1	-11,7
Ozon tabakasının incelmeleri (Odp)	Kg Cfc-11 Eq	29,1	20,5	-10,3
İnsan yaşamı üzerindeki toksik etki	Kg 1,4-Db Eq	21,4	12,3	-13,4
Tatlısu yaşamı üzerindeki toksik etki	Kg 1,4-Db Eq	25,2	22,2	1,8
Deniz yaşamı üzerindeki toksik etki	Kg 1,4-Db Eq	21,4	13,6	-12,2
Karasal yaşam üzerindeki toksik etki	Kg 1,4-Db Eq	25,7	23,1	3,4
Fotokimyasal oksidasyon	Kg C2h4 Eq	18,2	-4,3	-35,5
Asitleştirme	Kg So2 Eq	21,6	11,4	-14,5
Ötrofikasyon	Kg Po4--- Eq	21,6	14,1	-10,6
Toplam Su Kullanımı	M3	24,8	16,5	-8,5

3.2. Spor Giyim Kumaş Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Spor giyim kumaşlarının yaşam döngüsü değerlendirme detayları ise S1, S2, S3 ve S4 kumaşları için Çizelge 4’de verilmiştir. Spor giyim kumaşında referans kumaş olarak atkı ipliği harmanında %100 pamuk olan S1 kumaşı baz alınmıştır. Spor giyim kumaşlarının yaşam döngü değerlendirmesi için S1 kumaşı ile S2 kumaşı, S1 kumaşı ile S3 kumaşı ve S1 kumaşı ile S4 kumaşı kıyaslanmıştır.

Kıyaslamada Eşitlik (1) formül kullanılmış olup burada

a' : Referans kumaşı,

a : Deneme kumaşı göstermektedir.

İyileştirme (%) Hesabı:

$$\text{İyileştirme (\%)} = \frac{a' - a}{a'} \times 100 \quad (1)$$

Çizelge 5’de S1 kumaşı ile S2 kumaşı, S1 kumaşı ile S3 kumaşı ve S1 kumaşı ile S4 kumaşı yaşam döngüsü değerlendirme sonuçları kıyaslanmıştır. Kıyaslama için %iyileştirme hesabı kullanılmıştır.

Çizelge 4. S1, S2, S3 ve S4 spor giyim kumaşlarının yaşam döngüsü değerlendirme

CML-IA Baseline European (EU 25) Parametreleri	Birim	S1 Kumaşı	S2 Kumaşı	S3 Kumaşı	S4 Kumaşı
Kaynak tükenmesi	kg Sb eq	8,5536E-06	9,24583E-06	8,48219E-06	6,77252E-06
Kaynak tükenmesi (fosil yakıtlar)	MJ	28,57621332	32,6759095	33,61138412	28,11135519
Küresel ısınma (GWP100a)	kg CO2 eq	2,466945705	2,807079615	2,871358966	2,423112092
Ozon tabakasının incelmeleri (ODP)	kg CFC-11 eq	2,19063E-07	2,39799E-07	2,26264E-07	1,85494E-07
İnsan yaşamı üzerindeki Toksik etki	kg 1,4-DB eq	1,094325404	1,225804744	1,222508842	1,028519269
Tatlısu yaşamı üzerindeki toksik etki	kg 1,4-DB eq	14,93236922	15,95955902	14,43383557	11,4006717
Deniz yaşamı üzerindeki toksik etki	kg 1,4-DB eq	2874,519394	3283,349529	3407,584413	2897,766682
Karasal yaşam üzerindeki toksik etki	kg 1,4-DB eq	1,079276807	1,148819639	1,028681401	0,80802404
Fotokimyasal oksidasyon	kg C2H4 eq	0,000600561	0,000708693	0,00075587	0,000677761
Asitleştirme	kg SO2 eq	0,018697876	0,021006412	0,020972001	0,01765687
Ötrofikasyon	kg PO4--- eq	0,01032128	0,011467721	0,011305791	0,00942061
Toplam Su Kullanımı	m3	1,203827954	1,307731537	1,200517295	0,969682992

Çizelge 5. S1 kodlu kumaş ile S2, S3 ve S4 kodlu kumaşların yaşam döngüsü değerlendirme kıyaslaması

CML-IA Baseline European (EU 25) Parametreleri	Birim	S1-S2 kıyaslaması	S1-S3 kıyaslaması	S1-S4 kıyaslaması
Kaynak tükenmesi	kg Sb eq	-8,1	0,8	20,8
Kaynak tükenmesi (fosil yakıtlar)	MJ	-14,3	-17,6	1,6
Küresel ısınma (GWP100a)	kg CO2 eq	-13,8	-16,4	1,8
Ozon tabakasının incilmesi (ODP)	kg CFC-11 eq	-9,5	-3,3	15,3
İnsan yaşamı üzerindeki toksik etki	kg 1,4-DB eq	-12,0	-11,7	6,0
Tatlısu yaşamı üzerindeki toksik etki	kg 1,4-DB eq	-6,9	3,3	23,7
Deniz yaşamı üzerindeki toksik etki	kg 1,4-DB eq	-14,2	-18,5	-0,8
Karasal yaşam üzerindeki toksik etki	kg 1,4-DB eq	-6,4	4,7	25,1
Fotokimyasal oksidasyon	kg C2H4 eq	-18,0	-25,9	-12,9
Asitleştirme	kg SO2 eq	-12,3	-12,2	5,6
Ötifikasyon	kg PO4--- eq	-11,1	-9,5	8,7
Toplam Su Kullanımı	m3	-8,6	0,3	19,5

S1-S2, S1-S3, S1-S4 kumaşlarında yaşam döngüsü değerlendirme sonuçları parametreler olarak kıyaslanmıştır. İyileşme değeri olarak en yüksek değerde gelen S4 kumaşında olduğu görülmektedir. S4 kumaşı atkı ipliği, %50 pamuk-%50 soya protein elyafıdır. S4 kumaşının iyileşme değerlerinin iyi gelmesinin nedeni kullanılan atkı ipliğinin ince olması ve harmanda %50 pamuk-%50 soya protein elyafı kullanılmasıdır. S4 kumaşının atkı ipliği Ne16/1'dir. Atkı ipliği kalınlaştıkça yaşam döngüsü değerlendirme parametrelerinin değerlerinin iyileşmeye olumlu katkı sağlamadığı görülmektedir.

4. SONUÇ

Pamuk ve pamuk/soya karışımı ipliklerden spor ve denim giyim amacıyla sekiz farklı kumaş üretilmiştir. LCA çalışmaları öncesinde, kumaşlara yönelik haslık ve performans testleri yapılmıştır ve kumaşların ticari olarak kullanılabilir olduğu ortaya konulmuştur. LCA çalışması uygulanmış ve sonuçları alınmıştır. Denim kumaş için %90 pamuk-%10 soya harmanlı atkı ipliği kullanılarak üretilen kumaşın yaşam döngü analizinde;

- Ozon tabakası incelmesinde : % 29,1
- Kaynak tükenmesi (fosil yakıtlar) : % 26,4
- Karasal yaşam üzerinde toksik etkisi: % 25,7
- Tatlı su yaşamı üzerindeki toksik etkisi : % 25,2

iyileşme sağlandığı görülmüştür. Spor giyim kumaş için %50-50 pamuk-soya atkı ipliği kullanılarak üretilen kumaşın yaşam döngü analizinde ise;

- Ozon tabakası incilmesi : % 15,3
- Kaynak tükenmesi : % 20,8
- Karasal yaşam üzerinde toksik etkisi : % 25,1
- Tatlı su yaşamı üzerindeki toksik etkisi : % 23,7

iyileşme sağlandığı görülmüştür. Soya lifi kullanılarak yapılan üretimde;

- Denim kumaş için atkıda %90pamuk-%10 soya lifi harmanlı iplik kullanımının ve
- Spor giyim kumaş üretiminde ise atkıda %50 pamuk-%50 soya lifi harmanlı iplik kullanımının

LCA çalışmalarında en iyi sonucu verdiği görülmektedir.

Araştırma sonuçlarından görüldüğü üzere, denim ve spor giyim amaçlı olarak üretilen kumaşlarda soya protein lifinin kullanılması yaşam döngü analizinde olumsuz etki yapmadığı ve soya lifinin kullanılması yaşam döngü analizinde iyileşmelere neden olduğu ortaya konulmuştur.

Bu çalışma ile soya lifinin yenilikçi, insan ve doğa dostu bir lif olarak denim ve spor giyimde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından “Üniversite Sanayi İşbirliği (SAN)” Projesi kapsamında desteklenmiş olup (Proje ID: FSI-2020-12668), desteği için Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü’ne teşekkür ederiz. Çalışmanın yürütülmesinde üretim ve testlerin yapılması için destek veren proje paydaşı BOSSA T.A.Ş./Adana işletmelerine ve Ar-Ge merkezi ekibine teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKLAR

1. Unal, B., 2012. The Prediction of Seam Strength of Denim Fabrics with Mathematical Equations. *Journal of The Textile Institute*, 103(7), 744-751.
2. Zervent Ünal, B., Küçük, A.D., 2021. Ozonlama Proses Şartlarının Elastansız Denim Kumaşların Yumuşaklık/Sertli ve Mukavemet Özelliklerine Etkisinin İrdelenmesi. *DEÜ FMD*, 23(69), 745-754.
3. Doba Kadem, F., Saraç, E.G., 2017. An Experimental Application on Denim Garment to Give Thermal Regulation Property. *Journal of the Textile Institute*, 108(3), 353-360.
4. Sabır, E.C., Doba Kadem, F., 2016. The Comfort and Performance Properties of Raised and Laminated Denim Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 24(5), 88-94.
5. Tölek, S., Doba Kadem, F., 2016. An Investigation on Colour Analysis and Fastness Properties of the Denim Fabric Dyed with a Different Method. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 26(2), 198-204.
6. Sabır, E.C., Dönmez, İ., 2018. Efficiency in Denim Finishing Mills-Reducing the Use of Coustics in Mercerization. *ISAS 2018-Winter, 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, November 30 - December 2, 2018, Samsun, Turkey.
7. Gülşen Bakıcı, G., Doba Kadem, F., 2018. An Experimental Study on Sewability Properties of 100% Cotton Denim Fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 28(2), 170-176.
8. Dönmez, İ., Sabır, E.C., 2019. Denim Terbiye İşletmelerinde Verimlilik ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Üzerine Deneysel Çalışma, *UÇTEK2019-Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi*, 26-27 Eylül 2019, Adana.
9. Guinee, J.B., 2002. Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to The ISO Standards. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(5), 311-313.
10. La Rosa, A.D., Grammatikos, S.A., 2019. Comparative Life Cycle Assessment of Cotton and Other Natural Fibers for Textile Applications. *Fibers*, 7, 101. www.mdpi.com/journal/fibers.
11. Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E., Mazzuto, G., Paciarotti, C., 2014. Environmental Analysis of a Cotton Yarn Supply Chain. *Journal of Cleaner Production*, 82, 154-165.
12. Peters, G., Svanström, M., Roos, S., Sandin, G., Zamani B., 2015. Carbon Footprints in the Textile Industry. Book Chapter, 3-30. (Editor: Muthu, S.S.), *Handbook of Life Cycle Assessment (LCA) of Textiles and Clothing*, Woodhead Publishing Series in Textiles; 172, Elsevier: Amsterdam, Netherlands,
13. Roos, S., Posner, S., Jonsson, C., Peters, G.M., 2015. Is Unbleached Cotton Better Than Bleached? Exploring The Limits of Life-Cycle Assessment in the Textile Sector. *Clothing & Textiles Research Journal*, 33(4), 250-261.
14. Roos, S., Peters, G.M., 2015. Three Methods for Strategic Product Toxicity Assessment-The Case of the Cotton T-Shirt. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(7), 903-912.
15. Qian, J.H., Li, Y., Wang, L.L., 2018. Calculation and Assessment of Chemical Footprint of Denim Fabric. *Dyeing & Finishing*, 44(13), 52-55.
16. Li, Y., Luo, Y., He, Q., 2020. Chemical Footprint of Textile and Apparel Products: An Assessment of Human and Ecological Toxicities Based on Usetox Model. *Journal of The Textile Institute*, 111(7), 960-971.
17. Van der Velden, N.M., Patel, M.K., Vogtländer, J.G., 2014. LCA Benchmarking Study on Textiles Made of Cotton, Polyester, Nylon, Acryl, or Elastane. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 19, 331-356.

18. Wang, L.L., Ding, X.M., Wu, X.Y., 2013. Research Progress of Textile Carbon Footprint. *Textile Research Journal*, 34(6), 113-119.
19. Dönmez Uzun, İ., Sabır, E.C., Sırlıbaş, S., Yeřiltař, E., 2021. Performance and Life Cycle Analysis of Denim Fabrics Produced Using Soybean Protein Fiber and Cotton Fiber, 5th Icnf2021-Materials of the Future (5th International Conference on Natural Fibers), 17-19th May 2021, Madeira Island/Portugal.