






Denim Endüstrisinde Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi

Naz Kadinkız^{1*} , Meyrem Seyrek¹ , Zeynep Nur Yıldırım¹ , Yaşar Sobacı² , Muhammet Uzun² 

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.

² Ar-Ge Merkezi, Maritaş Denim A.Ş. 46080, Kahramanmaraş, Türkiye.

*nazkadinkiz@gmail.com

Özet

Geleneksel denim üretiminde, sürdürülebilirlik kavramı kapsamında birçok çalışma yapılmış ve üretim prosesleri ve ham malzemelerde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda farklı programların desteğinde sektörde hızlı bir değişim ve gelişim yaşanmaktadır. Çeşitli sertifikalandırma ve denetleme süreçleri ile sürdürülebilirliğin şeffaflığı sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu derleme çalışmasında, sektörde kullanılan alternatif sürdürülebilir elyaf türleri, boyama ve terbiyedeki son gelişmeler ve geri dönüşüm konuları incelenmiştir. Döngüsel ekonomi temellerinde, gelişen teknolojiyle birlikte denim sektöründeki karbon ayak izinden ve metaverse evreniyle olan ilişkisinden de bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Denim, Sürdürülebilirlik, Fonksiyonel Denim, Döngüsel Ekonomi, Trend Uygulamalar.

Current Status Analysis on Sustainable Studies in the Denim Industry

Abstract

Numerous research has been conducted on traditional denim production within the context of sustainability, and major advancements in manufacturing techniques and raw materials have been made. With the assistance of many programs, the sector is changing and developing quickly in accordance with the objectives of sustainable development. Through various certification and inspection procedures, it is hoped to ensure the transparency of sustainability. This analysis looked at recycling difficulties, new advancements in dyeing and finishing, and alternative sustainable fiber types utilized in the industry. The circular economy's underlying principles also discuss the denim industry's carbon footprint and its connection to the metaverse universe together with emerging technology.

Keywords: Denim, Sustainability, Functional Denim, Circular Economy, Trend Applications.

1. GİRİŞ

Moda sektörü, son yıllarda önemli değişikliklere uğramış ve hızlı tüketim nedeniyle çevre sorunlarının önemli bir sebebi haline gelmiştir. Bu sektör, sürdürülebilirlik kavramıyla çevre dostu bir kimlik kazanmaya çalışmaktadır. Tekstil sektörü, dünyada en fazla çevreyi kirleten sektörler arasında bulunduğundan, sürdürülebilir değişimlere geçilmesi oldukça önemli hale gelmiştir [1]. Denim endüstrisi, tekstil sektörünün ana bileşenlerinden biridir ve bu büyük kirletici kümesinin bir parçasıdır. Türkiye’de kot kumaş olarak bilinen denim kumaşın etimolojisi hakkında farklı araştırmalar bulunmaktadır, Fransa’nın Nimes şehrinden veya İtalya’nın Cenova şehrinin İngilizce’de ‘Jenas’ olarak tercüme edilen kentinden geldiği düşünülmektedir. İngiltere’ye büyük miktarda ithal edilen denim kumaşların İtalya’nın Cenova şehrinde üretildiği, pamuk/keten veya pamuk/yün karışımı olduğuna dair araştırmalar bulunmaktadır. Bu araştırmaları netleştiren bir tablo, bilinmeyen bir Cenevizli sanatçının,17.yüzyılın ortalarında denim kumaşını resmettiği tabludur [2].



Şekil 1. Denim kumasıyla dikiş yapan kadın, Anonim Cenevizli Sanatçı [2]

Prof. Dr. Halil İnalçık’a göre, denim kumaşın asıl kökeni Türkiye’dir, bu da genel bilginin aksine denim kumaşının İngiltere veya ABD’nin anavatanı olmadığını göstermektedir. İnalçık’ın araştırmalarına göre 15. ve 17. yüzyıllar arasında Denizli ve Akhisar bölgesinde yetiştirilen pamuklar, sonrasında Hindistan’dan gelen mavi boya ile boyanmaya başlanmıştır. Daha sonra İzmir’e getirilen bu mavi malzeme yani denim, ilk olarak Fransa-Marsilya’ya ihraç edilmiştir. İspanyollar kumaşı buradan Amerika’daki kolonilere götürmüş ve Afrikalı kölelere giydirmiştir. Amerika ise bunu bir sanayi haline getirerek blucin olarak patentlenmiştir. Denim endüstrisi, Levi Strauss’ın 1873’te San Francisco bölgesindeki altın madencileri için ilk mavi kot pantolonu geliştirmesiyle büyük bir yol kat etmiştir. Ancak günümüzde denim üretimi ciddi çevresel etkilere sahiptir. 2015 yılında Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen 17 Sürdürülebilir kalkınma hedefinden biri olan, ‘sorumlu tüketim ve üretim’ hedefi doğrultusunda sektörün bütün aşamalarında geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Ancak Birleşmiş Milletler’in 2030 yılına kadar sürdürülebilirlik hedeflerine uygun bir denim sektörü için, çeşitli düzenlemelere hız verilmesi, ürün taleplerinde değişikliğe gidilmesi, geri dönüşümde artış sağlanması ve denim üretiminde tüketicilere şeffaf bir bilgi akışının sağlanması gerekmektedir. Hedefler doğrultusunda sektörü temizlemek bir ekip işidir, markaların kendi başlarına yapabilecekleri bir şey değildir. 2019 yılında denim endüstrisini döngüsel ekonomiye teşvik eden Ellen MacArthur Vakfı, Jean Redesign programıyla, markalara daha düşük çevresel etkiye, daha iyi dayanıklılığa ve döngüsel tasarım ilkelerine sahip olmaları konusunda rehberlik etmiştir. Dünya genelinde denim fabrikaları, üreticiler, teknoloji uzmanları ve tasarımcılar, bu hedeflere ulaşmak için çalışmalarını hızlandırmışlardır. Ana hedef, sorumlu üretim ve tüketim çerçevesinde çevreye ve insanlara saygılı denim üretim politikaları geliştirmektir. Benzer şekilde denim tedarik zincirinin daha çevreci olmasına yardımcı olmayı hedefleyen, Denim Deal, 2020 sonbaharında Hollandalı ve uluslararası markalar tarafından Amsterdam’da imzalanmıştır. House of denim ve Hollanda hükümetinin bir girişimi olan bu proje, döngüsel bir ekonomiyi oluşturmayı ve eski denim giysilerini geri dönüştürerek tekrar kullanmayı amaçlamaktadır.

Artan tüketici endişesi ile, moda endüstrisinde kot pantolonunun daha sürdürülebilir hale getirilmesi konusunda tüm denim endüstrisi harekete geçmiştir. Markalar, sürdürülebilirlik hakkında daha fazla bilgi edinmeleriyle birlikte, alternatif elyaflar, geri dönüştürülmüş malzemeler ve su tasarrufu sağlayan işlemleri ürün koleksiyonlarına yansıtılmaktadır. Çeşitli sertifika sistemleri, firmaların bu yöndeki çalışmalarını denetlemekte ve şeffaf bir sistemin kurulmasına yardımcı olmaktadır. Bluesign, tekstil sektöründe sürdürülebilirliği basit ve uygulanabilir hale getirmek için çalışanlara, çevreye ve herkese daha güvenli ve sürdürülebilir ortamlar sağlayan bir sistemdir. Kuruluşun amacı, özellikle kullanılan kimyasallara odaklanarak, tedarikçilerin, üreticilerin ve markaların genel etkisini azaltmaya yönlendirmektir. Higg Index, sürdürülebilirlik, teknoloji ve tüketim alanlarındaki deneyimi bir araya getirerek markaların, perakendecilerin ve üreticilerin ilerlemesini hızlandırmak için bütünleşmiş bir dijital platform oluşturur. Higg'in ölçüm araçları, malzeme ve ürün tasarımından üretime ve tesislere kadar, değer zincirinin her adımından doğru etki verilerini toplanmaya yardımcı olmaktadır [4]. Üretim sürecinde kullanılan hammaddelerin ve malzemelerin denetlendiği sertifika sistemleri de mevcuttur. Global Organik Tekstil Standardı (GOTS), organik tekstiller için dünya çapında tanınan gereksinimleri belirlemek amacıyla önde gelen standart belirleyiciler tarafından geliştirilmiştir. GOTS sertifikalı tekstiller, hammaddelerin hasatından, çevresel ve sosyal açıdan sorumlu üretime ve etiketlemeye kadarki süreçte tüketicilere güvence sağlamaktadır. Amaç, organik tekstillerin günlük yaşamın önemli bir parçası haline gelmesi, insanların yaşamlarını ve çevreyi iyileştirmesidir. Bu standart, organik olarak üretilmiş hammaddeler kullanılarak tekstil ve hazır giyim imalatında hem ekolojik koşullar hem de çalışma koşulları için tedarik zinciri boyunca gereklilikleri şart koşmaktadır [5]. RCS (Geri Dönüştürülmüş Talep Standardı), geri dönüştürülmüş hammaddelerin tedarik zinciri boyunca izlenmesi için bir gözetim zinciri standardı olarak kullanılmaktadır. Böylece, nihai üründe geri dönüştürülmüş malzemenin varlığını ve miktarını doğrulamaktadır [6]. Roadmap to Zero programı, tüketici taleplerini doğal kaynakları tüketmeden gerçekleştirmeyi amaçlar. Tekstil, hazır giyim ve ayakkabı sektöründeki markaların ve perakendecilerin değer zinciri boyunca sürdürülebilir kimyasal yönetimi uygulamalarını en iyi şekilde sağlamlarını teşvik eder. Bu çeşitli sertifikalar ve programlar, denim endüstrisinde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için kullanılan araçlar ve yöntemlerdir. Bu sayede markalar ve tüketiciler, çevresel etkileri azaltmak ve daha sürdürülebilir bir moda endüstrisine katkıda bulunmak için birlikte çalışmaktadır [7].



Şekil 2. Standartların logoları [4] [5] [6] [7]

2. DENİM ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAM MADDE ÇEŞİTLERİ

2.1 Kullanılan Geleneksel Lifler

2.1.1 Pamuk ve organik pamuk

Denim üretim süreci, pamuk ile başlar ve geleneksel pamuk üretimi çevre dostu bir yaklaşımdan uzaktır. Pamuk doğal bir elyaf olmasına rağmen büyümesi için çok suya ihtiyaç duyar ve özellikle verimsiz su kullanımıyla bilinen bölgelerde yetiştirilir. Örneğin, Hindistan'da 1 kg pamuk üretmek için 20.000 litreye kadar suya ihtiyaç gerekebilir. Temiz su kaynakları dünya genelinde azalırken, Hindistan'da 100 milyon insanın içme suyuna erişiminin olmadığı bilinmektedir. Ayrıca pamuğun %99,3'ü gübreler ve genetiği değiştirilmiş tohumlar kullanılarak yetiştirilmektedir [8]. Pamuk dünya genelinde kullanılan pestisitlerin %10'unu ve insektisitlerin %25'ini temsil etmektedir. Dünyadaki pamuk çiftçilerinin %99'u, işgücü, sağlık ve güvenlik düzenlemelerinin bulunmadığı veya çoğu zaman uygulanmadığı, gelişmekte olan ülkelerde bulunmaktadır. Bu süreç, tarladaki çalışanları genellikle zararlı pestisit kalıntılarına ve bir dizi başka sağlık

tehlikesine maruz bırakılmaktadır. Daha sürdürülebilir pamuk üretimi amacıyla, aynı kalitede pamuğun çevresel etkisi olmadan organik olarak üretilmesi için çalışmalar yürütülmektedir [9]. Organik pamuk GDO'lu olmayan tohumlardan ve pestisit, böcek ilacı veya gübre kullanılmadan yetiştirilir. Organik pamuğun, geleneksel pamuğa oranla %71'e kadar daha az su kullanıldığı belirtilmektedir [10]. Ayrıca organik pamuk çiftçileri zararlı maddelere maruz kalmazlar. Organik pamuk için çeşitli sertifikalar oluşturan kuruluşlar bulunmaktadır, bunlardan bazıları GOTS, USDA-NOP, Organik İçerik Standartları, IVN ve Naturland gibi kuruluşlardır. Bu sertifikalar, organik pamuğun belirlenen standartlara uygun şekilde üretildiğini doğrulamaktadır. Bu şekilde, organik pamuk üretimiyle denim üretim süreçlerini daha sürdürülebilir hale getirmek hedeflenmektedir.

2.2 Güncel Sürdürülebilir Alternatif Ham Malzemeler

2.2.1 Kenevir ve keten

Kenevir ve keten lifleri, çeşitli üstün özellikleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Kenevir lifi, çevresel açıdan ilgi görmektedir çünkü en hızlı büyüyen bitkilerden biridir ve fazla su, enerji, böcek ilacı veya gübreye ihtiyaç duymamaktadır [7]. Aynı zamanda toprağa fayda sağlayarak uzun yıllar aynı yerde toprağı yormadan yetiştirilebilir. Bu nedenle kenevir, çevre dostu olarak kabul edilmektedir [11, 12]. Kenevir lifleri, dayanıklılık, nem emme, hızlı kuruma, nefes alabilirlik, biyolojik olarak parçalanabilirlik, termal ve elektriksel performans gibi birçok özelliğe sahiptir [13, 14]. Keten lifi ise gıda üretimi için kullanılmayan fakir topraklarda yetişebilir. Keten lifi, yüksek mukavemet, dokunuş ve rahatlık gibi özelliklere sahiptir. Ayrıca antistatik ve UV koruma özelliklerine de sahiptir [15, 16]. Sert ve mekanik etkilere karşı dayanıklıdır, bu nedenle dokuma kumaşlar için tercih edilir. Ayrıca toz çekmeme ve kendini kullanım sürecinde bırakmama gibi özellikleri, denim kumaş üretimi için uygun olduklarını göstermektedir [16, 17, 18]. Kenevir ve keten liflerinin sürdürülebilirlik kavramını doğrudan yansıtmaları ve kullanıcı taleplerini karşılamaları nedeniyle denim ürünlerde kullanımı artmaktadır. Ayrıca bu kumaşların tutum özellikleri, uygun yıkama prosedürlerinin uygulanması ile gelişmeye açıktır. Bu nedenle keten ve kenevir karışımı denim kumaşlar, denim giysi üretiminde büyük bir potansiyele sahiptir [19].



Şekil 3. Maritaş Denim kenevir içerikli denim ürünleri [20]

2.2.2 Isırgan otu lifi

Isırgan otu lifi, pamuktan daha güçlü ve keten lifinden daha incedir. Isırgan lifi el ile dokunulduğunda yumuşak ve hoş bir his verir. Bu liften yapılan kumaşlar mukavemetli bir yapıya sahiptir [21, 22, 23]. Ayrıca parlak, nefes alabilen ve iyi bir hidrofiliteye sahiptirler. Isırgan otu lifi, süper nem absorplama kabiliyeti sağlayarak rahatlık sunar. Aynı zamanda biyolojik olarak parçalanabilen, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir lif türüdür, bu nedenle çevre dostu tekstil üretimine katkıda bulunur ve düşük enerji

gerektirir [24, 25]. Üretim maliyeti, pamuk üretimine göre daha düşüktür. Isırğan otu lifi; üst giysilerde, ceketlerde, denim kumaşlarda kullanım alanı bulmaktadır [26]. 2004 yılında, Floransa merkezli moda evi Corpo Nove, ısırğan iplikli kot pantolonları Selfridges'te büyük bir ilgiyle tanıtmıştır. Hollandalı Green Nettle Textile firması, yüzde 75 pamuk ve 25 ısırğan otu ipliği karışımı olan canlı renkler ve geometrik şekillerde giysiler içeren ilk koleksiyonu için, ısırğan otlarını kendi tarlalarından hasat etmiş ve kıyafetleri Avrupa'da adil işçilik uygulamalarına uygun fabrikalarda diktirmiştir. Sürdürülebilir tekstil alanında çalışmalar yürüten Pangaia firması da organik pamuk ve ısırğan otu lifi karışımından ürettiği denim kumaşlarını satışa sunmaktadır [27]. Bu şekilde, ısırğan otu lifi moda endüstrisinde çevre dostu ve sürdürülebilir bir seçenek olarak daha fazla tercih edilmektedir.



Şekil 4. Velcorex ısırğan içerikli denim [28]

2.2.3 Jüt lifi

Jüt lifi parlak ve sert görünümüyle tekstil sektöründe teknik kullanımlar için tercih edilen çevre dostu bir malzemedir. Hem üretiminin kolay ve ucuz olması hem de ince ve mukavemetli bir yapıya sahip olması nedeniyle sektörde tercih edilen liflerden biridir [29]. Ancak jüt lifi, sert ve kaba olduğu için giyim tekstilinde doğrudan tercih edilmemektedir. Bu nedenle üreticiler genellikle jüt liflerini pamukla harmanlayarak iplik haline getirmeyi tercih etmektedir [30]. Bangladeş'te 2016 yılında yapılan bir araştırmada, jüt-pamuk karışımı dokuma kumaşların, %100 pamuk kullanılarak yapılan denim kumaşlar yerine kullanılabilir niteliklere sahip olduğu ortaya konulmuştur. Bu sayede, jüt lifinin sertliği daha yumuşak ve giyilebilir kumaşlar elde etmek için pamukla karıştırılarak etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Jüt lifi, çevre dostu ve sürdürülebilir bir seçenek olması nedeniyle tekstil sektöründe ilgi gören bir malzeme olarak kalmaya devam etmektedir. Jütün doğal güzelliği ve dayanıklılığı, özellikle çanta, halı ve diğer ev tekstili ürünlerinde de sıklıkla kullanılmasına olanak tanırken, jüt-pamuk karışımları da giyim endüstrisinde çeşitli uygulamalar için tercih edilmektedir.

2.2.4 Tencel lifi

Tencel lifi içeren jean pantolonlar, yenilikçi teknolojiler kullanılarak düşük miktarda su ile sürdürülebilir bir yaşam tarzına uygun olarak üretilmektedir [31]. Tencel lifleri, yenilebilir bir hammadde olan odun kaynağından elde edilir. Bu lifler çevreye duyarlı bir üretim süreci kullanılarak sertifikalı biyo-bazlı lifler olarak üretilir. Ayrıca bu lifler gübrelenip biyolojik olarak parçalanabilir nitelikte olduğundan, doğaya geri dönebilmektedir [32]. Lenzing firması, Tencel Modal liflerinin boyama sürecinde inovatif bir gelişme gerçekleştirerek, iplik eğirme aşamasında pigmentleri liflere başarıyla aşılmuştur. Bu sayede, İndigo Color teknolojili Tencel Modal liflerinin geleneksel indigo iplik boyama proseslerine göre, su tüketimini %99 dan fazla ve atık su tüketimi %99'un üzerinde azaltılmıştır [33]. Bu tür yenilikler, sürdürülebilir tekstil üretimine katkıda bulunmayı ve su kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Tencel lifi, doğal rahatlık, pürüzsüzlük ve çok yönlülüğüyle öne çıkar ve sürdürülebilir bir elyaf kaynağı sunarak endüstride önemli değişimlerin gerçekleştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Tencel lifi içeren ürünler, çevreye duyarlı

tüketiciler tarafından tercih edilen seçenekler arasında yer almaktadır. Lenzing gibi şirketler, gelecekte daha da sürdürülebilir tekstil üretimi için çalışmalarını sürdürerek endüstriye öncülük etmeye devam etmektedirler.

2.2.5 Hanji kâğıt iplikleri

Kâğıt ipliği, hafif, nem kontrol fonksiyonu ve hava geçirgenliği açısından iyi performans gösteren, çevre dostu bir tekstil malzemesidir. Bu iplikler, filament iplik yapısını içerdiği için yumuşak bir dokuya ve tuşeye sahiptir. Hanji kâğıt ipliklerinin denim kumaşlarda kullanılması, ipliğin düşük özgül ağırlığı sayesinde hafif kumaşlar elde edilmesi olanak tanır ve böylece iyi bir form stabilitesi ve konfor sağlanır [34]. Bu özellikleri nedeniyle Hanji kâğıt denim kumaşı, sıcak yaz aylarında giyilen denim Jean pantolonlar ve gömlekler için uygundur. Ancak kumaşın yüksek rijitliği ve kâğıt ipliğinin düşük gerilebilirliği nedeniyle buruşma sorunları ortaya çıkabilir [34]. Bu, kâğıt ipliklerinin doğal özelliklerle ilgili bir zorluktur ve tekstil üreticileri bu tür sorunları çözmek için teknik iyileştirmeler ve tasarım ayarlamaları yapabilirler. Bu şekilde, Hanji kâğıt ipliklerinden yapılan denim kumaşlar daha kullanışlı ve rahat ürünler olarak piyasaya sunulabilir.

2.2.6 Nane lifi

Nane lifi, doğal bir lif türü olup tekstil endüstrisinde giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Bu koruyucu lif, bakterilerin insan vücuduna girmesini önlemeye yardımcı olur ve bu özelliği antibakteriyel özelliklere sahip bir kumaş oluşturulmasını sağlar. Aynı zamanda, cilt dostu ve bükülebilir bir yapıya katkıda bulunur[35]. Nane lifi, modal ve pamuk lifleriyle karıştırılarak siyah Jean pantolonlar üretmek için kullanılır. Bu Jean kumaşında, genellikle %40-50 oranında nane lifi, %20-30 oranında modal elyafı ve %20-40 oranında pamuk lifi bulunur. Bu özel karışım, sonuçta rahat, giymesi kolay ve insan cildi için koruyucu etkisi olan jeanlerin elde edilmesini sağlar. Nane lifinin tekstil endüstrisinde kullanımı, insan sağlığını ve konforunu ön planda tutan çevre dostu ve işlevsel giyim seçenekleri talep eden tüketiciler tarafından takdir edilmektedir. Antibakteriyel özelliği sayesinde hijyenik bir giyim deneyimi sunarken, cilt dostu ve bükülebilir yapısı da giyim konforunu artırır. Bu tür inovatif tekstil uygulamaları, sürdürülebilir moda ve tekstil sektörünün gelecekteki gelişimine yönelik umut verici bir adımdır.

2.2.7 Geri dönüştürülmüş tekstil elyafları

Geri dönüştürülmüş tekstil lifleri, tekstil atıklarından elde edilen özel liflerdir. Bu atıklar, eski giysilerden veya diğer tekstil ürünlerinden oluşabilir. Küresel giyim tüketiminin ve hammadde talebinin 2050 yılına kadar üç katına çıkması beklenmektedir [36]. Bu nedenle gelecekteki giysi talebini karşılamak için alternatif elyaf kaynaklarına olan ihtiyaç artmaktadır [37].

Geri dönüştürülmüş pamuk lifi, tekstil atıklarını tekrar kullanarak ek tekstil israfını önlemeyi ve kaynak kullanımını azaltmayı amaçlar. Geri dönüştürülmüş pamuk, geleneksel veya organik pamuğa göre çok daha az kaynak gerektirir. Bu nedenle sürdürülebilir bir seçenek olarak değerlendirilir. Ancak, geri dönüştürülmüş pamuğun kalitesi, yeni pamuğa göre daha düşük olabilmekte ve üretim süreci henüz tamamen geliştirilmemiş olabilir. Geri dönüşümlü lifler, moda endüstrisinde sürdürülebilirlik çabalarını desteklemeye yönelik son derece önemli adımlardır. Bu tür lifler, Ellen MacArthur Vakfı'nın Jean Redesign programına da uygun olarak denim sektöründe yeni ürünler ve malzemelerin ortaya çıkmasını sağlar. Circulose, NuCycl, Liva Reviva ve Texloop gibi örnekler, bu alanda öncü şirketler tarafından geliştirilen geri dönüşümlü liflere örnek olarak verilebilir. Bu ürünler, tehlikeli maddeler içermez ve güvenli bir şekilde geri dönüştürülmüş veya yenilenebilir kaynaklardan elde edilirler. Ürünlerin üretimi ve kullanımı çevreye zararlı maddelerin salınımını minimize eder. Aynı zamanda, bu liflerin üretimi sınırlı kaynakların tüketiminden ayrılmıştır, bu da doğal kaynakların korunmasına ve israfın önlenmesine katkıda bulunur. Geri dönüşümlü liflerin kullanılması, mevcut ürün ve malzemelerin daha uzun süre kullanılmasını sağlar ve böylece yeni bakir kaynaklara olan ihtiyacı azaltır. Ayrıca, rejeneratif üretim uygulamalarından elde

edilen yenilenebilir hammaddeler, bakır kaynakların yerine kullanılabilir. Moda endüstrisinde geri dönüşümlü liflerin kullanımı, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için büyük bir adımdır. Bu tür inovatif malzemeler sayesinde tekstil sektörü, doğal kaynakları koruyarak çevre dostu ve daha az atık üreten bir üretim sürecine yönelik ilerleme kaydedebilir. Bu da hem şirketlerin hem de tüketicilerin çevre üzerindeki etkilerini olumlu yönde değiştirmeye yardımcı olmaktadır.

Circulose, Renewcell tarafından yıpranmış kot pantolonlar ve üretim artıkları gibi %100 tekstil atıklarından üretilen çözünebilir bir hamur ürünüdür. Bu ürün tekstil endüstrisinde viskon, liyosel, modal, asetat gibi rejenere liflerin yapımında kullanılan çözünebilir kâğıt hamuru selülozunun, ahşap yerine tekstil atıklarından elde edilmesiyle farklılık gösterir [38]. Circulose giysilerini seçen kişiler atık, iklim, su, mikro plastik ayak izlerini neredeyse sıfıra indirme olanağına sahiptir. Bu yenilikçi ürün, atık tekstillerin geri dönüştürülerek tamamen doğal ve el değmemiş bir malzemeye dönüştürülmesi sağlar. Eski kıyafetler, %100 yenilenebilir enerjiyle desteklenen bir süreç kullanılarak, pamuk tarlalarına, ağaçlara veya petrole ihtiyaç duymadan yeniden değerlendirilir. Circulose, moda tarihinin en ikonik giysilerinden biri olan 501 kot pantolonunu bile bu yenilikçi malzemeyle üretilebileceğini göstermiştir. Levi Strauss ve Jacob Davis tarafından 1873'te üretilen ilk 501 kot pantolonu, Circulose kullanılarak güncellenmiş bir versiyonuyla piyasaya sürülmüştür[39]. H&M, Circulose'ü kullanan ilk perakendeci olmuş ve Conscious Exclusive koleksiyonunda, Circulose'ü içeren ilk ürünlerini sunmuştur[40]. Bu, moda endüstrisinde sürdürülebilirlik ve geri dönüştürülebilirlik konusunda önemli bir adım ve örnek teşkil etmektedir. Circulose gibi yenilikçi ve çevre dostu malzemelerin kullanımı, moda endüstrisinin sürdürülebilirlik çabalarına katkıda bulunurken, atık miktarını azaltma ve doğal kaynakları koruma yolunda önemli ilerlemeler kaydedilmesini sağlar. Bu tür inovatif malzemelerin daha fazla yaygınlaşması, gelecekte moda endüstrisinin daha sürdürülebilir ve çevre dostu hale gelmesine yardımcı olacaktır.

NuCycl, Evrnu şirketi tarafından geliştirilen ve tekstil atığı sorununa güçlü bir çözüm sunan bir elyaf teknolojisidir.[41]. Bu yenilikçi elyaf, geri dönüştürülmüş giysilerden üretilir ve pamuğa benzer bir görünüm ve dokuya sahiptir, ancak pamuktan üç kat daha güçlüdür. NuCycl lifi, kullanılan herhangi bir parça tekrar sıvılaştırılarak tamamen yeni bir ürün yapmak için geri dönüştürülebilir [42]. Bu özelliği sayesinde atık giysiler birden fazla kez kullanılarak tamamen yeni ürünlerin oluşturulmasına imkân tanır, böylece rejeneratif bir döngü sağlar. Evru'nun NuCycl teknolojisi, en zorlu tekstil atıklarının bile yüzde 100 tüketici atığından yeni malzemelere dönüştürülebilmesine izin verir. Bu yenilikçi NuCycl teknolojisi, dünyanın mevcut doğal kaynaklarının tam potansiyelle kullanarak küresel tekstil endüstrisinin büyümesine katkıda bulunmayı hedefler. Tekstil üreticileri, hazır giyim markaları, perakendeciler ve tüketiciler NuCycle ile çevresel etkide kalıcı bir değişiklik gerçekleştirirken, atıkları ortadan kaldırarak karbon ayak izlerini azaltmak ve önemli miktarda su tasarrufu sağlamak gibi çevresel faydalar elde edebilirler [43]. NuCycl elyafları, özelleştirilmiş performans özelliklerine sahip giysiler üretmek için kullanılarak Adidas by Stella McCartney Infinite Hoodie gibi yeniden yapılan giysilerde kullanılmıştır. Aynı zamanda, denim sektöründe de hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.

Birla'nın Liva Reviva viskon elyafı, geri dönüştürülmüş materyallerden üretilen çevre dostu bir viskon elyafıdır. Bu elyaf, %80 odun hamuru ve %20 tüketici öncesi pamuklu kumaş atığından oluşur ve RCS (Recycled Claim Standard) sertifikasına sahiptir. 2020'de piyasaya sürüldüğünden beri, Liva Reviva elyafı, birçok küresel marka tarafından benimsenmiş ve tekstil atıklarının daha yüksek değer yaratılmasına katkıda bulunacak şekilde küresel değer zincirlerinde yakın iş birliklerine ve küçük ölçekli atık geri dönüşümcülere entegre edilmiştir [44]. Tüketici öncesi pamuk atıkları ve kapalı döngü teknolojileri kullanılarak üretilen döngüsel bir viskon elyafı olan Liva Reviva, jenerik viskona kıyasla önemli ölçüde daha düşük sera gazı ve su ayak izi gibi sürdürülebilirlik referansları sunar. Blockchain tabanlı izlenebilirlik ile desteklenen moleküler izleyici içerir. Bu sayede, tedarik zincirinin her aşamasında elyafların kaynağı ve sürdürülebilirlik performansı takip edilebilir, şeffaflık ve güvenilirlik sağlanır. Liva Reviva elyafının önemli avantajlarından biri, yumuşak, akışkan, yüksek nefes alabilirlik ve emiciliğe sahip olmasıdır. Bu

özellikleri sayesinde, cilt dostu ve rahat bir kumaşa dönüşerek kullanıcılar için üstün giyim deneyimi sunar [45].

Texloop, tüketim öncesi ve tüketim sonrası tekstil atıklarının geri kazanılmasını sağlayan küresel bir platformdur. Bu platform, doğal ve sentetik elyafların geri dönüştürülerek yeni ipliklerin üretilmesine olanak tanır. Texloop'un RCOT geri dönüştürülmüş pamuk iplikleri, GOTS sertifikalı organik pamuk, TENCEL™ Lyocell ve diğer doğal elyaflarla harmanlanarak %50'ye kadar geri dönüştürülmüş GRS sertifikalı pamuktan yapılan birinci sınıf, yüksek kaliteli ipliklerdir. RCOT geri dönüştürülmüş pamuk elyafı, mümkün olan en uzun elyaf uzunluğunu koruyarak ve organik pamukla karıştırılarak neredeyse ham kalitede moda tekstilleri üretmek için kullanılır. Bu sayede, yüksek oranda geri dönüştürülmüş pamuk içeren kumaşlar, kalite ve estetik sorunlarından mustarip değildir ve daha geniş uygulama alanlarına sahiptir. Geri dönüştürülmüş pamuklu örgü ve dokuma kumaşlar, iyi kalitede yumuşak ve dayanıklı moda tekstilleri üretmek için kullanılır. Texloop'un RCOT geri dönüştürülmüş pamuk iplikleri, neps ve boncuklanma gibi kalite sorunlarından arındırılmıştır, bu sayede son ürünlerde daha yüksek kalite ve dayanıklılık sağlar [46].



Şekil 5. Geri dönüşüm temeli elyafların logoları

3. ÖZLÜ İPLİKLERLE ÜRETİLEN STRECH DENİM (STRECH DENİM MADE WITH CORE YARNS)

Denim giysilerin popülaritesi, rahatlık, dayanıklılık, uygun fiyat ve her yaş grubuna hitap eden çok yönlülüğü sayesinde yüksek olmuştur. Bu nedenle, denim markaları hem rahatlığı hem de moda trendlerini göz önünde bulunduran ürünler geliştirmeye yönelik ilgi artmıştır. Sonuç olarak, çeşitli elyaf, iplik ve terbiye işlemleri kullanılarak denim kumaş yelpazesini çeşitlendirmek için önemli bir yenilik ve gelişme alanı oluşmuştur. Son 10 yılda denim endüstrisindeki en etkili yeniliklerden biri, esnek liflerin (stretch fibers) kullanılmasıdır. Treç denim kumaşların üretiminde kullanılan bu esnek lifler, kumaşın yüksek elastikiyet göstermesini sağlar. Streç denim kumaşlar, diğer denim türlerine kıyasla giysinin şekillendirilebilirliği, insan vücuduna uyum sağlaması ve giyildikten sonra şeklini koruma gibi değerli konfor özelliklerini sunar [47]. Treç kotların yapısında genellikle %1 ila %3 oranında elastan içeren iplikler kullanılır [48]. Bu elastik içerik, kumaşın esnekliğini ve hareket özgürlüğünü artırırken, kopma mukavemetinin azalmasına neden olabilir. Daha yüksek elastan içeriğine sahip polyester multifilament hava kaplı elastan ipliklerle yapılan streç denim kumaşlar, kopma mukavemetinde düşüş olmadan daha fazla esneklik sağlayabilir [49]. Bu, müşterilere daha rahat ve esnek denim giysiler sunar. Sentetik elastan elyafların (örneğin Lycra) kullanılması sayesinde, streç denim kumaşlar orijinal uzunluğunun altı katına kadar uzayabilir ve sonra bile orijinal şekline geri dönebilir [50]. Bu da giysilerin şeklini korumasını ve kullanıcılarına yeni bir moda trendi sunmasını sağlar. Streç denim kumaşlar, konfor ve stil arayan tüketiciler için cazip bir seçenek haline gelmiştir. Yüksek elastikiyetleri sayesinde rahat bir giyim deneyimi sunarken, moda uygun tasarımları ve dayanıklı yapıları sayesinde uzun süre kullanılabilirler. Bu nedenle, streç denim kumaşların moda endüstrisindeki önemi giderek artmaktadır.

Geçmişte denim giysilerde esneme ile ilgili sorunlar bulunmaktaydı ve kotlar birkaç kullanımdan sonra formunu kaybedebilmekteydi. Sonrasında, Lycra'nın dualFX yeni elastan teknolojisi ile bu sorunlara çözüm bulunmuştur. Bu teknoloji sayesinde elastan kullanılan kotlar daha uzun süre şekillerini koruyabilmekte ve

giyim konforu artmaktadır. Ancak elastan kullanımındaki artış, geri dönüşüm endüstrisinde sorunlara yol açmıştır. Geri dönüştürülemeyen veya zor geri dönüştürülebilir elastanların kullanımı, sürdürülebilirlik açısından zorluklar doğurmuştur. Bu nedenle, Ellen MacArthur Vakfı gibi çevre dostu inisiyatifler, elastan kullanımını sınırlamak ve çevreye daha az zarar veren denim giysilerin tasarlanmasına odaklanmaktadır. Ellen MacArthur Vakfı, %2 elastan kullanım sınırı gibi hedefler belirleyerek, denim giysilerin sürdürülebilirliğini artırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır. Jean Redesign programı, moda endüstrisinde geri dönüşüme yönelik önemli adımlar atılmasını teşvik etmektedir. Bu çerçevede, firmalar geri dönüştürülebilir elastanlar (örneğin ROICA) kullanarak, %98 selülozik içeriği olan sürdürülebilir denimler tasarlamaya çalışmaktadır. Geri dönüştürülebilir elastanlar, geri dönüşüm endüstrisine katkıda bulunarak çevresel etkileri azaltmaya yardımcı olurken, denim giysilerin esneme ve dayanıklılık özelliklerini korumaya da olanak tanmaktadır. Bu sayede hem giyim konforu hem de çevre dostu üretim hedeflenmektedir.



Şekil 6. Lycra'nın dualFX elastan teknolojisi [51]

Kings of Indigo'nun sürdürülebilir denim markası olarak belirlediği hedef, 2025 yılına kadar geri dönüştürülmüş ve suni liflerden oluşan bir koleksiyon oluşturmaktır. Bu hedefe ulaşmak için Bio-stretch kapsül koleksiyonlarını piyasaya sürmüşlerdir ve Candiani Denim gibi öncü bir İtalyan fabrikayla iş birliği yaparak %100 bitki bazlı, vegan ve geri dönüştürülebilir bir koleksiyon oluşturmuşlardır. Bio-Stretch koleksiyonunda, diğer streç denimlerde kullanılan bozunmayan polyester malzeme yerine %100 yenilenebilir bitki bazlı ve doğal kauçuk iplik kullanılmaktadır. Bu özellik, kumaşın tamamen biyolojik olarak parçalanabilmesini ve geri dönüştürülebilirliğini sağlar. Geleneksel streç denimlerin geri dönüşümü zorlaştıran ve çevre üzerinde olumsuz etkileri olan polyester içermesiyle karşılaştırıldığında, Bio-Stretch koleksiyonu doğal kauçuk iplikler sayesinde daha çevre dostu bir seçenek sunar. Bio-Stretch koleksiyonu, iki farklı esneklik seviyesine sahiptir. Konforlu streç versiyonu %25 esneklik sağlarken, süper streç versiyonu %45 esnekliğe sahiptir. Her iki durumda da kumaşın %96'sı organik pamuk ve %4'ü doğal kauçuk ipliklerden yapılmıştır. Bu sayede, sürdürülebilir bir streç denim kumaşı elde edilirken organik pamuk kullanımı da teşvik edilmektedir. Kings of Indigo'nun Bio-Stretch koleksiyonu hem tüketici hem de çevre dostu bir seçenek sunarak denim giysilerin sürdürülebilirliğine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu tarz inovatif ve çevre dostu yaklaşımlar, moda endüstrisinde daha sürdürülebilir ürünlerin geliştirilmesine ve dairesel ekonomiye geçişe yönelik önemli adımlardır [52].

4. KORUYUCU TEKNİK TEKSTİLLERDE KULLANILAN DENİMLER (PERFORMANS DENİMLERİ)

İyi ve sürdürülebilir bir denim kumaşı, belirli mukavemet ve sertlik özelliklerine sahip olmalıdır. Aynı zamanda yıkama sonrası oluşabilecek aşınmalara ve yıpranmalara dayanıklı ve dirençli bir yapıya sahip olması önemlidir[53]. Tüketim sorunlarının temel sebeplerinden biri, giysilerin kısa kullanım ömrüdür. Kalitesiz üretim nedeniyle giysiler daha kolay aşınır ve yırtılırken, taş yıkama ve kumlama gibi işlemler yapılarak bilinçli olarak dayanıklılık azaltılabilmektedir. Ellen MacArthur'un The Jeans Redesign

Yönergeleri gibi inisiyatiflerde, bir denim pantolondan beklenen temel parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler arasında, bir denim pantolonun ev tipi çamaşır makinelerinde en az 30 kez yıkanabilecek şekilde dayanıklı olması yer almaktadır. Bu tür dayanıklı denim kumaşlar, uzun süreli kullanım ve tüketici memnuniyeti için önemlidir. Dayanıklı ve kaliteli denim kumaşları, giysilerin uzun süre boyunca kullanılmasını sağlar ve bu da tekstil atıklarının azaltılmasına yardımcı olur. Denim sadece giyim sektöründe değil, teknik tekstiller sektöründe de kullanılabilen çok yönlü bir kumaştır. Özellikle spor dallarının giysilerinde, çanta, ayakkabı gibi farklı alanlarda da tercih edilmektedir. Bu nedenle, denim dayanıklılığı ve çok amaçlı kullanımı, farklı sektörlerdeki tercihini artırmaktadır.

Motosiklet kıyafetlerinin tasarımı ve kullanılan materyaller, sürücüyü olası kazalara ve yaralanmalara karşı korumak için büyük önem taşır. Motosiklet sürüşü sırasında düşme veya kazalara maruz kalan kıyafetler, ciddi hasar alabilir ve sürücünün güvenliğini tehlikeye atabilir. Bu nedenle, motosiklet kıyafetlerinin dayanıklılığı, aşınma direnci ve koruyucu özellikleri çok önemlidir. Günümüzde motosiklet ceketleri ve pantolonları üzerlerinde en çok hasar alan bölgeler belirlenerek, bu alanlara yönelik yeni materyaller geliştirilmiştir. Bu amaçla kullanılan önemli bir materyal Cordura'dır. Cordura, yüksek dayanıklılığı ve aşınmaya karşı direnci sayesinde motosiklet kıyafetlerinde tercih edilen bir malzemedir. Cordura genellikle naylon bazlı bir kumaştır ve dayanıklı yapısı sayesinde kazalarda yırtılmaya karşı koruma sağlar. Cordura kumaşı bazen pamuk ve benzeri doğal liflerle karışım halinde de kullanılabilir. Bu şekilde, doğal liflerin yumuşaklığı ve hava geçirgenliği ile Cordura'nın dayanıklılığı ve aşınmaya karşı direnci bir araya getirilerek, motosiklet kıyafetlerinin rahatlığı ve koruyucu özellikleri dengelenir [54]. Dyneema, özellikle hafiflik ve dayanıklılık özellikleriyle öne çıkan bir elyaf türüdür. Bu özellikleri, su itici ve dağcı giysilerinde verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Özellikle dağcı giysilerinde, Dyneema içeren denim kumaşlar yumuşak ve hafif olması nedeniyle tercih edilmektedir. Aynı şekilde, Cordura gibi motosiklet ekipman kıyafetlerinde de Dyneema içeren denim kumaşlar tercih edilir. Bu tür kumaşlar, pamuğa kıyasla çok daha mukavemettir [55]. Dyneema içeren denim kumaşların kullanımı, birim üretim gücü açısından da karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlar. Dyneema gibi dayanıklı elyafın eklenmesiyle, kumaşın dayanıklılığı artar ve bu sayede daha uzun süre dayanabilir. Geleneksel moda alanı, teknik tekstil alanına kıyasla daha az mukavemete ihtiyaç duyabilir. Ancak, Dyneema gibi güçlü elyafın %100 pamuklu denim kumaşına %5-%6 oranında eklenmesi bile yeterli mukavemet sağlayabilir [56]. Bu, moda endüstrisindeki denim giysilerin de daha dayanıklı ve uzun ömürlü olabileceği anlamına gelir. Sonuç olarak, Dyneema gibi mukavemetli elyafların denim kumaşında kullanımı, teknik tekstil alanında ve geleneksel moda alanında farklı avantajlar sağlar. Dayanıklılık, hafiflik ve karbon ayak izinin azaltılması gibi özellikler, Dyneema içeren denim kumaşların tercih edilme nedenlerindedir. Bu tür yenilikçi uygulamalar, denim giysilerin daha sürdürülebilir ve işlevsel hale gelmesine katkı sağlar.



Şekil 7. Teknik motorcu denim pantolonu

5. BOYAMA SÜRECİNDEKİ YENİLİKLER

Denimdeki boyama işlemi temel aşamalardan biri olarak kabul edilmektedir. Kumaşın tutumu ve dokusu için boyama işlemi önemli bir parametredir. Denim, esas olarak mavi renginin çekiciliği ve kumaşın tekrar tekrar yıkandıkça değişen görüntüsüyle popülerliğini korumaktadır. Denim üretiminde çözgü ipliği genellikle doğal veya sentetik indigo boyaları ile kükürt boyaları kullanılarak boyanır. İndigo, suda çözünmeyen katı bir mavi pigmenttir ve genellikle selüloz liflerine uygulanır [59]. Denim kumaşı üzerinde canlı ve parlak bir görünüm sağlamaktadır. Doğal indigo, birçok bitkiden elde edilebilir. Önemli olanlar şunlardır: çivit otu ve indigofera bitkileri [60, 61]. Doğal indigo üretimi, 19. Yüzyılda artık giyim endüstrisinin taleplerini karşılayamamış ve sentetik indigo araştırmaları başlamıştır. 1897'de Alman kimyager Adolf Von Baeyer sentetik indigo yapmayı başarmıştır.-Ancak hem sentetik indigonun üretim aşamasında hem de boyanın kumaşa tutunabilmesi için çeşitli toksik kimyasal maddeler gereklidir. Her yıl yaklaşık olarak bir milyar kot pantolon sentetik indigo ile boyanmaktadır. Denim endüstrisi yılda 45.000 tondan fazla sentetik indigo, 84.000 tondan fazla sodyum hidrosülfid ve 53.000 tondan fazla kostik gibi indirgeyici maddeler kullanmaktadır. Bu durumun sonucunda büyük ölçüde kirlilik meydana gelmektedir. Zararlı kimyasalların etkilerini azaltmak amacıyla ZDHC standartları geliştirilmiştir. Küresel bir inisiyatif olan ZDHC, imalatçıların üretim süreçlerinde kullanılan kimyasalların neden olduğu atık suların azaltılması ve engellenmesi amacıyla değer zincirlerinin daha temiz bir dünya için daha güvenli kimyasalların kullanımına yönlendirilmesini amaçlamaktadır. Arm Kimya, Smart Chemicals markası altında ZDHC sertifikalı sürdürülebilir kimyasal ürünler üretmektedir. Özellikle tekstil sektörü için kimyasallar üreten Arm Kimya, Akıllı Kimyasallar konseptiyle ekonomik ve çevre dostu ürünler geliştirmektedir. ADVANCE Denim, Candiani Denim, Isko, Raymond Uco Denim ve Soorty gibi firmalar, ZDHC standartlarına uygun kimyasallar kullanmaktadır. Dünyadaki sentetik indigo üretiminin %30'unu gerçekleştiren Alman şirketi DyStar, işçileri toksik tozdan koruyan ve atık tuz miktarını %70 azaltan önceden indirgenmiş bir sıvı indigo boyası üretmektedir. Ayrıca, DyStar sodyum hidrosülfid kullanımını tamamen organik ve biyolojik olarak parçalanabilen bir indirgeyici maddeyle ortadan kaldıran başka bir işlem geliştirmiştir. Bu yöntemle oluşan atık suyun arıtılması çok daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir Üretim sırasında boya ve kimyasallarla ilgili sorunları çözen yeniliklerden biri kuru indigo'dur. Bu çözüm su tüketimini %98, kimyasal kullanımını ise yaklaşık %90 oranında azaltabilmektedir. Archroma'nın "Gelişmiş Denim" çözümü, Amerikan giyim şirketi Patagonia tarafından zaten benimsenmiştir. Geleneksel kot pantolonlara kıyasla %25 daha az CO₂ emisyonu üreten bir çözümdür [65]. "Piyasadaki en temiz indigo" olarak tanımlanan DyStar Indigo Vat, sodyum hidrosülfid kullanımını %40'a kadar azaltarak, daha temiz atık su oluşturmaya ve daha az su kullanımını sağlamaktadır. Su kullanmayan ve boyama işlemi sırasında sıfır kimyasal atık üreten Dyepro teknolojisini kendi tedarik zinciri takibiyle birleştirmiştir. Özel kimyasallar şirketi Archroma ve terbiye teknoloji firması Jeanologia ortak iş yaparak sürdürülebilir boyama ve terbiye projeleri için iş birliği yapmaktadır. Alanlarındaki iki öncü, su kullanımını önemli ölçüde azaltan oda sıcaklığında bir boyama işlemi olan Pad-Ox G2 Cold'u üretmek için yenilikleri birleştirmiştir. Pad-Ox'un faydaları, kumaşı lazer de dahil olmak üzere terbiye işlemlerine hazırlamak için ozon kullanan Jeanologia'nın yenilikçi G2 Dynamic teknolojisi ile birleştirilebilmektedir.



Şekil 8. Jeanologia G2 dynamic teknolojisi [66]

5.1 Doğal Boyaların Denimde Kullanımı

Doğal boyalar, kestane kabukları, çay ağacı meyve kabukları, dut, nar kabuğu, yeşil çay ve tütün dahil olmak üzere, çeşitli bitki materyalleri kullanılarak elde edilmektedir. Başta Avrupa olmak üzere birçok ülkede doğal boyalara olan talep artmaktadır. Bu eğilim, birçok sentetik boyayla ilişkili sağlık tehlikesi ve çevre kirliliği sorunlarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle doğal boyalara olan ilgi yeniden canlanmaktadır. İndigo kullanmadan tamamen yeni bir denim üretim konsepti ortaya çıkmaktadır. İtalyan teknoloji firması Tonello, yalnızca organik ve gübreleme yapılabilen hammaddeler kullanan ilk yüzde 100 eko-sürdürülebilir boyama sistemi olan Wake'i geliştirmiştir. Wake, hiçbir kimyasal katkı maddesi olmadan kurutulmuş ve aşılınmış çiçekler, meyveler ve kökler gibi bitki ve sebze atıklarını kullanılmaktadır. Wake'in faydaları arasında daha kısa işlem süreleri, CO₂ emisyonlarında azalma, biyolojik olarak parçalanabilen katı atık, daha güvenli ve sağlıklı boyalar yer almaktadır [68].



Şekil 9. Tonello Wake serisi [68]

Artistik Milliners denim şirketi, renkli topraklardan elde edilen boylarla boyanan yüzde 100 doğal ve sürdürülebilir olan Purecolor serisini piyasaya sürmüştür. Koleksiyondaki yedi renk, herhangi bir sentetik kimyasal eklenmeden elde edilmektedir. Bu koleksiyon, GOTS tarafından sertifikalandırılmış ve ZDHC MRSL Seviye 1 sertifika gereksinimlerini karşılamaktadır. Toksikite testlerine göre, boyama solüsyonu hiçbir ağır metal izi bırakmamaktadır. Bu boyama solüsyonu bebekler, çocuklar ve yetişkin giyim kategorileri için güvenli olduğu kaydedilmiştir [69].



Şekil 10. Artistik Milliners Purecolor serisi [69]

Maritaş Denim'in Terra serisi, Türkiye menşeli kil ile boyanarak elde edilmektedir. Boyama işlemi sırasında sentetik boyaya kıyasla yüzde 72 daha az su kullanılmakta ve daha düşük karbon emisyonu sağlamaktadır.

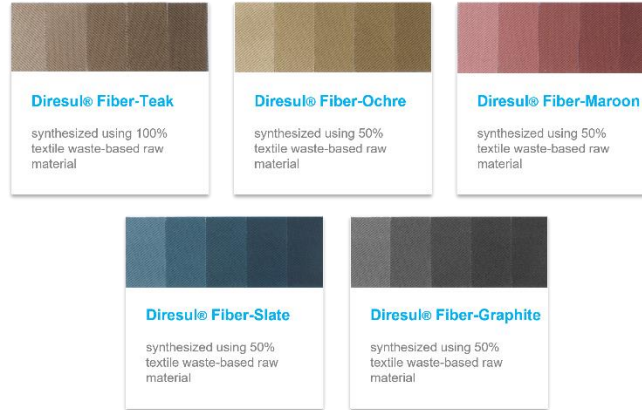
Terra Denim üretiminde kil boyama tekniği kullanıldığı için oksidasyon işlemine ve sentetik kimyasal kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu özellikler sayesinde Terra serisi, verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından öne çıkmaktadır [70].



Şekil 11. Maritaş Denim Terra serisi [70]

5.2 Tekstil Atıklarından Boyama Prosesi

Atık olarak nitelendirilen ürünlerin farklı hayat döngüleri içerisine girmesine imkân sağlayarak, sürdürülebilir denim terbiye proseslerinde atıkların katma değeri yüksek değerlendirme alanlarının oluşturulması oldukça önemlidir. Her yıl 98 ton tekstil atığı ortaya çıkmaktadır ve bu rakamın on yılın sonunda 134 milyon tona çıkması beklenmektedir. Tekstil atığı sorununu ele almak gittikçe kritik hale gelmektedir. Archroma firması, atık modadan renkler yaratabilmek konsepti ile, tüketici öncesi ve sonrası tekstil atıklarından boyalar üretmenin yeni bir yolunu bulmuştur. Fiber Color boya koleksiyonu, minimum yüzde 50 atık bazlı ham madde içeriğinden sentezlenen boya çeşitlerini tanıtmaktadır. FiberColors serisi, doğal tonlardan oluşan bir paleti kapsayarak beş boyadan oluşmaktadır: Diresul Fiber-Teak (kahverengi tonları), Diresul Fiber-Ochre (zeytin tonları), Diresul Fiber-Maroon (bordo tonları), Diresul Fiber-Slate (mavi-gri tonları) ve Diresul Fiber-Grafit (koyu gri tonları) FiberColors serisi, pamuk, viskon, keten ve kapok gibi selüloz bazlı lifler için uygun olduğunu belirtmiştir. FiberColors serisi, sürekli parça boyama, jet boyama veya baskı uygulamalarında çeşitli şekillerde kullanılabilir.



Şekil 12. Archroma Fiber-Colors renk paleti

6. BİTİM İŞLEMLERİ

Denim giysilerin bitirilme aşamasında en önemli kısımlardan biri yıkama işlemidir. Bu proses giysilerin görünümünü, boyutunu ve konfor kabiliyetini iyileştirerek moda uygun hale getirir. Giysilerin daha yumuşak, esnek ve pürüzsüz hale getirilmesi için ıslak yıkama, pigment yıkama, kostik yıkama, silikon yıkama, taş yıkama, taş ve enzim yıkama, çamaşır suyu ile yıkama gibi farklı seçenekler bulunmaktadır [71]. Ancak, geleneksel denim yıkama prosesi fazla su, enerji ve kimyasal tüketimiyle çevresel açıdan

kirletici olabilir. Ayrıca, merserize işlemi, daha parlak, düz ve kırmızımsı mavi ve siyah bir kot elde etmek için kumaşa kostik soda uygulanmasıdır. Bu süreçte optimum kumaş pH'ını yeniden sağlamak, sabitlenmemiş boyaları ve istenmeyen kirleri çıkarmak için bir dizi yoğun yıkama gerektirebilir. Kot yıkamada ağartma yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak çamaşır suyu gibi sert kimyasallar hem insan sağlığına hem de pamuğa zarar verebilir ve çamaşır makinesinde korozyona neden olabilir. Son yıllarda, çevreye zararlı olması ve klorun salınımı nedeniyle, denim yıkamada hipoklorit kullanımı önerilmemektedir [72, 73]. Bu yüzden ozon ile işlemler, sürdürülebilir ve ekonomik bir çözüm olarak popülerlik kazanmaktadır [74]. Ozon yıkama, çamaşır makinesinde suda çözünen ozon kullanarak yıkama işlemi sırasında indigoyu çıkartır. Ağartma, çevre dostu bir yöntem olarak operatörlerin sağlık risklerini en aza indirir.

İndigo giysiye uygulandıktan hemen sonra, oksitlenmesi yani hava ile temas etmesi gerekir. Bitmiş parça denim giysinin, nasıl bir görünüme sahip olduğuna bağlı olarak farklı işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu "görünüm" düz, renkli, soluk, pütürlü ve yumuşak bir his olarak kategorize edilebilir. Çevreyi en zorlayıcı kısım, yıkanmış kot görünümüdür, çünkü bu işlem hem çok fazla su hem de çok fazla kimyasal gerektirir. Yıpranmış bir görünüm elde etmek için denim giysilerde kullanılacak farklı işlemler vardır. Bu işlemlere örnek olarak taş yıkama, kumlama, bazen silika veya polipropilen gibi kimyasalların kullanımıyla birleştirilen veya özel olarak kullanılan süreçler bulunmaktadır. Son işlem süreçleri ayrıca gücü ve kaliteyi %50 veya daha azına düşürmektedir [75]. Kumlama, denim giysilerdeki koyu renkli pigmentlerin hava basıncı ve kum ile uzaklaştırılması için ve eskimiş bir görünüm elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Kumlama manuel veya manuel olmayan olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Manuel olmayan işlem, mekanik olarak dolaplarda gerçekleştirilir ve daha "kontrollü" olduğu düşünülür. Ancak, araştırmalar, silika tozuna maruz kalma riskini göstermiştir, özellikle işçilerin havalandırma gibi koruyucu önlemleri eksik olduğu durumlarda. Manuel kumlama işlemi sırasında, makine tipi bir tabanca kullanılarak giysiye hava basıncı ile kum püskürtülür ve boyanın parçaları çıkarılır. Maalesef, kum genellikle silika içerir ve bu da işlemi daha tehlikeli hale getirir ve işçilerin sağlığı için tehdit oluşturur. Silika kullanımı Birleşik Krallık'ta yasaklanmış ve ABD ile AB'de kısıtlanmıştır. Bu kısıtlamalar genellikle kum türüne ilişkin ve silis kumu kullanımının önemli ölçüde azaltılmasını içerir. Silika tozuna maruz kalma, uzun süreli veya kısa süreli maruz kalmanın farklı problemlere neden olabilir. Uzun süreli maruziyet, silikozis veya akciğer kanseri gibi sağlık sorunlarına yol açabilir [75].

Denim giysi üretiminden kaynaklanan en büyük karbondioksit emisyonlarından biri taş yıkamadan kaynaklanmaktadır. Taş yıkama, kot pantolon gibi denim giysilere eskimiş bir görünüm kazandıran bir işlemdir. Emisyonları yüksek yapan şey, kullanılan taşın madencilik gerektiren ponza taşı olmasıdır. Ponza taşları volkanik taşlardır ve çıkarıldıklarında karbondioksit açığa çıkar [76]. Taşlar toz haline getirilir ve genellikle pullara konur; böylece giysi yıpranmak için açığa çıkan tozla yıkanır. Ponza taşının tozu, genellikle kullanıldığı yakınlardaki nehir ve gölleri kirletmektedir. Taş yıkama kullanımıyla ilgili bir başka sorunlu yön de kot giysiden çıkan silikanın havada salınmasıdır. Bu partiküller işçiler tarafından solunmakta ve silikozis gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Genellikle taş yıkama için kullanılan su defalarca tekrar kullanılır. Bunun nedeni yüksek su maliyetleri ve su deşarjını arıtmak için kullanılan tekniklerin pahalı olmasıdır. Ancak, suyun fazla kullanılması, üreticilerin genellikle fazla suyu yerel akarsulara ve göllere boşaltmasına neden olur. Bu da etkilenen sulara silika dışında kadmiyum, kurşun gibi kimyasalların giysinin ön ve sonraki işlemlerinden kaynaklanan cıva ile daha fazla kirlenmesine yol açar.

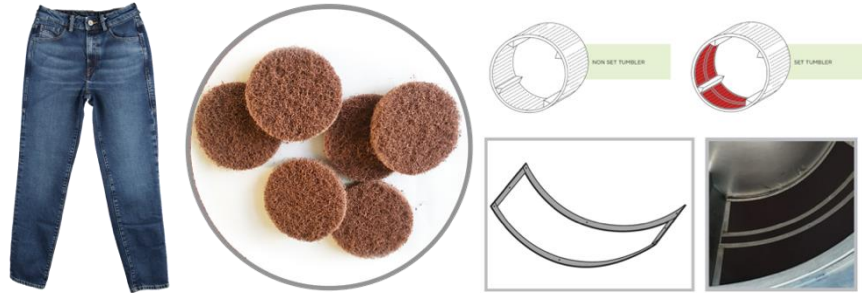
Pazar baskısı ve denim endüstrisinin kot üretimini daha sürdürülebilir hale getirme hedefiyle çamaşırhaneler, ponza taşlarının yerine ekolojik taşları kullanmaya başlamıştır. Ekolojik taşlar, pürüzlü bir yüzeye sahip plastik veya yapay taşlardan yapılmıştır. Bu taşlar, daha az kum üreterek daha fazla kullanılabilen ve bu sayede su ve güç tasarrufu sağlamaktadır. Mekanik taş yıkamaya bir alternatif olarak, enzimler kullanılarak yapılan kimyasal taş yıkama yöntemi de kullanılmaktadır. Enzimler organik olduğu için çevreye çok daha az zararlıdır. Kullanılan enzimler taşlara benzer etkiler göstermekte, ancak taşlarla yıkamaktan biraz daha uzun süre işleme tabi tutulmalarını gerektirebilmektedir [77]. Bazı firmalar

süreci hızlandırmak için taş yıkama ve kimyasal yıkama kombinasyonlarını da denemektedirler Wiser Wash'ın patentli, ozon ağartma işlemi, ponza taşı ve tehlikeli kimyasalları geleneksel ağartma tekniklerinden çıkararak büyük bir fark yaratmıştır. Bu, şirkete önemli miktarda su ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Cihaz, bulut tabanlı güvenli bir platform aracılığıyla, üretim süreciyle ilgili verileri toplar ve yapay zekâ algoritmalarına beslemektedir. Sistemin farklı yerlerinde bulunan sensörler, sürecin tüm aşamalarında olası anormallikleri tespit edebilmektedir. Wiser Wash ile sistem, yıkama sırasında ihtiyaç duyulan su miktarını yarıya indirmektedir. WOX sistemi bir ozon tamburu ve jeneratörden oluşmaktadır. Yapay zekâ tabanlı teknolojisi sayesinde WOX, ozon ağartma işleminin tüm aşamalarını analiz edebilmekte ve olası anormallikleri belirleyebilmektedir, hatta bakım gereksinimlerini dahi gözlemleyebilmektedir. İlk üretimlerden elde edilen veriler doğrultusunda WOX çevrim sürelerini yüzde 40 oranında kısaltmakta ve tesisin üretim kapasitesini yüzde 66 oranında arttırmıştır. Bu gelişmeler, üreticilerin daha iyi bir ölçek büyütme stratejisi oluşturmasına yardımcı olmaktadır [78].



Şekil 13. Wiser Wash'ın wox sistemi [79]

Jecostone sistemi, İtalyan firma Itexa Gurup tarafından oluşturulmuştur. Bu sistem, endüstriyel bir çamaşır makinesinin tüm tamburunu kaplayan yalnızca 7 santimetre çapında aşındırıcı çok lifli bir ped olan Jecorock ile ponza taşlarına benzer sonuçlar elde edebilmektedir.–Şirket, sistemin yüzde 80'e kadar su tasarrufu sağlayabileceğini ve pahalı, sık makine bakımına gerek kalmadan istenilen özelliklere göre ürünün değiştirilebileceğini söylemektedir [80].



Şekil 14. Jeostone ile tamamlanmış bir jean, kaplama materyali, sistemi [81]

Yıkama işleminde açığa çıkan safsızlıklardan biri, kategori 2 kanserojen olarak sınıflandırılan ve su yaşamı için toksik kabul edilen bir madde olan anilindir. Terbiye teknolojisi firması Jeanologia ile özel kimyasallar üretici Archroma, anilin içermeyen denim oluşturmak amacıyla, Archroma'nın anilin içermeyen Pure Indigo Icon boyama sistemiyle Jeanologia'nın su ve kimyasal içermeyen G2 Dynamic terbiye teknolojisinin ortak kullanıldığı, ozon temizleme işlemiyle sürdürülebilir bir denim üretmişlerdir.

Giysi terbiye teknoloji firması Tonello ile İtalyan üretici Candiani Denim, ortak bir çalışma ile sürdürülebilir ozon işlemlerini kot pantolonlara uygulamanın yeni bir yolu olan O-Zone'u geliştirmiştir.

O-Zone, küçük üretimleri, kişisel ve yeni tasarım konseptlerini ürün üzerinde hızlı bir şekilde test etmelerini sağlamaktadır. Ürünler, askılar üzerinde dolabın içine yerleştirilmekte ve dokunmatik ekran ile tamamen kontrol edilebilen esnek bir işlem ile ozona tabi tutulmaktadır. O-Zone, zararlı potasyum permanganat (PP sprey) kullanmadan yıkama efektleri sağlamaktadır. Kullanıcıların istediği görüntüye göre güneşte solmuş görüntüler, lokalize renk değişiklikleri veya ombre gibi sonuçlar ayarlanabilmektedir [82].



Şekil 15. O-Zone ile işlem görmüş kot pantolon [82]

Bıyık, bir kot pantolonun kasık, uyluk ve dizlerindeki yatay katlama çizgilerine denilmektedir. Bu çizgiler, kot pantolonun birçok kez giyilmesinden sonra yıpranma sonucunda oluşur. Geleneksel olarak bıyıklar ve aşınmış alanlar, elle, fırçalar ve zımpara kağıtları kullanılarak oluşturulmaktadır. Ancak, bu manuel tekniklerin yerini artık lazer teknolojisi almaktadır. Lazer sonlandırma, tasarımcılara deney yapma ve yaratıcı olma imkânı sunar. Bıyık, sıyrık, yırtık gibi yıpranmış efektler oluşturmak veya hemen hemen her tür malzeme üzerine desen ve kişiye özel tasarımlar yapmak için kullanılabilir. Bu avantajlar, diğer bitirme teknikleriyle birleştiğinde, daha büyük olasılıklar için alan yaratır. Lazer, permanganat uygulaması gibi yöntemlerin aksine, su veya kimyasal gerektirmez. Ayrıca, manuel eskitme işlemi hem sağlık hem de iş kalitesi açısından işçiler için uygun değildir. Lazer aynı zamanda geleneksel olarak manuel kazıma ve uzman operatörler gerektiren süreçten daha az zaman gerektirir. Levi Strauss & Co. Kotlarını bitirmek için, süreci 20 dakikadan 90 saniyeye kısaltan otomatik bir lazer çözümü için patent korumasına sahiptir. McKinsey'e göre, ABD için önemli bir Pazar olan Meksika'da denim üretiminin otomasyonu, bir kot pantolon için 60 ile 90 sent arasında tasarruf sağlayabilmektedir. AB için büyük bir Pazar olan Türkiye gibi yerlerde, denim üretiminin otomatikleştirilmesi çift başına 1,30 ila 2 dolar arasında tasarruf sağlayabilmektedir [83]. Amerikan Giyim ve Ayakkabı Derneği (AAFA), 'Denim Terbiye İşçileri İçin Sağlık ve Güvenlik Yönergeleri' raporunu yayınlamıştır. Bu rapor, tedarikçiler için kazaları, yaralanmaları ve hastalıkları azaltmanın yanı sıra moral ve üretkenliği artırma gibi faydalar içermektedir. Alıcılar için bu yönergeleri takip etmek, Higg FEM, ZDHC ve Sosyal ve İşgücü Yakınsama Programı'ndaki (SLCP) itibarı ve puanları iyileştirir.

7. SU AYAK İZİ

Denim üretiminin yoğun olduğu AB kapsamı dışındaki ülkelerde, atık suyun ve belirli kimyasalların işleme parametrelerindeki düzenlemeler yetersiz kalmaktadır. Sürdürülebilir su kaynaklarının yönetimi gibi alanlarda çalışmalar yapan İngiltere merkezli Water Witness International, yeni bir rapor yayınlayarak, küresel moda tedarik zincirini destekleyen bazı Afrika ülkelerinde aşırı su kirliliğini ortaya çıkarmıştır. Araştırmacılar özellikle Etiyopya, Lesoto, Madagaskar, Mauritius ve Tanzanya gibi en çok kaynak sağlayan ülkelerdeki atık suyun ilerlediği yolu inceleyerek nehir akışının bir kısmının pH'ının 12'ye yakın olduğunu (ev tipi çamaşır suyuyla aynı) ve ayrıca yüksek düzeyde kanserojen kimyasallar içerdiğini gördüler. Denim üretiminde kullanılan ve gözle görülür bir şekilde su üzerinde değişikliğe sebep olan mavi boya, çevreye salınıp doğada bulunan diğer su kaynakları ile birleşerek kirliliği arttırmıştır. Rapora göre, kirlenen akış,

yerel toplulukların sağlığını ve suyla sulanan mahsulleri tehdit etmekte ve kirlilik ile temas ayrıca cilt yanıklarına ve hastalığa neden olmaktadır.

Küresel denim endüstrisinin sürdürülebilirlik konusunda yıllar içinde kaydettiği ilerlemelere rağmen; su, ana çekişme noktalarından biri olmaya ve Birleşmiş Milletler'in 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'nin (SKH) altıncısı olmaya devam etmektedir. Toksik kimyasallar ve türevleri yerel su kaynaklarına ulaşabileceğinden, büyük önem taşımaktadır. Sektörde, su yönetimine ilişkin birçok standart mevcuttur ve bu standartlardan biri de Uluslararası Su Yönetimi İttifakı (AWS) tarafından geliştirilen uluslararası standarttır. Bu standartlar, su üzerinde iyi performansı teşvik eder. Tommy Hilfiger ve Calvin Klein gibi markaların sahibi olan şirketler, H&M ve PVH ile Etiyopya'daki Industrial Parks Development Corporation ile iş birliği yaparak, su yönetimi konusunda iyi bir performans göstermeyi taahhüt etmektedirler. Örneğin, 2010 yılında Levi Strauss & Co. 'Water Less' kot koleksiyonunu piyasaya sürerek üretim süreçlerinde su tüketimini önemli ölçüde azalttı. Bu koleksiyon sayesinde su tüketimi ortalama %28 oranında azalırken, bazı ürünlerde ise bu oran %96'ya kadar çıkmıştır. Levi's, su tasarrufuna yönelik yaklaşımını daha da ileriye taşıyarak, 2025 yılına kadar su sıkıntısı çeken bölgelerde üretim için kümülatif su kullanımını yüzde 50 azaltma hedefini güncellemiştir. Bu durum, şirketlerin sürdürülebilirlik çabalarının su kaynaklarına olan olumlu etkisini göstermektedir.[84].



Şekil 16. Levi Strauss & Co.'nun waterless teknolojisi ile üretilmiş denim [84].

Advance Denim'in sürdürülebilir üretime yönelik BioBlue Indigo adlı projesi, kot boyama işleminden sonra atık suları kirleten zararlı kimyasalların azaltılmasına yönelik bir inisiyatiftir. Denim boyama esnasında kullanılan sodyum hidrosülfid, taşınması zor olan, kararsız ve yanıcı bir kimyasaldır. Bu kimyasal, denim üretim sürecinde yüksek konsantrasyonda tuzların oluşmasına neden olur ve bu tuzların atık suda uzaklaştırılması oldukça zorlu bir süreçtir. Atık sularda sülfat birikimi ve yüksek seviyelere ulaşması durumunda çevreye daha da zarar verebilecek gazların ortaya çıkmasına neden olabilir. BioBlue Indigo projesi sayesinde firma, kumaş başına enerji tüketimini yüzde 42 ve su tüketimini yüzde 58 oranında azaltmayı başarmıştır. Bu başarı, şirketin çevre dostu uygulamaları ve sürdürülebilir üretim süreçlerine olan taahhüdüyle uyumludur. İspanyol Şirketi Jeanologia, yıkama etkinliğini ölçmek için giysi terbiye işlemlerinin çevresel etkisini değerlendiren EIM yazılımı geliştirmiştir. Türünün ilk örneği olan bu yazılım, giysi terbiye endüstrisi için özel olarak tasarlanmıştır. Yazılım, giysi yıkama işlemlerinin çevresel etkisini değerlendirerek, etkileri dört ayrı başlık altında sınıflandırmaktadır. Bunlar su tüketimi, enerji tüketimi, kimyasal etkiler ve işçi sağlığı üzerindeki etkidir. Ayrıca, kullanıcının farklı süreçleri karşılaştırmasına ve sonraki sonuçlarını değerlendirmesine olanak tanımaktadır. Özellikle, belirli bir denim işleme rotası için kullanılan proses modifikasyonlarının ve bütünleşmiş teknolojilerin istenen su azaltma hedefine ulaşıp ulaşılmadığını belirlemek için önemli bilgiler sunar. Bu tür bir yazılım, giysi terbiye endüstrisinde çevresel etkinin değerlendirilmesi ve sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesi açısından son derece değerli bir araç olarak kabul edilmektedir. Jeanologia'nın EIM yazılımı, sektörde çevre dostu ve sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesine yardımcı olacak önemli bir adımdır.

8. KARBON AYAKIZI

2021 kasım ayında Glasgow’da düzenlenen 2021 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı (COP26) ve BM iklim değişikliği raporu, karbon azaltımının tüm endüstriler için öncelik olduğunu belirtmiştir. Bu konferans ile küresel ısınmayla daha hızlı mücadele edebilmek için tekstil ve moda endüstrileri için yeni mevzuat ve cezaların uygulanabileceği bir döneme girilmiştir. BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile ilgili olarak, dünya çapında bulunan denim fabrikaları, iklim eylemi için yenilikler geliştirmektedir.

2007’de Levi Strauss & Co., bir Levi’s üretilen kot pantolonunun pamuk tohumundan çöp sahasına kadar çevresel etkisini değerlendirmek için bir LCA çalışması yapmıştır. Bu çalışma, ürünlerin çevresel etkilerini değerlendiren, doğada dinamik ve uygulamaya geçirilebilir bir yöntem olan E-değerlendirme fikrini geliştirmiştir. Bu yöntem, birincil verilere dayalı yaşam döngüsü tabanlı olarak tasarlanmıştır ve ürünlerin çevresel etkilerini tespit etmek ve anlamak için kullanılabilir. E-değerlendirme, gerçekçi sonuçlar elde etmeyi ve çevresel etkileri etkili bir şekilde azaltmayı hedeflerken, çevre dostu ürün tasarımı ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin teşvik edilmesine katkı sağlamaktadır. Değerlendirme yaklaşımının amaçları, tasarımcılara ve geliştiricilere daha sürdürülebilir ürünler üretmek için bilgi sağlamak ve ürünlerin çevresel iyileştirme iddialarını desteklemek için bilimsel bir yöntem sağlamaktır [86]. Perakendeciler, kaynak bulma ve nakliye gibi en yoğun süreçlerini tekrar elden geçirerek bu talepleri karşılayabilmek adına yalnızca önceden sipariş edilenler üzerinde üretim gerçekleştiren ve fazla envanterden kaynaklanan israfi en aza indiren bir ön sipariş planı başlatmışlardır. Levi Strauss & Co. Firması teslimatla ilişkili bu stratejinin hem çevresel hem de finansal faydalarının olduğunu ortaya koymuştur [87].

Sürdürülebilir denim üretim proseslerinin gerçekleştirilmesi için denim üretim proseslerinin karbon emisyonlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Crystal International Group Limited, tüm dünyada tek bir denim ürününün karbon emisyonlarını izlemek için bir karbon ayak izi hesaplayıcının beta testini yürütmektedir. Şirketin vizyonunda, sıfır karbonlu kot pantolon tasarlamaya ve üretmeye, öncelikle üretim süreçlerinin çevresel etkilerinin ölçülmesi, tanımlanması ve değerlendirilmesine odaklanmak, ardından bu verileri şeffaf bir prensip ile görselleştirmektir. Karbon ayak izini düşürmek, sürdürülebilir ham malzemeleri geliştirmeyi, moda döngüsellliği için farklı kapalı döngü ve ileri dönüşüm projeleri üzerinde çalışmayı, dijitalleşmeyi amaçlayan, iş birlikleri de dahil olmak üzere geniş bir çalışma alanını kapsamaktadır. Ürün Karbon Ayak İzi (PCF), bir ürünün hammaddeden üretime, dağıtımına, kullanıma, bertaraf veya yeniden kullanıma kadar tüm yaşam döngüsü boyunca meydana gelen toplam karbon emisyonlarını ifade eden bir ölçüttür. PCF, ürünün çevresel etkisini değerlendirmek için kullanılan önemli bir göstergedir ve ürünlerin karbon salınımı ve iklim değişikliği üzerindeki etkisini analiz etmek için kullanılan önemli bir araçtır. Bu bilgi, ürünlerin sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve karbon ayak izini azaltmak için stratejiler geliştirmek için önemli bir temel sağlar. Denim ceketin endüstriyel karbon ayak izinin incelendiği bir çalışmada, her bir kot ceket parçasının karbon ayak izi emisyonunun 1,75 kg CO₂ olduğu bulunmuştur. En büyük karbon ayak izinin, kesim işleminin neredeyse iki katı olan, dikiş işleminde olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, dikiş sürecinde üretim hattını optimize ederek, yüksek enerji verimli işleme ekipmanı ve temiz enerjiyi benimseyerek, denim giysilerin endüstriyel karbon ayak izini daha çok azaltabileceği ön görülmüştür [88].

9. ENDÜSTRİ 4.0 VE DENİM ENDÜSTRİSİ

Denim sektörü, otomasyon teknolojisinin entegrasyonu ile birlikte, daha düşük maliyetler, artan çeviklik ve gelişmiş üretim verimliliği ile nitelikli ve ölçeklenebilir üretime sahip olma imkânı elde etmektedir. Bu teknolojik ilerlemeler, sektörde daha temiz ve daha sürdürülebilir üretim yöntemlerini teşvik ederken, aynı zamanda daha modern ve verimli bir üretim ortamı sunmaktadır.

Giysi üretiminde belirli bir seviyeye kadar otomasyon olsa da robotlar hala baştan sona giysi dikme konusunda insanların yeteneklerini tam anlamıyla yerine getirememektedir. Bu nedenle denim üreticileri, hala iyi el ve göz koordinasyonuna sahip insanların katkısını gerektiren üretim süreçlerini yürütmektedir. Giyim üretimindeki komplekslik ve değişkenlik, insan becerilerinin hala vazgeçilmez olduğu bir alan olarak kalmaktadır. Ancak teknolojik gelişmeler ve otomasyonun ilerlemesiyle birlikte, ileride giyim sektöründe de robotların daha fazla rol alması beklenmektedir. Ancak, otomasyon ekonomik uygulanabilirlik için çok önemlidir. Denim sektörünü kolaylaştırmak için insanlarla robotların aynı çalışma alanında üretim yaptığı yöntemler üzerinde çalışılmaktadır. Örneğin otomotiv sektörünün gittiği çalışma metodlarından yararlanılarak bir teknoloji şirketi, iki robot ve sekiz lazerle donatılmış bir bitirme sistemi olan Handman'i yakın zamanda piyasaya tanıtmıştır. Sistem, iki kişinin kotları askıya yüklemesini veya robotlar ile iş birliği yapmasını gerektirmekte ve sonuçta sıfır atıkla 24 saatte 10.000 bitmiş kot pantolon elde edilmektedir [89]. Buna benzer olarak Saitex USA, endüstri 4.0 odağında yarı otomatik bir fabrikaya sahiptir. Dünyada sadece 2 taneden biri olan tek parça kesen ve aynı zamanda kuru işlemi de yapan devasa lazerlere sahip olan firma, bu hat ile bir günde 3000 farklı giysi kalıbının çıkarılabildiğini iletmektedir. Sahip oldukları hız ile müşterilere çok hızlı dönüş yapabilmektedirler. Lazer otomasyonuna geçişle birlikte 40 ile 50 kişilik bir personel kazancı olduğunu, maliyetleri düşürmesi ve tekrarlanabilirliği artırması ile sürdürülebilir bir uygulamalardan bir tanesidir [90]. Yıkama ve kot terbiye kısımlarında genellikle insanlar tarafından yapılan ve dumanların yutulmasına sebep olan püskürtme işleminin robotlar tarafından otomatik şekilde yapılmasıyla çalışma şartlarında iyileştirmeler sağlanmıştır. Üretim süreçlerinde otomasyona geçiş, üretkenliğin artmasına ve çalışma şartlarının iyileşmesine yol açacaktır.

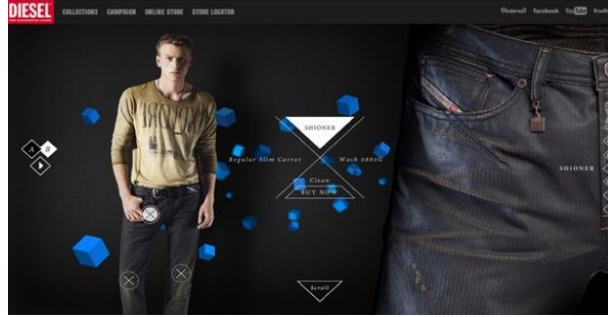


Şekil 17. Saitex'in Amerika'da bulunan fabrikası [90]

10. METAVERSE VE DENİM ENDÜSTRİSİ (METAVERSE AND DENIM INDUSTRY)

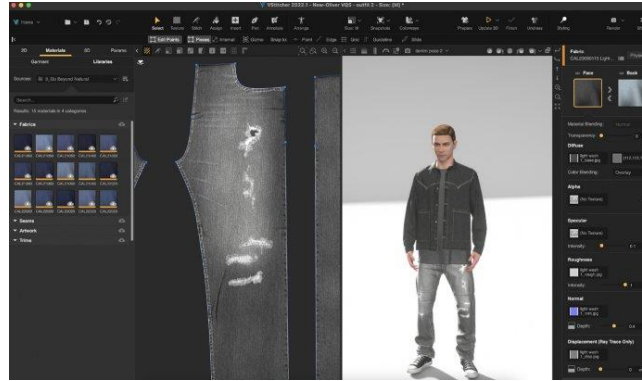
Metaverse kavramının hayatlarımıza girişi, teknolojinin yardımıyla farklı bir evrene kapı açma olanağını sunmaktadır. Bu durum, sektörün daha sürdürülebilir ve dijital bir yapıya kavuşmasına yönelik teknolojilerin uygulanmasını ve firmaların metaverse evrenine geçiş yapmalarını teşvik etmektedir. Bu süreçte, şirketlerin sorumluluk sahibi bir şekilde hizmet sunabilmeleri için tüketicilere odaklanmaları gerekmektedir. Metaverse evreni, yenilikçi ve etkileşimli bir platform olarak işletmelere çeşitli fırsatlar sunmaktadır ve bu platformda sürdürülebilirlik ve dijitalleşme stratejilerinin bir araya getirilmesi, geleceğin başarılı işletmeleri için önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir [91]. Üretilen ürünün siparişten teslim süresine kadar olan süreç, firmadan firmaya bir ay ile bir yıl arasında değişebilmektedir. Alıcılar ve tüketiciler, istedikleri ürünleri hızlı ve etkili bir şekilde belirleyip görmeyi talep etmektedirler. 3D prototipler ve veri yönetimindeki gelişmeler, bu talebi karşılamada önemli bir rol oynamaktadır. VR destekli sürükleyici deneyimler sayesinde, tasarlanan kotlar ve çeşitli sanal moda parçaları sanal showroumlarda incelenebilir hale gelmektedir. Bu teknolojiler, sürecin hızlandırılmasına ve tüketicilere daha hızlı ve gerçekçi bir deneyim sunulmasına yardımcı olmaktadır. Sanal showroomlar, tüketicilerin ürünleri daha yakından tanımalarını ve doğru seçimler yapmalarını kolaylaştıran yenilikçi bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu sayede, giyim sektörü hem hızlı taleplere yanıt verme yeteneğini artırırken hem de

daha sürdürülebilir dijital çözümlerle müşteri memnuniyetini artırmaktadır [92]. Üretim kaynaklarındaki birçok başlıkta tasarruf edilmesine, çevreye daha az karbon salarken daha verimli süreçlerin yürütülmesine ön ayak olmaktadır. Diesel, geliştirdiği teknoloji ile satın alım sürecinde kullanıcılara ürünün üç boyutlu şekilde incelenmesine imkân veren bir program üzerinde çalışmaktadır.



Şekil 18. Diesel'in 3D tasarımı web sitesi [93]

Tommy Hilfiger ve Calvin Klein'in sahibi PVH Corp., fiziksel numunelerin üretilmesiyle ilişkili maliyetin ve israfın azalmasına olanak tanıyan, 3D tasarımda ilerleme kaydetmiştir. 3D tasarım girişimi Stitch 3D'yi, holding dışındaki markaların dijital tasarım yeteneklerini ölçeklendirmesine yardımcı olmak için genişletmiş, yalnızca bir sezonda dijital tasarım süreçleri ile, FedEx ve postalama kumaş örnekleri ya da giysiler arasındaki kurye ücretlerinde 1 milyon dolarlık bir tasarruf sağlamışlardır. Ürünlerin yaşam döngülerinin (LCA) blockchain ve bulut hizmetleriyle birlikte oluşturulması, döngüsel ve geri dönüşümlü denim üretilmesinde kilit rol oynamaktadır. Teknolojinin hızlı bir şekilde üretim hatlarına entegre edilmesiyle, sektörün daha hızlı, daha sürdürülebilir ve tüketiciler ile daha bağlantılı olacağı ön görülmektedir.



Şekil 19. VStitcher 3D tasarım platformu

11. DENİM GERİ KAZANIMI

Yan ürünlerin ve atık akışlarının kullanılmayan potansiyelinden yararlanmak, döngüsel ekonominin önemli bir parçasıdır. Al-yap-atık tüketim kalıplarından uzaklaştığımız, ürünleri ve malzemeleri uzun süre kullanımda tuttuğumuz bir ekonomi için metaforudur. Tekstil atıklarından tekrar tekstil materyalleri üretmek üzerine çalışmalar oldukça yoğunlaşmış durumdadır. Tüketim öncesinde ve sonrasında çok fazla tekstil atığı çıkması sebebi ile bunları atmak yerine yeniden kullanmak gerekmektedir. Bununla birlikte, elyaf karışımını ayırmanın zorluğu ve diğer teknolojik zorluklar nedeniyle, geri dönüştürülen bu tip tekstiller henüz kolay temin edilememektedir [94]. Denim üretiminin karşılaştığı en büyük sorunlardan biri, büyük miktarlarda üretilmesi ve bunun da büyük miktarlarda elden çıkarılmasıyla sonuçlanmasıdır. Bertaraf edilen kot kumaş genellikle yakılmakta veya çöplüklere atılmaktadır. Giyim endüstrisinin daha çevre dostu olması

için döngüsel hale gelmesi gerekmekte, bu da geri dönüşümden elde edilebilmektedir. Ancak şu anda giyim endüstrisi dairesel olmaktan çok doğrusaldır. Bu, üretim veya imalat aşamasından ve giysinin tüketilmesinden sonra, genellikle atılması olarak açıklanabilir. Döngüsel tüketimin ek bir aşaması olan geri dönüşümde, döngüsel bir süreç vardır. Döngüsel tüketim, ürünlerin kullanım ömrünün sonunda atık olarak değil, kaynakların tekrar kullanılması veya geri kazanılması için bir döngü içinde yeniden değerlendirilmesine dayanır [95].

Geri dönüşüm genellikle parçalama yoluyla yapılır, bu hem ekonomik hem de ekolojik olarak daha faydalıdır. Bu, giysiyi daha sonra parçalara ayırarak elde edilir. Yüksek kaliteli bir geri dönüşümde ise, parçalar lif olarak yeniden kullanılabilir bu lifler ve yeni liflerle birlikte, daha düşük kaliteli ürünlerin üretimi yapılabilmektedir [96]. Düşük kalite, geri dönüştürülmüş giysinin aşınmasından ve yıpranmasından kaynaklanmaktadır. Geri dönüşüm sürecinde giysinin tüm parçaları kullanılmamaktadır, kullanılan parça sayısı oldukça azdır. Giysi üzerinde metalden yapılmış fermuarlar ve düğmeler gibi geri dönüştürülemeyen belirli parçalar bulunur. Deri veya suni deriden yapılmış etiketler, dikilmiş bir kot pantolonun geri dönüşümünü zorlaştırmaktadır. Sadece kumaş parçaları geri dönüştürülebilir. Denim ürünlerin konutlarda yalıtıma geri dönüştürülmesi daha yaygındır. Yukarıda bahsedildiği gibi, giysilerin geri dönüştürülmesiyle ilgili temel zorluklardan biri, genellikle farklı türde malzemelerle karıştırılmış olmalarıdır.

11.1 Düğmeler, Fermuarlar, Jakronlar

Talep ve endüstri çapında daha etik üretim çağrısıyla hareket eden moda markaları, vegan giysi ve aksesuarları ürünlere taşıyarak tüketiciye sunmaktadır. Deri benzeri görünümü ve dayanıklılığı ile bilinen Jacron, yaygın bir deri ikamesi iken, diğer alternatifler genellikle Petrol bazlı poliüretan (PU) veya polivinil klorür (PVC) gibi sentetik malzemelerden yapılmaktadır. Fosil yakıtlardan üretilen bu alternatifler biyolojik olarak parçalandıklarında, ciddi çevresel tehdit oluşturmaktadır. Sektör, sorumlu vegan alternatifleri içerisinde, Global Recycle Standard (GRS), Oeko-Tex, FSC ve Global Organic Textile Standard (GOTS) gibi endüstri tarafından tanınan sertifikalar tarafından onaylanmış ürünleri denemektedir. Ananas derisi, elma kabuğu, mantar, organik kumaşlar ve kireçtaşından ağaçlara karşı yapılan bir kâğıt olan taş kâğıt, bu alternatiflerden bazılarıdır. Turteks Etiket zeytin atığı, kaktüs yaprakları ve mısır bazlı PU'dan yapılan yamalar da dahil olmak üzere, organik malzemelerden elde edilen deri ve boya alternatiflerini denemektedir [97]. Vegan kot pantolonlar, güzel bir pazarlama imkânı tanınmasıyla birlikte, özellikle döngüsel kotları piyasaya sürmek için endüstri çapında bir çaba olan Ellen MacArthur'un Jean Redesign projesiyle uyumlu yeni koleksiyonları oluşturmaktadır. Blue of a Kind ve H&M gibi bazı firmalar dairesel kot pantolonlarında jakron kullanmayarak geri dönüşümü de kolaylaştırıcı hamlelerde bulunmuşlardır. Tommy Jeans gibi diğer firmalar, Jean Redesign koleksiyonlarında jakronlarda lazer baskı kullanarak sürdürülebilir denim parçaları elde etmektedir.



Şekil 20. Tommy Jeans lazer baskılı jakron [98]

Maddesel sürdürülebilirlik, birçok markanın ele almaya çalıştığı önemli bir konudur. Maddesel sürdürülebilirlik, ürünlerin üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkilerini minimize etmeyi ve doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamayı amaçlar. Bu konu bir markanın çevresel

performansını ve topluma olan sorumluluğunu gösteren önemli bir göstergedir. Sürdürülebilir malzeme kullanımıyla birlikte markalar, çevre ve toplum için daha olumlu bir katkı yapmayı hedeflerken, aynı zamanda tüketicilerin tercihlerinde de önemli bir etkiye sahip olabilirler. Bu nedenle, maddesel sürdürülebilirliğin giderek daha fazla önem kazandığı ve markaların bu alanda daha fazla çaba sarf ettiği görülmektedir. Dolayısıyla odak noktalarının büyük bir kısmı özellikle denim kumaşın sürdürülebilirliği üzerindedir, küçük parçaların bu sürece etkisi aslında oldukça büyüktür. Fermuar şeritleri, düğme, çakmalar için geri dönüştürülmüş malzemelere ilgi artmıştır. YKK'nın çözümlerinden biri, geri dönüştürülmüş polyester bantlı klasik bir metal denim fermuar olan Natulon 3Y fermuarlardır. Geri dönüştürülmüş ipliğin kullanımı, işlenmemiş polyesterden yapılmış bir ipliğe göre, sera gazı emisyonlarında yüzde 51'lik bir azalma sağlamaktadır. Organik pamuklu bir bant, müşterilere petrol dışı bir tekstil seçeneği sunmaktadır. YKK, su tüketimini azaltmak isteyen müşteriler için fermuar şeritlerini boyarken, su yerine süper kritik karbondioksit kullanan susuz bir boya çözümü olan Eco-Dye'ı da sunmaktadır.



Şekil 21. YKK Natulon gizli fermuar [99]

YKK'nın çevre dostu metal kaplamaları, su ve elektriği koruyan ve sera gazı emisyonlarını azaltan, sürdürülebilir bir kaplama teknolojisi olan AcroPlating ile elektro kaplamaya düşük etkili bir seçenek olarak sektöre sunulmuştur.



Şekil 22. YKK acroplating bitirme teknolojisiyle üretilmiş düğmeler [100]

Fransız düğme tedarikçisi Dorlet firmasının çıkarttığı Wild Journey koleksiyonu, yüzde 100 yeniden kullanılabilir, çıkarılabilir ve geri dönüştürülebilir Jean düğmesi olan Diabolo'yu ve kimyasal içermeyen, fabrikanın yakınından toplanan yüzde 25'ten fazla tüketici sonrası atıkla yapılan ürünleri içermektedir. Metal perçinler, başlangıcından bu yana klasik blue jean tasarımının bir parçası olmasına rağmen (başlangıçta aşınma ve yıpranmadan etkilenen noktaları güçlendirmek için kullanılmaktaydı) denim giysilerin geri dönüştürülebilirliği konusunda bir çekişme noktası haline gelmiştir. Geleneksel metal perçinlerin geri dönüşüm işlemleri sırasında çıkarılması zordur ve ekstra zaman ister. Sonuç olarak, kotun üst kumaşının daha büyük parçaları kesilmekte ve atık olarak çöpe atılmakta veya yakılmaktadır. Jeans Redesign, metal perçinlerin giysi tasarımından tamamen çıkarılmasını (veya minimuma indirilmesini) teşvik etmekte, tehlikeli atıklar ve atık su üretebilecek metal kaplama işlemi olan geleneksel elektro kaplamayı yasaklamaktadır. Kuralları karşılamak için H&M ve Tommy Hilfiger gibi markalar, döngüsel

bir jean'in daha uzun bir ömür için ihtiyaç duyduğu gücü ve dayanıklılığı sağlamak için dikişe güvenerek, imza niteliğindeki jean triminden vazgeçmiştir.

Denim geri kazanımı ve geri dönüşümü için yenilikçi yaklaşımlar denenmektedir. Bu yaklaşımlar, giyim endüstrisindeki sürdürülebilirlik çabalarının bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Aralık 2020'den beri İsveçli denim markası Nudie Jeans, AB tarafından finanse edilen dairesel hızlandırıcı SwitchMed'in bir parçası olarak, Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO) ile çalışarak, ikinci kalite kot pantolonları geri dönüşüm programı ile tekrar pazara sunulabilir hale getirmektedir. Renksiz yıkama, tutarsız dikişler gibi hafif kusurları düzelttikten sonra, Nudie Jeans mağazalarında ve internetten çevrimiçi olarak satışa sunulmaktadır.

Hiut Denim Co. Sıfır atık prensibi ile en düşük etkiye sahip kotları üretmeye yönelik hareket ettikleri 'Landfill Dropout' serisini piyasaya sürmüştür. Marka stok denimden kesim atıklarını toplamakta ve bunları, kemer, cep ve bacak paneli gibi segmentlere göze düzenlemektedir. Ardından tasarımcılar parçaları bir araya getirerek sınırlı sayıda özelleştirilmiş vintage Levi's 501 kot pantolon ve kurucu Hillary Taymour'un neşeli tasarım yaklaşımını yansıtan çok renkli, elle şablonlanmış yıldızlarla süslenmiş Levi's Trucker ceketler sunmaktadır. Şirket, miktar yerine katı bir kalite politikasına bağlı kalmaktadır ve haftada 100 çiftten fazla kot pantolon üretmemektedir.

Bir kot giyim firması olan Mud Jeans, müşterilerine ürünlerini 1 yıl süreyle kiralamaları için aylık ücret ödemeyi teklif etmektedir. 12 ay sonra tüketici kot pantolonu iade edebilmekte, yeni bir modelle değiştirebilmekte veya saklayabilmektedir. Şirket, yeni ürünler üretmek için iade edilen kotları yıkayarak veya iade edilen kumaşları yeniden kullanarak "Vintage" başlığı altında müşterilere yeni ürünler sunar.

Cotton Incorporated, #denimstackchallenge isimli bir sosyal girişimi teşvik ederek, Blue Jeans Go Green kampanyasını 2006 yılından beri düzenlemektedir. Blue Jeans Go Green programı, yüksek pamuk içeriğinden yapılmış eski kotları toplar, orijinal elyaf formuna geri dönüştürerek bina yalıtımı, termal ambalaj yalıtımı, evcil hayvan yatağı gibi kullanışlı ürünlere dönüştürmektedir. 2006 yılından itibaren 1.950 tondan fazla denim çöplüklerden uzaklaştırılmış ve 3.900.00'den fazla denim geri dönüştürülmüştür. Cotton Incorporated'ın Blue Jeans Go Green programına katılan tüketicilerin %80'i, katıldıkları anketlerde daha sürdürülebilir ve çevreye duyarlı olmalarına katkı sağladıklarını iletmişlerdir. Program, tüketicileri eski yıpranmış pamuklu kot parçalarını programa dahil olan perakende firmalarına bırakmaya yönlendirmektedir. Mağazalarda alışveriş yapanlara, genellikle bir sonraki denim ürününü satın almaları için kampanyalar sunmaktadır [101].



Şekil 23. Blue Jean Go Green kampanyası [101]

12.SONUÇ VE TARTIŞMA

Denim sektörü ile ürünlerin kendileri de daha sürdürülebilir hale gelmekte ve birçok şirket daha küçük çevresel ayak izi için çalışmalar yürütmektedir. Yükselen pamuk fiyatları ve iklim krizinin etkisiyle artan sürdürülebilirlik endişeleri, alternatif seçenek arayışına yönlendirdiğinden, pamuk alternatifleri gittikçe ilgi odağı olmaktadır ve yakın gelecekte bu ilgi ciddi ticari boyutlara ulaşacaktır. Kenevir, liyosel ve tencel gibi çevre dostu liflerin maliyetlerinin daha uyumlu hale gelmesiyle, sürdürülebilir malzemelerin, tüketiciler

için daha çekici hale gelebileceği tahmin edilmektedir. Bu malzemelerin konfor ve kullanım avantajı gibi ek özellikleri üzerinde de çalışmalar yürütülmektedir. İndigo boya harici alternatif doğal boyalı denimlerin, gelecekte umut vadeden bir potansiyeli bulunmaktadır. Doğal boyaların farklı versiyonları yine bu kapsamda ticarileştirilmeye çalışılmaktadır. Tedarik zinciri boyunca karbon ayak izini azaltmaya yönelik, Endüstri 4.0 uygulamaları ile daha şeffaf ve sürdürülebilir bir üretim yöntemi için çalışılmaya devam edilmesi gerekmektedir. Endüstri 4.0 ile üretim sırasında açığa çıkan hataların daha sistematik çalışmalarla giderilmesi ve böylece daha az hata ile sürdürülebilir bir üretim ağı kurulması mümkün olmaktadır.

13. TEŞEKKÜR

Maritaş Denim A.Ş.'ye çalışma sürecinde katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Çalışma sırasında yakın zamanda vefat eden Yaşar Sobacı'nın anısına.

14. ÇIKAR ÇATIŞMASI

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

REFERANSLAR

- [1] Charpail M., "Fashion's Environmental Impact," 2022. [Online]. Available: <https://www.sustainyourstyle.org/old-environmental-impacts#anchor-link-wastes>.
- [2] Özçayan O., "Blue Jeans," 2012.
- [3] Bluesign, "Our Vision. Our Mission.," [Online]. Available: <https://www.bluesign.com/en/business/our-story>. [Accessed 13 02 2022].
- [4] Higg, "Higg: The Sustainability Insights Platform," [Online]. Available: <https://higg.com/>. [Accessed 13 02 2022].
- [5] Gots, "Philosophy," [Online]. Available: <https://global-standard.org/the-standard/philosophy>. [Accessed 13 02 2022].
- [6] C. Certifications, "RCS 100 - Recycled claim standard," [Online]. Available: <https://controlunion-germany.com/en/certification-programs/rcs-100-recycled-claim-standard>. [Accessed 13 02 2022].
- [7] Roadmap to Zero, "About Us," [Online]. Available: <https://www.roadmaptozero.com/news>. [Accessed 13 02 2022].
- [8] F. Z. A. D. A. K. H. A. S. Zannatul Ferdous, "Potential and challenges of organic agriculture in Bangladesh: a review," *Journal of Crop Improvements*, vol. 35, no. 3, pp. 403-426. doi.org/10.1080/15427528.2020.1824951, 2021.
- [9] M. T. M. E. S. Serin Mezarciöz, "Effect of Sustainable Cotton Fibers on Denim Fabric Selected Properties," *Journal of Natural Fibers*, p. doi.org/10.1080/15440478.2021.1993502, 2021.
- [10] K. H. B. & S. J. Delate, "Organic cotton production may alleviate the environmental impacts of intensive conventional cotton production," *Renewable Agriculture and Food Systems*, vol. 36, no. 4, pp. 405-412. doi:10.1017/S1742170520000356, 2021.
- [11] C. Sarıçam, "The comfort properties of hemp and flax blended denim fabrics with common industrial washing treatments," *Textile Research HJournal*, p. doi.org/10.1177/00405175211054216, 2021.
- [12] G. L. E. C. G. Crini, "Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment," *Env Chem Lett*, p. 18: 1451-1476., 2020.
- [13] Z. F. L. H. Zhong, "Advances in the Performance and Application of Hemp Fiber," *International Journal of Simulation Systems, Science & Technology*, 17(9), pp. 1-5., 2016.
- [14] N. Okur, "Thermo-physiological and Handle-related Comfort Properties of Hemp and Flax Blended Denim Fabrics," *Journal of Natural Fibers*, p. doi.org/10.1080/15440478.2021.1993488, 2021.

- [15] Z. Bihong, "A Study on the Production Process of Stretch Linen/Cotton Denim," *China Textile Leader*, p. 03, 2004.
- [16] D. F. J. M. D. Chun, "Antibacterial Properties And Drying Effects Of Flax Denim And Antibacterial Properties Of Nonwoven Flax Fabric," *BioResources*, 5(1) , pp. 244-258 , 2010.
- [17] S. V. A. P. D. Petrulyte, "Water vapour absorption of terry fabrics with linen and hemp pile loop," *Fibres Text Eas Eur*, p. 98: 90–95., 2013.
- [18] B. Behera, "Comfort and handle behaviour of linen-blended fabrics," *AUTEX Res J*, p. 7: 33–47., 2007.
- [19] C. Sarıçam, "The comfort properties of hemp and flax blended denim fabrics with common industrial washing treatments," *Textile Research Journal*, p. doi.org/10.1177/00405175211054216, 2021.
- [20] Maritaş Denim, "Collection," [Online]. Available: <http://www.maritasdenim.com/collections.html>. [Accessed 22 02 2022].
- [21] Y. A. A. O. Kurban M., "Isırgan Out Lifi ve Özellikleri," *ekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1), pp. 84-106. , 2011.
- [22] M. Y. A. A. O. E. H. Kurban, "Nettle Biofibre Bleaching with Ozonation," *Industria Textila*, pp. 46-54. , 2016.
- [23] S. Şansal, "Ekolojik Yüzey İşlemlerinin Isırgan İpliğinin Fiziksel ve Morfolojik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması," *Bartın University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master's Thesis*, pp. 1-68, 2017.
- [24] Y. Özbey, "Isırgan Otu Lifiyle Elde Edilmiş Tekstillerde Görşellik," *Marmara University, Graduate School of Fine Arts, Master's Thesis*, pp. 1-173, 2013.
- [25] E. Bangsbo, "A 'Stinging' Textile: Cultivation of nettle fibre in Denmark and Asia," *Ancient Textiles Series*, 20, , pp. 245-254, 2016.
- [26] J. Lee, "A Study on the Change of Hand of Nettle Denim," *J. Fash. Bus.*, 22(2), , pp. 107-117, 2018.
- [27] "Pangaia Denim," [Online]. Available: <https://thepangaia.com/pages/denim-science>. [Accessed 13 02 2022].
- [28] C. Pollain, "Le jean 100% orties," *Le Journal Toulousain*, 11 November 2018. [Online]. Available: <https://www.lejournaltoulousain.fr/lifestyle/velcorex-jean-100-orties-1768/>. [Accessed 22 02 2022].
- [29] F. A. N. N. Ullah A. A., "Study on the Characteristic of Jute-Cotton Blended Fabrics," *SEU Journal of Science and Engineering*, 10(2), pp. 11-16 , 2016.
- [30] S. H. M. I. M. Elahi, "Analysis of physical and chemical properties of cotton-jute blended denim after a sustainable (industrial stone enzyme) wash," *J Text Sci Fash Tech* , p. 3: 1–8., 2019.
- [31] A. K. K. Kumari, "Regenerated Cellulose-Based Denim Fabric for Tropical Regions: An Analytical Study on Making Denim Comfortable," *Journal of Textiles*,, pp. 1-10., 2016.
- [32] TENCEL, "About Tencel Fibers," [Online]. Available: <https://www.tencel.com/about>. [Accessed 13 02 2022].
- [33] Tencel, "Introducing tencel™ Modal with indigo color technology," 23 02 2021. [Online]. Available: <https://carvedinblue.tencel.com/introducing-tencel-modal-with-indigo-color-technology/>. [Accessed 15 02 2022].
- [34] T. K. M. Park, "Manufacture and physical properties of the denim fabrics using Hanji paper yarn as weft yarn," *Fash Text* 5, 26, pp. <https://doi.org/10.1186/s40691-018-0140-6>, 2018.
- [35] Z. J. L. Y. F. L. W. H. C. J. F. Y. X. X. P. H. L. Baohua, "Mint Fiber and Modal Cotton Carbon Black Jean Fabric and Production Method There," *Engineering*, 2013.
- [36] A. B. O. Telli, "The effect of recycled fibers on the washing performance of denim fabrics," *J Text Inst*, p. 108: 812–820., 2017.
- [37] Wrap, "Wrap," [Online]. Available: <https://wrap.org.uk/resources/guide/fibre-fibre-recycling-economic-financial-sustainability-assessment>.
- [38] Renewcell. [Online]. Available: <https://www.renewcell.com/en/circulose/>.
- [39] Circulose. [Online]. Available: <https://circulo.se/>.
- [40] H. Group. [Online]. Available: <https://hmgroup.com/news/hm-to-be-the-first-retailer-to-use-circulose/>.
- [41] EVRNU. [Online]. Available: <https://www.evrnu.com/>.

- [42] Y. News. [Online]. Available: <https://news.yahoo.com/scientific-way-old-clothes-becoming-120206434.html?guccounter=1>.
- [43] EVRNU. [Online]. Available: <https://www.evrnu.com/>.
- [44] I. İ. Textiles. [Online]. Available: <https://www.innovationintextiles.com/birlas-liva-reviva-project-applauded>.
- [45] [Online]. Available: <https://www.birlacellulose.com/liva-reviva.php>.
- [46] Texloop, [Online]. Available: <https://circularsystems.com/texloop#what-is-texloop>.
- [47] R. H. a. M. O. C Piroi, "Regarding the effect of finishing processes on some properties," 2018.
- [48] A. K. M. A. H. A. A. R. M. R. H. S. S. M. O. F. Md. Zayedul Hasan, "An Experimental Investigation of Different Washing Processes on Various Properties of Stretch Denim Fabric," 2021.
- [49] V. P. S. & A. Mukhopadhyay, "Behaviour of Stretch Denim Fabric under Tensile Load," 2021.
- [50] T. I. T. S. R. K. U. M. a. M. A. J. Md. Reazuddin Repon, "Stretchable denim properties dependency on industrial washing techniques," 2021.
- [51] Lycra, "Why choose Lycra® dualFX® technology?," 02 September 2020. [Online]. Available: <https://www.lycra.com/en/business/news/why-choose-lycra-dualfx-technology>. [Accessed 22 02 2022].
- [52] "Kings of Indigo," [Online]. Available: <https://www.kingsofindigo.com/pages/bio-stretch>.
- [53] [Online]. Available: <https://emf.thirdlight.com/link/TheJeansRedesign2021CommsPack/@/preview/2>.
- [54] S. G. M. Ş. A. B. K. K. Onur Kurtulmuş, "Design and Development of Denim Fabrics with Improved Strength and Impact Abrasion Resistance for Motorcyclist Clothing," FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, p. 53–58, 2018.
- [55] [Online]. Available: https://c/dyneema/en_GB/applications/ropes-lines-slings-chains/mooring-and-tow-ropes/low-environmental-footprint.html.
- [56] [Online]. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kevlar#:~:text=Kevlar%2C%20%C3%A7ok%20hafif%20karbon%20k%C3%B6kenli,yanmayan%20koruyucu%20giysi%20yap%C4%B1m%C4%B1nda%20kullan%C4%B1lmakt%C4%B1r>.
- [57] S. R. K. Sudhan, "Sustainability analysis of kevlar and banana fiber composite," International Research Journal in Global Engineering and Sciences. , pp. 70-84, 2016.
- [58] A. E. T. A. Ş. M. G. Hakan Macit, "Tekstil Sektöründe Geri Dönüşüm Olanakları ve Uşak İli'nde," Usak University Journal of Science and Natural Sciences, pp. 91-102, 2019.
- [59] M. N. Meksi, "Woodhead Publishing Series in Textiles," in DENİM, Woodhead Publishing Series in Textiles, 2015.
- [60] R. Chavan, "Indigo dye and reduction techniques," in Denim: manufacture, finishing and applications, Amsterdam, Woodhead Publishing, 2015, pp. 37-38.
- [61] "dogal-indigo," Natural Dyes Doğal Boya Hammaddeleri San. ve Dış Tic. Ltd.Şti., 2022. [Online]. Available: <http://www.naturaldyes.com.tr/dogal-indigo/>. [Accessed 17 2 2022].
- [62] J. Chakraborty, "Dyeing with indigo," in Fundamentals and practices in colouration of textiles, India, New Delhi., Woodhead Pub, 2014, pp. 110-111.
- [63] E. Parliament, "The impact of textile production and waste on the environment (infographic)," European Parliament, 03 03 2021. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographic>. [Accessed 10 01 2022].
- [64] "Kinpins Show," [Online]. Available: <https://kingpinsshow.com/is-natural-plant-based-indigo-dye-more-sustainable-than-synthetic-indigo/>.
- [65] Archroma, "Dyeing," 2021. [Online]. Available: <https://www.archroma.com/solutions/coloration-denim-casual-wear>. [Accessed 10 01 2022].
- [66] Jeanologia, "Jeanologia:G2Dynamic," [Online]. Available: <https://www.jeanologia.com/wp-content/uploads/2021/01/logo-g2dynamic.png>. [Accessed 22 02 2022].
- [67] R. Chavan, "Indigo dye and reduction techniques," in Denim: manufacture, finishing and applications , Woodhead Publications , 2015, pp. 37-67 .

- [68] Tonello, "Wake," [Online]. Available: <https://www.tonello.com/en/wake#:~:text=Wake%20is%20the%20first%20totally,sustainable%20processes%20and%20garment%20wholesomeness..> [Accessed 22 02 2022].
- [69] Angela Verasquez, "Artistic milliners debuts 100% natural dyes sourced from soil," Rivet, 13 July 2022. [Online]. Available: <https://sourcingjournal.com/denim/denim-innovations/artistic-milliners-debuts-100-natural-dyes-softeners-soil-purecolor-220494/>. [Accessed 22 02 2022].
- [70] Maritaş denim, "Terra," [Online]. Available: <https://terradenim.com/>. [Accessed 22 02 2022].
- [71] M. M. S. H. R. K. F. H. M. K. H. M. A. H. A. Y. Z. Hossain, "Effective mechanical and chemical washing process in garment industries," *American Journal of Applied Physics*, vol. 2, no. 1, pp. 1-25., 2017.
- [72] M. M. M. U. M. Khan, "Effect of bleach wash on the physical and mechanical properties of denim Garments.," in CME2011, Dhaka, Bangladesh, 2011.
- [73] M. I. H. M. M. R. K. Mondal, "Characterization and process optimization of indigo dyed cotton denim garments by enzymatic wash," *Fashion and Textiles*, vol. 1, no. 1, pp. 1-12. doi.org/10.1186/s40691-014-0019-0, 2014.
- [74] B. J. Abir Ben Fraj, "Effects of ozone treatment on denim garment properties," *Coloration Technology*, vol. 137, no. 6, pp. 678-688 doi.org/10.1111/cote.12568, 2021.
- [75] A. Choudbury, "Sustainability in Denim," in 'Environmental impacts of denim washing', in Muhutu S.S. (eds.) , Saint Louis;Oxford, Woodhead Publishing, 2017, pp. pp: 49-55, 74-78.
- [76] M. M. M. Khan, "Bleach washing combined with pumice stone for the modification of denim garments," *Orient J Chem*, p. 28: 1241–1242., 2012.
- [77] J. N. Ş. T. D. Varşa Panwar, "Sustainable Denim Bleaching by a Novel Thermostable Bacterial Laccase," *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 192, p. 1238–1254 , 2020.
- [78] L. Warren, "Wiser wash uses AI-powered hardware to enhance finishing efficiency," Rivet, 13 May 2021. [Online]. Available: <https://sourcingjournal.com/denim/denim-innovations/wiser-tech-wash-wox-ai-cloud-hardware-adriano-goldschmied-278518/>. [Accessed 15 02 2022].
- [79] Wiser Tech, "Wiser offers a front seat to the most innovative and sustainable solutions," [Online]. Available: <http://www.wisertech.ai/>. [Accessed 22 02 2022].
- [80] L. Warren, "Jecostone makes a case for safer, cost-effective denim finishing," Rivet, 22 02 2021. [Online]. Available: <https://sourcingjournal.com/denim/denim-mills/jecostone-system-denim-stonewashing-finishing-sustainable-diesel-259695/>. [Accessed 15 02 2022].
- [81] Jecostone system, [Online]. Available: <http://www.jecostone.com/?p=97&lang=en>. [Accessed 15 02 2022].
- [82] A. Velasquez, "Tonello's new ozone machine speeds up the R&D process," Rivet, 1 november 2021. [Online]. Available: <https://sourcingjournal.com/denim/denim-sustainability/tonello-candiani-denim-ozone-garment-finishing-cabinet-customization-denim-309793/>. [Accessed 15 02 2022].
- [83] T. Donaldson, "Levi'S Proves Automation in Denim manufacturing could Substantially Speed up Supply Chains," Rivet, 22 01 2018. [Online]. Available: <https://sourcingjournal.com/denim/denim-innovations/levis-laser-automation-denim-124738/>. [Accessed 15 02 2022].
- [84] Levi Strauss & Co., "A Closer Look At Our WaterLess® Approach," Levi Strauss & Co., 26 07 2019. [Online]. Available: <https://www.levistrauss.com/2019/08/26/water-less-approach/>. [Accessed 20 02 2022].
- [85] G. Reduced, "water washing of denim garments," in *Denim: manufacture, finishing and applications*, Woodhead Publications , 2015, pp. pp. 405-423 .
- [86] R. T.Karthik, "Carbon footprint in denim manufacturing," in *Sustainability in Denim* , Woodhead Publishing, 2017, pp. 125-159.
- [87] L. S. & Co, "2020 Sustainability Report," 2020.
- [88] H.-e. L. Yu Cheng, "Calculation and evaluation of industrial carbon footprint of cotton denim jacket," *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 16, pp. 1-8 Doi:10.1177/15589250211020387 , 2021.
- [89] Jeanologia, "Jeanologia:Handman," 2021. [Online]. Available: <https://www.jeanologia.com/tr/handman/>. [Accessed 4 1 2022].
- [90] B. Roberts, "The New Automated Jeans Factory In L.A.—A Blueprint For Reshoring Apparel Manufacturing?," *Forbes*, 10 3 2021. [Online]. Available:

- <https://www.forbes.com/sites/brookeroberstislam/2021/03/10/the-new-automated-jeans-factory-in-la-a-blueprint-for-reshoring-apparel-manufacturing/?sh=588787fd301c>. [Accessed 4 1 2022].
- [91] rivet, "rivet," 9 12 2021. [Online]. Available: <https://sourcingjournal.com/denim/denim-innovations/orta-open-ticket-collection-denim-metadenimverse-stretch-jeans-virtual-reality-316996/>. [Accessed 4 1 2022].
- [92] L. Warren, "rivet," 28 12 2021. [Online]. Available: <https://sourcingjournal.com/denim/denim-sustainability/isko-circular-fashion-summit-2021-circularity-virtual-reality-lablaco-vr-320299/>. [Accessed 4 1 2022].
- [93] Diesel, "Diesel: 3D Evolution," [Online]. Available: <https://www.unit9.com/project/diesel-3d-evolution/>. [Accessed 22 02 2022].
- [94] S. C. C. N. B. O. N. Aki, "Understanding Denim Recycling: A Quantitative Study with Lifecycle Assessment Methodology," *IntechOpen*, p. doi.org/10.5772/intechopen.92793. , 2020.
- [95] G. C. N. M. A. Baydar, "Life cycle assessment of cotton textile products in Turkey Resources," *Resources Conservation and Recycling*, vol. 104, pp. 213-223 doi.org/ 10.1016/j.resconrec.2015.08.007., 2015.
- [96] B. C. P. C. A. Utebay, "Effects of cotton textile waste properties on recycled fibre quality," *Journal of Cleaner Production*, vol. 222, pp. 29-35. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.033., 2019.
- [97] A. Velasquez, "Small and mighty: fall/winter 22-23 trims report," rivet, 11 kasım 2021. [Online]. Available: <https://sourcingjournal.com/denim/denim-trends/fall-winter-2022-2023-denim-trims-report-ykk-dorlet-avery-dennison-sustainability-312809/>. [Accessed 19 02 2022].
- [98] A. Velasquez, "Tommy Hilfiger launches first jeans redesign garments," rivet, 4 04 2021. [Online]. Available: <https://sourcingjournal.com/denim/denim-brands/tommy-hilfiger-ellen-macarthur-jeans-redesign-circular-denim-repair-recycle-265569/>. [Accessed 19 02 2022].
- [99] YKK, "Natulon® Series," [Online]. Available: https://www.ykkfastening.com/products/NATULON_catalog.html. [Accessed 22 02 2022].
- [100] YKK, "Eco-friendly Finish Snap & Button," [Online]. Available: <https://ykkdigitalshowroom.com/en/item/62/>. [Accessed 22 02 2022].
- [101] A. C. P. A. Importers, "Rethinking denim made from cotton," [Online]. Available: <https://bluejeansgogreen.org/recycle-denim/>. [Accessed 23 01 2022].
- [102] C. Y. W. Huang, "Development of hemp jean fabric," *Journal of Textile Research*, 06, 2005.
- [103] D. F. J. M. D. Chun, "Testing for Antibacterial Properties of Cotton/Flax Denim,," *Industrial Crops and Products*, 29, 2-3, pp. 371-376 , 2009.
- [104] E. A. O. B. A. Y. A. Kalaycı, "Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Sürdürülebilir Tekstil Lifleri: Ananas Yapağı Lifleri," *SAÜ Fen Bil Der 20(2)*, pp. 203-221. , 2016.
- [105] D. Vynias, "Soybean Fibre: A Novel Fibre in the Textile Industry," *Soybean, Biochemistry, Chemistry and Physiology*, 26, pp. 461-494. , 2011.
- [106] D. S. E. Ekinçi, "Soya ve Pamuk Lifi İçeren Dokusuz Yüzey Kumaşların Hijyen Tekstili Performansının Deneysel İncelenmesi," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), pp. 165-174, 2018.
- [107] S. K. C. Tse, "Effect of laser treatment on pigment printing on denim fabric: low stress mechanical properties,," *Cellulose* 27, p. 10385–10405., 2020.
- [108] Y. Z. . M. ., Z. Y. C. Y. D. Z. Minyi Zhaoa, "Virtual carbon and water flows embodied in global fashion trade - a case study of denim products," *Journal of Cleaner Production*, vol. 303, p. doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127080, 2021.
- [109] C. Regan, "Role of denim and jeans in the fashion industry," in *Denim manufacture, finishing and applications*, Woodhead Publications , 2015, pp. pp. 191-217.
- [110] A. K. D. M. M. I. M. A. R. Maitry Bhattacharjee, "Development of Washing Effects on Reactive Dyed Denim Fabrics: A Value Added Approach of Denim Wash," vol. 8, no. 2, 2019.