



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 29.09.2022
Kabul Tarihi : 24.02.2023

Received Date : 29.09.2022
Accepted Date : 24.02.2023

ÇEVRE DOSTU DENİM KUMAŞ TASARIMI VE YAŞAM DÖNGÜ ANALİZİ

ECO-FRIENDLY DENIM FABRIC DESIGN AND LIFE CYCLE ANALYSIS

Yaşar ERAYMAN YÜKSEL^{1*} (ORCID: 0000-0002-3889-3380)
Yasemin KORKMAZ¹ (ORCID: 0000-0002-0030-6259)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Yaşar ERAYMAN YÜKSEL, y.eraymanyuksel@gmail.com

ÖZET

Hızlı moda akımının etkisiyle, üretim ve tüketim hacmi sürekli artan tekstil sektöründe doğal kaynak kullanımı, emisyon ve atıklar önemli bir çevresel yük oluşturmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramının ön plana çıkmasıyla birlikte ürünlerin tasarım ve üretim aşamalarında çevre dostu stratejilerin benimsenmesi büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir tasarımda hem estetik ve işlevsellik açısından hem de çevre açısından en uygun malzemelerin seçilmesi gerekmektedir. Malzeme seçiminde çevresel etkileri belirlemek ancak yaşam döngü analizi ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, sürdürülebilir tekstil tasarımı kapsamında %99 BCI pamuk/%1 elastan ve %79 pamuk/%20 geri dönüştürülmüş pamuk/%1 elastan içerikli olarak tasarlanan 2 denim kumaşın yaşam döngü analiz çalışması gerçekleştirilerek nihai ürün tasarımında en sürdürülebilir malzeme seçimi amaçlanmıştır. Yaşam döngü analizi ile, abiyotik tüketim (fosil yakıtlar) ve deniz ekotoksisite potansiyelleri haricindeki tüm çevresel etki kategorilerinde geri dönüştürülmüş pamuk kullanımının BCI pamuk kullanımına göre daha az çevresel yük oluşturduğu bulunmuştur. Bu açıdan, çalışma sonucunda geri dönüştürülmüş lif içerikli numunenin nihai ürün tasarımında kullanılması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevre dostu, denim kumaş, geri dönüşüm, BCI pamuk, yaşam döngü analizi.

ABSTRACT

The use of natural resources, emissions and wastes constitute an important environmental burden the textile sector, in which production and consumption volume is constantly increasing with the effect of the fast fashion trend. With the concept of sustainability, it is very important to adopt environmentally friendly strategies during the design and production stages of products. In sustainable design, it is necessary to choose the most suitable materials both in terms of aesthetics and functionality and in terms of the environment. Determining the environmental effects in material selection is possible with life cycle analysis. In this study, the life cycle analyzes of 2 denim fabrics designed with 99% BCI cotton/1% elastane and 79% cotton/20% recycled cotton/1% elastane were carried out, and it was aimed to choose the most sustainable material in the final product design within the scope of sustainable textile design. In all environmental impact categories except abiotic depletion (fossil fuels) and marine eutrophication potentials, the use of recycled cotton was found to create less environmental burden than the use of BCI cotton with life cycle analysis. In this respect, as a result of the study, it has been suggested to use the recycled fiber content fabric in the final product design.

Keywords: Eco-friendly, denim fabric, recycling, BCI cotton, life cycle analysis.

GİRİŞ

Son yıllarda tekstil ve moda sektöründe yeni tasarımlar ile birlikte sürekli değişen moda trendleri tekstil ürünlerinin aşırı üretim ve tüketimine neden olmaktadır. Kısa bir süre kullanılıp elden çıkarılan ürünler atık olarak önemli çevresel problemlere yol açmaktadır. Kısıtlı olan doğal kaynak kullanımı ve ortaya çıkan çevresel yükün azaltılarak üretim ve tüketim döngüsünün sağlanması, sürdürülebilirlik ile gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda, sürdürülebilir kalkınma Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (World Commission on Environment and Development/WCED 1987)'nin Brundtland Raporu olarak bilinen "Ortak Geleceğimiz" isimli raporunda, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilecek kapasiteden ödün vermeden mevcut ihtiyaçları karşılamamızı sağlayan bir model olarak tanımlanmıştır (Gardetti ve Torres, 2017; United Nations, 1987). Sürdürülebilirlik çevresel, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir. Çevresel sürdürülebilirlik, çevre için tehdit oluşturmayan üretim ve kullanımla ilgili tüm faaliyetleri ve dönüştürülebilir ürünleri; ekonomik sürdürülebilirlik, çevresel kaynakların korunarak ekonomik gelişmenin sağlanmasını ifade etmektedir (Çoruh vd., 2020; Gürcüm ve Yüksel, 2012). Sosyal sürdürülebilirlik ise, insan hakları, eğitim ve sağlık standartları gibi kişilerin optimum yaşam standartlarının sağlanması ile ilgilidir (Yücel ve Tiber, 2018; Can ve Ayvaz, 2017). Tüm dünyada artan çevresel problemler ile birlikte gelen farkındalık, tüketicilerin ekolojik ürünlere yönelmesine ve üreticilerin de buna bağlı olarak üretim yapmasına yol açmıştır (Paralı, 2020).

Sürdürülebilir tasarım, üretim ve kullanım aşamasının dikkate alınarak yaşam sonu değerlendirme düşüncesini içermektedir. Ürünlerin birden fazla yaşam döngüsüne sahip olması en iyi seçenek olup, ilk yaşam döngüsü bittikten sonra nasıl kullanılacağı tasarlanmalıdır. Çevresel açıdan ürünü olduğu gibi kullanmak, küçük değişikliklerle yeni bir ürün tasarlamak veya geri dönüştürmek en iyi seçenekler arasında yer almaktadır (Niinimäki, 2013). Döngüsel ekonomide, ürün performansı (dayanıklılığı, geri dönüştürülebilirliği ve onarılabilirliği) daha tasarım aşamasında tanımlanmalıdır. Bu ilk aşamada verilecek kararlar, bir giysinin yaşam döngüsünün sonraki tüm süreçlerini (hammadelerin belirlenmesi, boya-apre işlemleri, giysi üretimi, aksesuarlar ve etiketleme yöntemlerinin seçimi, giysinin işletme tarafından atılmasına kadarki tüm süreçler) etkilemektedir. Tasarımcılar ve mühendisler, optimum geri dönüşüm seçenekleri ve sürdürülebilirlik ile arzu edilen bir ürün tasarımı birleştirme konusunda sıkıntı yaşayabilmektedir. Çünkü, tasarımcı için tüketicilere hitap etmeyecek ancak sürdürülebilir ve tamamen geri dönüştürülebilir özellikte ürünler tasarlamak başarının gerisinde kalmaktadır (Koszewska, 2018). Sürdürülebilir moda, tasarım, üretim, lojistik, perakende, kullanım ve imha olmak üzere tüm aşamaları dikkate alan yaşam döngüsü düşüncesini içermelidir. Bu açıdan, ürün tasarımıyla ziyade yaşam döngülerinin tasarlanmasının daha önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Sürdürülebilir tekstillerde ürünün tüm yaşam döngüsünün tasarımı için tasarımcılar tarafından 3R (reduce-reuse-recycle), ileri dönüşüm (upcycling), sıfır atık, ekolojik ve mono materyal kullanımı, yeni teknolojilerin kullanımı, çok fonksiyonlu giysi tasarımı gibi farklı stratejilerin benimsenmesi oldukça önemlidir (Niinimäki, 2013; Black, 2011). Bu açıdan, moda ve tekstil tasarımcıları çevre dostu ürün üretiminde önemli bir role sahiptir. Tekstil atıklarını tamamen ortadan kaldırmak mümkün görünmese de, 3R atık hiyerarşisinin benimsenmesiyle atıkların azaltılması sağlanabilmektedir. Atık hiyerarşisinde ilk ilke olan 'Azalt (Reduce)', tüketicilerin bilinçli satın alma davranışını teşvik ederek, döngü sonunda atık akışına girecek gereksiz ve kullanılmayan ürünlerin birikmesini önlemektedir (Thompson, 2017). 'Yeniden kullanım', aynı üretim zinciri içinde yeniden kullanılan mevcut bir ürünü ifade etmektedir (Kamis vd., 2018). Yeniden kullanımda ikinci el ürünlerin kullanılması veya ürünün yeni bir amaç için kullanılması ile yaşam döngüsü uzatılmaktadır (Thompson, 2017). 'Geri dönüşüm', hammaddenin geri kazanılması ve yeni ürünlerde kullanılması için ürünün hammaddelerine ayrılması olarak tanımlanmaktadır. Tekstil geri dönüşümü, tüketici öncesi atıkların veya tüketici sonrası atıkların geri kazanılmasını içermektedir (Leonas, 2017; Payne, 2015). Geri dönüşüm ile atık ürünler, doğal kaynak kullanımı ve çevresel etkiler önemli miktarda azaltılmaktadır. Geri dönüşüm süreçleri atıkların toplanması, mekanik veya kimyasal yöntemlerle geri kazanılması aşamalarından oluşmaktadır. İleri dönüşüm, eski veya kullanılmayan ürünlerden ve atık malzemelerden daha kaliteli ve daha iyi çevresel değere sahip yeni bir ürün yaratma sürecidir. Geri dönüşümde, atıklar yeniden kullanılabilir bir ürüne dönüşürken değer kaybetmekte, fakat ileri dönüşümde daha kaliteli bir ürün ortaya çıkmaktadır. İleri dönüşüm ile atık malzemeler yeniden kullanılarak bir ürüne sürdürülebilirlik ve yaratıcılık katılmakta, çevresel ve sosyal değerleri artırılmaktadır (Kushwaha ve Swami, 2016; Kim, 2014). Sıfır atık moda tasarımı, özellikle tasarım yoluyla giysi üretim ve kullanımının tüm aşamalarında, kumaş atıklarını ortadan kaldırmayı amaçlayan yöntemleri ifade etmektedir. Sıfır atık moda tasarım yöntemleriyle oluşturulan giysiler, üretim sırasında sıfır kumaş atığı bırakmaktadır (Aakko ve Niinimäki, 2013; Rissanen 2013). Örneğin üretimde; giysi kalıpları ve postal yerleşim planının hazırlanması süreçleri sıfır atık yaklaşımı için oldukça önemlidir. Kesim

öncesi atıkları azaltmak için, kalıplar minimum kumaş kaybı olacak şekilde yerleştirilmekte ve bu şekilde postal verimliliği artarak maliyetten tasarruf sağlanabilmektedir (Grevinga vd., 2017; Kozłowski vd., 2012). Yeni teknolojilerin kullanılması, sürdürülebilir tekstil tasarımında önemli bir etkiye sahiptir. Geri dönüştürülebilirliği sağlamak için bir başka farklı yaklaşım, giysinin sökülerek tek bileşenlere dönüştürülmesidir. Örneğin; mikrodalgada ayrıştırılabilir iplik gibi yenilikçi teknikler kullanarak, bir dikişe mikrodalga enerjisi uygulanmakta ve iplik kırılarak minimum kuvvet altında sökülmesi sağlanmaktadır. Bu işlem sonucunda, kumaş hasar görmeden kalırken, ipliğin kopma mukavemeti, %80'den daha fazla bir oranda hızla azalmaktadır (Grevinga vd., 2017; Blackburn, 2015). Hızlı modanın aksine yavaş moda; küçük ölçekli üretim, üretimde yerel malzemelerin ve pazarların kullanımı, geleneksel üretim teknikleri, sezonsuz tasarım konseptleri, kaliteli ve dayanıklı ürünlere odaklanan daha yavaş üretim süreleri, hem üretim hem de tüketimde gerçek ekolojik ve sosyal maliyetleri yansıtan ve sürdürülebilirliğe odaklanan fiyatlar gibi birçok farklı unsuru içermektedir. Bu unsurlar daha az tüketim ve daha az atık oluşumunu teşvik etmektedir (Hall, 2018; Fletcher, 2010). Giysiler, bir sezondan fazla kullanılacak şekilde çok işlevli olarak tasarlanabilmektedir. Tasarımcıların, tasarım öncesi hammadde aşamasından konfeksiyon üretimine kadar olan süreçte, organik ve geri dönüştürülmüş lifler ile daha az kimyasal kullanımı gerektiren kumaşlar gibi uygun malzemelerden bir seçim yapması gerekmektedir. Ayrıca geri dönüştürülebilir/ileri dönüştürülebilir veya yeniden kullanılabilir uygun malzemeler de seçilerek kapalı döngü sistemlerle üretilen malzemelerin kullanımı sağlanmalıdır. Çoğu giysi fiyat açısından daha uygun olduğundan dolayı farklı lif karışımlarından üretilmektedir. Mekanik geri dönüşüm sürecini optimize etmek için mono malzemelerle tasarım yapmak burada önemli bir seçenektir. Karışımlar genellikle selülozik ve sentetik lifler içermekte ve çoğu zaman lif, boya ve tüketici sonrası atıkların apreleri bilinmemektedir. Karışım liflerden üretilen giysileri mono malzemelere ayırmak ise şu an için mümkün görünmemektedir (Grevinga vd., 2017). Giysi yaşam döngüsünün, tekstil ve moda sürdürülebilirliği açısından tüketiciler arasında farkındalık yaratması son derece önemlidir. Yaşam döngü analizi ile, ürünün tasarım aşamasından başlanarak kullanım sonunda bertaraf edilmesine kadar olan tüm işlemlerin çevresel açıdan değerlendirilmesi sağlanabilmektedir. Bu analiz, ürünlerin çevresel yüklerinin hesaplanarak birbiri ile kıyaslanmasına olanak sağlamaktadır (İşmal ve Yıldırım, 2012). Bunun dışında moda sürdürülebilirliği, tüketicilerin giysi satın alma, giysileri kullanma, bakım ve yaşam döngüsü sonunda bu giysileri elden çıkarma kararlarını vermedeki davranışlarından da etkilenmektedir (Kamis vd., 2018).

Geri dönüştürülmüş lif kullanımının yaratacağı çevresel etkinin belirlenmesi sürdürülebilir tasarım için oldukça önemlidir. Bu amaçla yapılan bu çalışmada, denim kumaş tasarımcısının yaşam döngü analizi kullanılarak, çevresel açıdan en sürdürülebilir malzeme ve prosesi seçmesi amaçlanmaktadır.

MATERYAL METOT

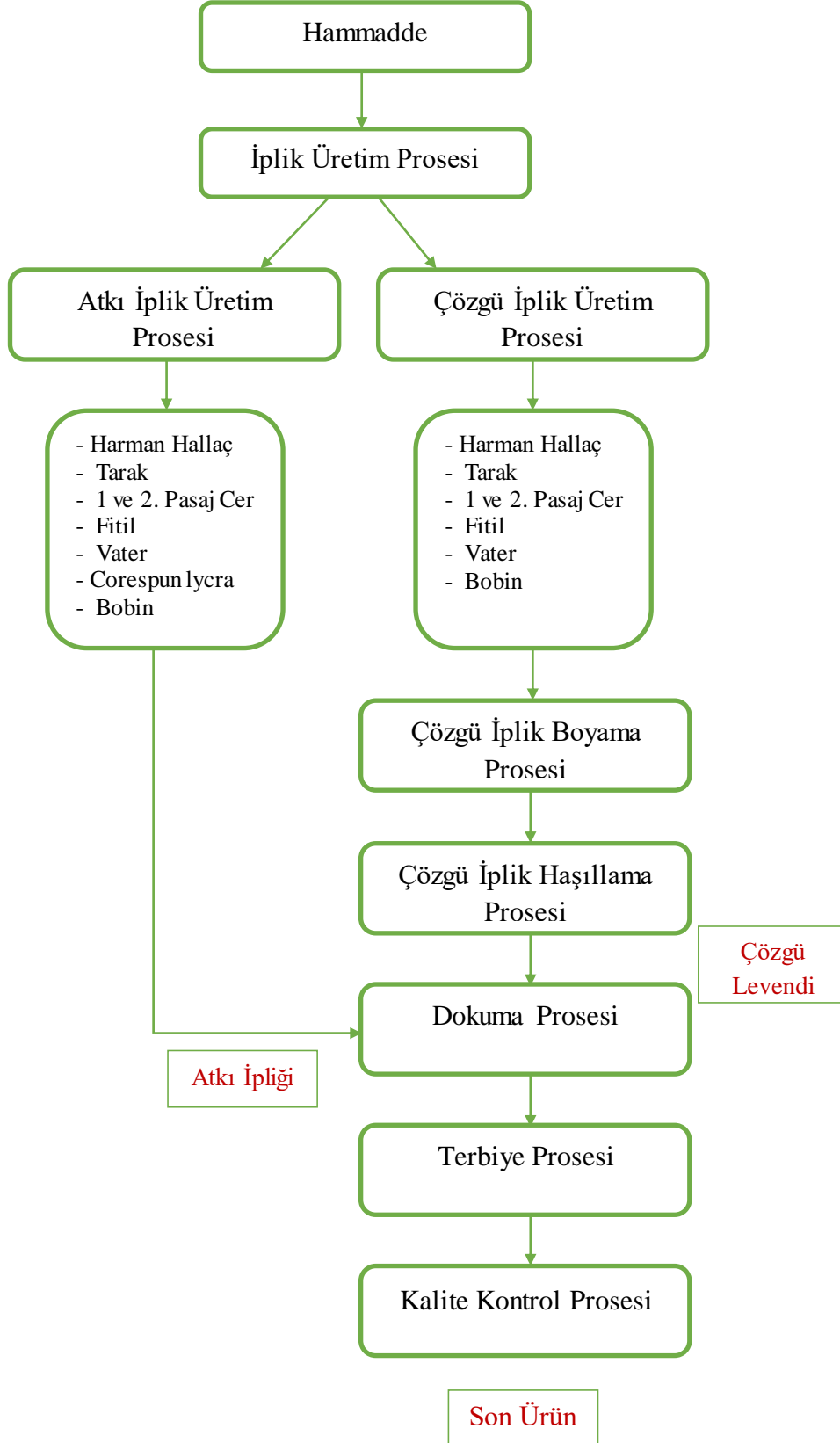
Bu çalışma kapsamında, sürdürülebilir tekstil tasarımında çevre dostu lifler içeren denim kumaşlar üretilerek bu kumaşların üretim sırasında ortaya çıkan çevresel etkilerini belirlemek için yaşam döngü analizi yapılmıştır. Çalışmada %99 BCI pamuk/%1 elastan ve %79 pamuk/%20 geri dönüştürülmüş pamuk/%1 elastan olmak üzere 2 farklı denim kumaş kullanılmıştır. Kumaşlara ait parametreler Tablo 1'de verilmiştir. BCI pamuk (iyi pamuk) ürün koruyucu kimyasal kullanımı, su tüketimi azaltılarak, doğal yaşamı ve üretimdeki çalışan haklarını koruyan, lif kalitesini artırmayı hedefleyen yaklaşımlar kullanılarak üretilmektedir (URL-1). Çalışmada kullanılan geri dönüştürülmüş pamuk mekanik geri dönüşüm yoluyla elde edilmiştir.

Tablo 1. Kumaş Üretim Parametreleri

Özellik	%99 BCI Pamuk/%1 Elastan	%79 Pamuk/%20 Geri dönüştürülmüş pamuk/%1 Elastan
Atkı iplik numarası (Ne)	10/1 pamuk+78 dtex elastan	10/1 pamuk+78 dtex elastan
Çözgü iplik numarası (Ne)	7,12/1	7,12/1
Atkı sıklığı (tel/cm)	18	18
Çözgü sıklığı (tel/cm)	27	27
Tarak numarası	56/4	56/4
Tarak eni (cm)	185	185
Ham en (cm)	173	173
Doku tipi	3/1 Z dimi	3/1 Z dimi

Yaşam döngü analizi, lifler için hammadde aşaması, iplik üretimi, kumaş üretim süreci, terbiye işlemleri ve kalite kontrol aşamaları için yapılmıştır. Atkı ve çözgü iplikleri ring üretim yöntemi ile üretilmiş olup, atkı iplikleri elastan içermektedir. Dokuma hazırlık ve çözgü ipliklerinin boyanması işlemleri halat sarma, halat boyama, halat

açma ve haşılama adımlarını içermektedir. Terbiye aşamasında ise, kumaşlara yakma, yıkama, apre ve sanfor işlemleri uygulanmıştır. Yaşam döngü analizinde lif etkisini belirlemek için üretimde denim kumaşların yalnızca giriş hammaddesi değiştirilerek diğer üretim aşamaları sabit tutulmuştur. Yaşam döngü analizinde ürünler için proses akış diyagramları hazırlanmış ve her proses için fonksiyonel birimleriyle birlikte tüm girdi ve çıktılar belirlenmiştir. Ürünlerin proses akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ürünlerin Proses Akış Diyagramı

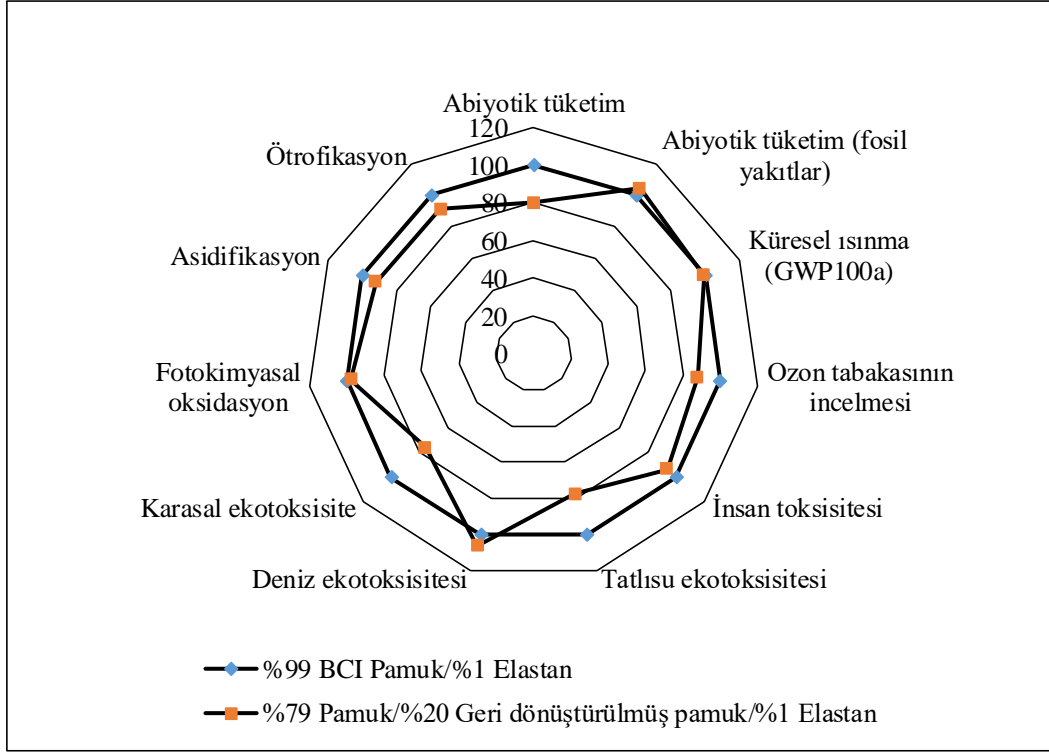
Üretim sırasında çalışmanın yapıldığı işletmede toplanan girdi ve çıktılar SimaPro® yaşam döngü analiz yazılımına girilmiş, Ecoinvent veritabanında CML-IA baseline metodu seçilerek çevresel etkiler hesaplanmıştır. Verilerin sisteme girilme aşaması lif veri girişi ile başlamaktadır. Çalışmada kullanılan lifler veritabanından seçilerek birimleri ile birlikte sisteme girilmiştir. Sonrasında, her bir proses sırasıyla sisteme tanımlanarak, bu proseslerde gerçekleşen elektrik, su, kimyasal vb. tüketimler birimleri ile birlikte ayrı ayrı sisteme girilmiştir. Tüm proseslerdeki veri girişleri bir birim üretim için hesaplanarak yapılmıştır. Ardından gerçekleştirilen 'ürün aşamaları-birleştirme' aşamasında ise, her bir proseste kullanılan hammadde tüketimleri ile proses sonucu oluşan ürünler ayrı ayrı sisteme tanımlanarak prosesler arasında bağlantı kurulmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı lif içerikli 2 denim kumaşın yaşam döngü analizi karakterizasyon sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. CML-IA baseline metoduna göre kumaşların abiyotik tüketim, küresel ısınma potansiyeli, ozon tabakasının incilmesi, insan toksisitesi, tatlısu, deniz ve karasal ekotoksosite, fotokimyasal oksidasyon, asidifikasyon ve ötrofikasyon etki kategorilerindeki çevresel yükleri hesaplanmıştır. %79 Pamuk/%20 Geri dönüştürülmüş pamuk/%1 Elastan içerikli kumaşların, %99 BCI Pamuk/%1 Elastan içerikli kumaşa göre tüm etki kategorilerindeki yaşam döngü analiz değerlerinin % değişim miktarları ise Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu hesaplamada, %99 BCI Pamuk/%1 Elastan içerikli kumaşın çevresel etki değerleri %100 olarak alınarak, geri dönüştürülmüş lif kullanımının yarattığı değişim ortaya konulmuştur.

Tablo 2. Kumaşlara Ait Yaşam Döngü Analizi Karakterizasyon Sonuçları

Etki kategorisi	Birim	%99 BCI Pamuk/%1 Elastan	%79 Pamuk/%20 Geri dönüştürülmüş pamuk/%1 Elastan
Abiyotik tüketim	kg Sb eq	1,4585E-05	1,1686E-05
Abiyotik tüketim (fosil yakıtlar)	MJ	30,6549122	32,0082186
Küresel ısınma (GWP100a)	kg CO ₂ eq	2,74549538	2,7306593
Ozon tabakasının delinmesi	kg CFC-11 eq	4,8676E-07	4,2713E-07
İnsan toksisitesi	kg 1,4-DB eq	1,18736017	1,11351973
Tatlısu ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	18,4233409	14,3120805
Deniz ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	2519,20833	2680,54351
Karasal ekotoksitesite	kg 1,4-DB eq	1,36222695	1,03647778
Fotokimyasal oksidasyon	kg C ₂ H ₄ eq	0,00062	0,00060787
Asidifikasyon	kg SO ₂ eq	0,02018772	0,01855208
Ötrofikasyon	kg PO ₄ --- eq	0,01061069	0,00966523



Şekil 2. %79 Pamuk/%20 Geri Dönüştürülmüş Pamuk/%1 Elastan İçerikli Kumaşların %99 BCI Pamuk/%1 Elastan İçerikli Kumaşa Göre Yaşam Döngü Analiz Değerlerinin % Değişim Miktarları

İlk kategoride yer alan abiyotik tüketim potansiyeli element tüketimi ile ilgili olup, doğal kaynakların tükenme potansiyelini ifade etmektedir. Pamuk ekim aşamasında kullanılan kimyasal maddeler, doğal kaynakları tüketme potansiyeline sahiptir. Geri dönüştürülmüş lif kullanımı ile tekrar eden pamuk üretim aşaması etkisi azaltıldığı için abiyotik tüketim potansiyelinde %19-20 oranında düşüş görülmüştür. BCI pamuk lifinin kullanıldığı kumaş ise, her ne kadar pamuk ekiminde çevre dostu uygulamaları içerse de abiyotik tüketim potansiyeli geri dönüştürülmüş pamuk içerikli kumaşa göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca denim kumaşlarda çözgü boyama, haşıl ve terbiye işlemleri sırasında su, boyarmadde ve yardımcı kimyasalların kullanımı da abiyotik tüketim potansiyelinde önemli etkiye sahiptir (Zhang vd., 2015).

İkinci kategori ise, fosil yakıtların tükenme potansiyeli ile ilgilidir. Pamuk üretiminde gübre, kimyasal kullanımları ve sulamadan kaynaklanan emisyonlar fosil yakıtların tükenme potansiyelini artırmaktadır. İplik üretim aşamasında kullanılan elektrik enerjisi, çözgü boyama ve haşılama proseslerinde ısı ve elektrik enerjisi, dokuma işleminde elektrik enerjisi ve terbiye işlemlerinde elektrik ve buhar enerjisi fosil yakıtların tükenme potansiyelini artıran etkenler olmuştur. BCI pamuk içerikli numune, geri dönüştürülmüş lif içerikli numuneye göre fosil yakıtların tükenme potansiyelini %4 oranında azaltmıştır.

Yeryüzündeki sera gazlarının artışı güneş ışınlarını tutarak küresel ısınma potansiyelinin artmasına neden olmaktadır. Lif üretim aşamasında kullanılan sentetik gübre ve kimyasallar sera gazları salınımına neden olarak küresel ısınma potansiyelini artırmaktadır. BCI pamuk içerikli kumaşın küresel ısınma potansiyeli, geri dönüştürülmüş lif içerikli kumaşa göre %0,5 oranında daha yüksek bulunmuştur. İyi pamuk uygulamalarının ekim sırasındaki çevresel etkileri azalttığı bilinmesine rağmen, geri dönüştürülmüş lifler az bir miktar da olsa daha fazla düşüş sağlamıştır. Bunun yanı sıra diğer tüm proseslerdeki elektrik ve ısı enerji kullanımları sera gazlarının salınımını artırmıştır. Toksöz (2018), birbirinden farklı pamuk türü içeren 4 denim dokuma kumaşın yaşam döngü analizini gerçekleştirdiği çalışmada, bu çalışma sonuçlarına benzer olarak, geri dönüştürülmüş lif içerikli numunenin BCI pamuk içerikli numuneye göre iklim değişikliği ve abiyotik tüketim potansiyellerinin daha düşük olduğunu tespit etmiştir.

Kloroflorokarbon gibi çeşitli gazlar ozon tabakasının delinme potansiyelinin artmasına ve diğer ekosistemler üzerinde zararlı etkilere yol açmaktadır. Cardoso (2013), pamuk ekim sürecinde ozon tabakasının delinme potansiyeline gübre üretimi, makineler için kullanılan enerji tüketimleri ve sulamanın neden olduğunu belirtmiştir.

Ayrıca fosil yakıtların yakılması ile salınan gazların ozon tabakasının yapısını bozduğu da bilinmektedir. Çözgü boyama ve haşılama aşamalarında, iplik ve dokuma kumaş üretimlerinde ve terbiye işlemlerinde kullanılan buhar, ısı ve elektrik enerjisi ozon tabakasının delinme potansiyelini artırmıştır. Geri dönüştürülmüş pamuk kullanımı, BCI pamuk içerikli kumaşlara göre, fosil yakıt tüketimlerini azaltarak ozon tabakasının delinme potansiyelini %12 azaltmıştır.

İnsan toksisitesi potansiyeli, tekstilde kullanılan zararlı maddeler ve yayılan emisyonların insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini ifade etmektedir. Pamuk ekimi sırasında gübre ve pestisitler, iplik ve dokuma kumaş üretim aşamasında fosil yakıt tüketimi, çözgü iplik boyama, haşılama ve kumaş terbiye aşamalarında kimyasallar ve fosil yakıtlar hava, su ve toprağa emisyon yayarak insan sağlığı üzerinde zararlı etkiler yaratmaktadır. Geri dönüştürülmüş lif içerikli kumaşlarda hammadde üretim aşamasından gelen etkilerin azaltılması nedeniyle insan sağlığına etkiler, BCI pamuk içerikli numuneye göre %6 oranında daha düşük bulunmuştur.

Tatlısu, deniz ve karasal ekotoksosite potansiyelleri hava, su ve toprağa yayılan emisyonların ekosistemler üzerindeki etkilerini ifade etmektedir. Pamuk lifi üretim aşamasında gübre üretimi ve tarımsal ilaçların kullanılması suya ve toprağa yapılan emisyonların artmasına neden olmakta, yoğun su tüketimi su ekosistemlerindeki canlıların yaşamını tehlikeye sokmakta, boya ve terbiye işlemlerinde zararlı kimyasal içerikli atık sular denizlere boşaltılarak ekosistemlere zarar vermektedir. Ayrıca, tüm proseslerdeki fosil yakıt tüketimleri de deniz ekosistemi üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Geri dönüştürülmüş pamuk içerikli numune üretiminde, tekrarlı lif üretim basamağından gelen etkiler azaltıldığı için, BCI pamuk kumaşa göre tatlısu ve karasal ekosistemlere etkiler sırasıyla %22 ve %24 oranlarında daha düşük bulunmuştur. Deniz ekotoksosite potansiyeli fosil yakıt tüketimleri ile doğrudan ilişkili olduğundan, BCI pamuk içerikli kumaşların deniz ekotoksosite potansiyeli, geri dönüştürülmüş lif içerikli kumaşlara göre %6 oranında daha düşük bulunmuştur.

Fotokimyasal oksidasyon, uçucu organik bileşiklerin güneş ışınları etkisiyle zararlı bileşiklere dönüşmesidir. Pamuk üretim sürecinde, sentetik gübre, pestisit gibi kimyasalların kullanımı ve yakıt tüketimleri ile fotokimyasal oksidasyon potansiyeli artmaktadır. Geri dönüştürülmüş lif kullanımı enerji ve emisyon miktarlarını azaltarak BCI pamuğa göre fotokimyasal oksidasyon değerlerini %2 daha fazla düşürmüştür. Hackett (2015), çalışmasında fosil yakıt kullanımı nedeniyle lif üretim aşamasının fotokimyasal oksidasyon potansiyeli üzerinde en fazla etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

Asidifikasyon potansiyeli, toprakta ve suda çeşitli etkiler ile asitleştirici maddelerin artması sonucu ekosistemlere verilen zararları ifade etmektedir. Ötrofikasyon potansiyelinde ise, su ekosistemlerinde atıklardan gelen besin maddelerinin artışı sonucu oksijen tükenmesi gerçekleşmekte ve canlıların yaşamı tehlikeye girmektedir. Pamuk üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler, asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyeline önemli etki yapmaktadır. Ayrıca diğer tüm proseslerde kullanılan elektrik enerjisinin yanı sıra, çözgü boyama proseslerinde boyarmaddelerin indirgenmesi için kullanılan indirgeyici ajanlar da atık suda bulunarak asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyelini artırmaktadır. Geri dönüştürülmüş lif içerikli kumaşların asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyeli tekrarlı lif üretiminin azalması nedeniyle BCI pamuk içerikli numunelere göre %8-9 oranında daha düşük bulunmuştur. Denim yaşam döngü analizi ile ilgili farklı bir çalışmada da, %70/30 pamuk/geri dönüştürülmüş pamuk içerikli ipliğin %100 pamuk ipliğe göre asidifikasyon potansiyeli daha düşük bulunmuştur (Spathas, 2017). Bizim çalışmamızda konvansiyonel pamuk yerine kullanılan BCI pamuk, lif üretim sürecindeki çevresel etkileri azaltsa da, geri dönüştürülmüş lif kullanımı asidifikasyon potansiyelinde daha fazla düşüş yaratmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sürdürülebilir tekstil tasarımı açısından %99 BCI pamuk/%1 elastan ve %79 pamuk/%20 geri dönüştürülmüş pamuk/%1 elastan içerikli olarak 2 denim kumaş üretilmiş ve yaşam döngü analizi yapılarak nihai ürün tasarımında en sürdürülebilir malzeme seçimi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda geri dönüştürülmüş lif içerikli kumaş, BCI pamuk içerikli kumaşa göre abiyotik tüketim (fosil yakıtlar) ve deniz ekotoksosite potansiyelleri haricinde tüm etki kategorilerinde daha az çevresel etki yaratmıştır. Sürdürülebilir tasarımda çevre ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması büyük önem taşımaktadır. Piyasadaki sürdürülebilir kumaş seçenekleri konvansiyonel kumaşlara kıyasla daha sınırlı olduğundan dolayı, tasarımın sürdürülebilirlik ile bir arada düşünülmesi karmaşık olabilmektedir. Büyük ölçekte çalışan tasarımcılar ve üretici firmaların, tasarımın hem işlevsel hem estetik yönlerini göz önünde bulundurarak en az zararlı malzemeleri kullanmayı seçmesi büyük önem taşımaktadır (Fletcher, 2008; Aakko ve Koskennurmi-Sivonen, 2013). Bu çalışmada yapılan yaşam döngü analizi sonucunda, %79 pamuk/%20 geri dönüştürülmüş pamuk/%1 elastan içerikli kumaşın nihai ürün tasarımında

kullanılması önerilmiştir. BCI pamuğun, konvansiyonel pamuğa göre çevresel açıdan önemli kazanımlar sağladığı bilirse de, geri dönüştürülmüş pamuk kullanımının birçok etki kategorisinde BCI pamuk içerikli kumaşlara göre daha fazla kazanım sağladığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma için Bossa A.Ş.'ye teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Aakko, M., & Koskennurmi-Sivonen, R. (2013). Designing sustainable fashion: Possibilities and challenges. *Research Journal of Textile and Apparel*, 17(1), 13-22.
- Aakko M., & Niinimäki, K. (2013). Experimenting with zero-waste fashion design. Niinimäki (Ed.), *Sustainable fashion: new approaches* (pp. 69-79) Helsinki, Finland: Aalto University Publication Series.
- Black, S. (2011). Sustainable design strategies: eco chic the fashion paradox. *Text: Journal of The Textile Society*, 38, 24-30.
- Blackburn, R. (2015). *Sustainable apparel. production, processing and recycling*. Woodhead Publishing.
- Can, Ö., & Ayvaz, K. M. (2017). Tekstil ve modada sürdürülebilirlik. *Akademik Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(3), 110-119.
- Cardoso, A.A.M. (2013). Life cycle assessment of two textile products wool and cotton. Master Thesis. Porto University Environmental Engineering. Portugal. 107p.
- Çoruh, E., Değirmenci, Z., & Mutlu, S. (2020). Denim kumaşlardan üretilen sürdürülebilir tasarımlar. *Journal of World of Turks/Zeitschrift für die Welt der Türken*, 12(3), 293-302.
- Fletcher, K. (2010). Slow fashion: an invitation for systems change. *Fashion Practice*, 2(2): 259–266, <https://doi.org/10.2752/175693810X12774625387594>
- Fletcher, K. (2008). *Sustainable fashion and textiles: Design journeys*. (1st ed.). Earthscan Publications, London. 256p.
- Gardetti, M. A., & Torres, A. L. (2017). *Sustainability in fashion and textiles: values, design, production and consumption*. (1st ed.). Routledge.
- Grevinga, T. H., Lurvink, M., Brinks, G., & Luiken, A. (October, 2017). Going eco, going dutch: A local and closed loop textile production system. Saxion University of Applied Sciences, Enschede, The Netherlands. pp.1-13.
- Gürcüm B.H., & Yüksel C. (2012). Moda sektörünü “yavaşlatan” eğilim; eko moda ve modada sürdürülebilirlik, I. Uluslararası Moda ve Tekstil Tasarımı Sempozyumu, 8-10 Ekim 2012, Antalya, Türkiye.
- Hackett, T. (2015). A comparative life cycle assessment of denim jeans and a cotton t-shirt: the production of fast fashion essential items from cradle to gate. Master Theses and Dissertations. University of Kentucky College of Agriculture, Retailing and Tourism Management. Lexington, Kentucky. 115p.
- Hall, J. (2018). Digital kimono: fast fashion, slow fashion?. *Fashion Theory*, 22(3), 283-307.
- İşmal Ö.E., & Yıldırım L. (2012). Tekstil tasarımında çevre dostu yaklaşımlar. *Akdeniz Sanat Dergisi*, 5(8), 9-13.
- Kamis, A., Suhairom, N., Jamaluddin, R., Syamwil, R., & Ahmad Puad, F. (2018). Environmentally sustainable apparel: recycle, repairing and reuse apparel. *The International Journal of Social Sciences and Humanities Invention*, 5(1), 4249-4257. <https://doi.org/10.18535/ijsshi/v5i1.04>
- Kim, H. J. (2014). A study of high value-added upcycled handbag designs for the Dubai. *Journal of the Korean Society of Fashion Design*, 14(1), 173-188.
- Koszevska, M. (2018). Circular Economy—Challenges for the Textile and Clothing Industry. *Autex Research Journal*, 18(4), 337-347. <https://doi.org/10.1515/aut-2018-0023>
- Kozłowski, A., Bardecki, M., & Searcy, C. (2012). Environmental impacts in the fashion industry: A life-cycle and stakeholder framework. *Journal of Corporate Citizenship*, (45), 17-36.

- Kushwaha, S., & Swami, C. (2016). Upcycling of leather waste to create upcycled products and accessories. *International Journal of Home Science*, 2, 187-192.
- Leonas, K.K. (2017). The use of recycled fibers in fashion and home products, In S.S. Muthu (Ed.), *Textiles and clothing sustainability, recycled and upcycled textiles and fashion*, Singapore, Berlin, Germany: Springer. pp. 55-78.
- Niinimäki, K. (2013). Sustainable fashion. In K. Niinimäki (Ed.), *Sustainable fashion: new approaches* (pp. 12-29) Helsinki, Finland: Aalto University Publication Series.
- Paralı, A. (2020). Sürdürülebilir moda tasarımı kapsamında yeniden üretim ve geri dönüşüm için giysi tasarımı fikirleri. *Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri*, 6(12), 121-138.
- Payne, A. (2015). Open and closed-loop recycling of textile and apparel products. In S.S. Muthu (Ed.), *Handbook of life cycle assessment (LCA) of textiles and clothing*, Woodhead Publishing. pp.103–123.
- Rissanen, T. (2013). Zero-waste fashion design: A study at the intersection of cloth, fashion design and pattern cutting. Doctoral dissertation. University of Technology, Sydney.
- Spathas T. (2017). The environmental performance of high value recycling for the fashion industry, LCA for four case studies. Master's thesis. Chalmers University of Technology, Department of Energy and Environment. Gothenburg, Sweden. 67p.
- Thompson, N. (2017). Textile waste & the 3R's: Textile waste strategy recommendations for the city of Toronto. A Major Paper. York University Faculty of Environmental Studies, Toronto Ontario, Canada, 66p.
- Toksöz, M. (2018). Tekstil sektöründe sürdürülebilirlik kavramı ve yaşam döngüsü analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı. Adana, Türkiye. 97s.
- United Nations. (1987). Report of the World Commission on environment and development: Our common future/general assembly resolution. Report 42/187. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- URL-1 Better cotton üretim ilkeleri <https://iyipamuk.org.tr/Home/Detail/7476/better-cotton> (Erişim tarihi: 20.09.22)
- Yücel, S., & Tiber, B. (2018). Hazır giyim endüstrisinde sürdürülebilir moda. *Tekstil ve Mühendis*, 25(112), 370-380. <https://doi.org/10.7216/1300759920182511211>
- Zhang, Y., Liu, X., Xiao, R., & Yuan, Z. (2015). Life cycle assessment of cotton T-shirts in China. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(7), 994-1004. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0889-4>