



Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi Turkish Journal of Science and Engineering

www.dergipark.org.tr/tjse

Günümüz Tekstil Teknolojisinde Doğal Ekolojik Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Analizi

İdris Oğurlu¹, Sema Hatun Türker^{2*}

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Çevre ve Doğa Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi – İstanbul-Türkiye

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü – İstanbul-Türkiye

*Sorumlu yazar: sgurcay@ticaret.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi: 09/04/2025

Kabul tarihi: 25/06/2025

Anahtar Kelimeler: Doğal tekstil malzemeleri, Ekolojik tekstil, Sürdürülebilir tekstil, Sürdürülebilir tekstil teknolojisi

DOI: 10.55979/tjse.1672116

ÖZET

Bu çalışma ile modern tekstil teknolojisinde ekolojiye yer verme bağlamında, başlıca doğal tekstil malzemeleri olan pamuk, yün ve keten/kenevir'in sürdürülebilirliği analiz edilmektedir. Tekstil endüstrisi; yüksek su tüketimi, toksik kimyasal kullanımı ve iş gücü sömürsü gibi pek çok çevresel ve sosyal sorunla ilişkilendirilirken, doğal-ekolojik malzemelerin sürdürülebilirlik temelinde analiz edilmesi artık zaruret haline gelmiştir. Sürdürülebilir tekstil anlayışı, yalnızca üretim süreçleriyle değil; aynı zamanda malzeme seçimi, ürünün kullanım ömrü ve atık yönetimiyle doğrudan ilgilidir. Bu bağlamda doğal-ekolojik tekstil malzemeleri; karbon ayak izinin azaltılması, yenilenebilir kaynakların kullanımı, toksik maddelerden arındırılmış içerik benzeri ekolojik yaklaşımların somut bir yansımaları temsil etmektedir. Modern tekstil teknolojileriyle birlikte, bu malzemeler; yeşil kimya uygulamaları, geri dönüşüm teknikleri ve düşük enerji tüketimi gibi yenilikçi yöntemlerle desteklenerek sektörde sürdürülebilir bir yapının oluşmasına katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, doğal-ekolojik tekstil malzemelerinden pamuk, yün ve keten/kenevir 'in sürdürülebilirlik açısından taşıdığı önem çok boyutlu olarak ele alınarak analiz edilmiş ve bu örnekler üzerinden bunların modern tekstil teknolojilerinde ekolojik ilkelerin uygulanabilirliği ve etkisi tartışılmıştır. Böylece sürdürülebilir tekstil için hem çevresel hem de toplumsal düzeyde yol gösterici bir perspektif sunulması hedeflenmiştir. Çalışmanın bir amacı da tekstil sanayinin mevcut durumuna sürdürülebilirlik yönüyle temas ederek onu daha yeşil hale getirmeye yönelik farkındalığı artırmaktır.

Sustainability Analysis of the Use of Natural Ecological Materials in Today's Textile Technology

ARTICLE INFO

Received: 09/04/2025

Accepted: 25/06/2025

Keywords: Natural textile materials, Ecological textile, Sustainable textile, Sustainable textile technology

DOI: 10.55979/tjse.1672116

ABSTRACT

This study analyses the sustainability of cotton, wool and flax/hemp, which are the main natural textile materials, in the context of including ecology in modern textile technology. While the textile industry is associated with many environmental and social problems such as high-water consumption, toxic chemical use and labour exploitation, it has become a necessity to analyze natural-ecological materials on the basis of sustainability. Sustainable textile understanding is directly related not only to production processes but also to material selection, product lifetime and waste management. In this context, natural-ecological textile materials represent a concrete reflection of ecological approaches such as reduction of carbon footprint, use of renewable resources, content free from toxic substances. Together with modern textile technologies, these materials contribute to the formation of a sustainable structure in the sector by supporting innovative methods such as green chemistry applications, recycling techniques and low energy consumption. In this study, the importance of cotton, wool and flax/hemp, which are natural-ecological textile materials, in terms of sustainability has been analyzed in a multi-dimensional manner and the applicability and impact of ecological principles in modern textile technologies have been discussed through these examples. Thus, it is aimed to provide a guiding perspective for sustainable textiles at both environmental and social level. Another aim of the study is to increase the awareness of the textile industry to make it greener by touching on the current situation of the textile industry in terms of sustainability.

1. Giriş

Günümüzde artan çevresel krizler, iklim değişikliği ve doğal kaynakların tükenme riski, pek çok sektörde olduğu gibi tekstil alanında da sürdürülebilirlik kavramını ön plana çıkarmıştır. Bu sebeple tüketiciler artık tekstil ürünlerini çevre dostu etiketlerle tanımak istemektedirler. Yeşil tekstilin, hammaddenin tasarımı, üretime ve lojistiğe ve bertarafı kadar yaşam döngüsü malzemelerine dayanarak uygulanabileceği ifade edilmekle birlikte

endüstriyi yeşillendirmek için temel noktaların ve parametrelerin ortaya konması gerekmektedir.

Sürdürülebilirlik; ekolojik, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç temel kategori veya boyutuyla ele alındığında, tekstil sektöründe kritik bir dönüşüm sürecine ihtiyaç olduğuna işaret etmektedir (Muthu & Gardetti, 2020). Bu dönüşüm, sadece üretim tekniklerinde değil; aynı zamanda kullanılan malzemelerin yapısında, tedarik

zincirinde ve tüketim alışkanlıklarında da köklü değişiklikleri zorunlu kılmaktadır.

Doğal-ekolojik tekstil malzemelerini değerlendirirken de yine bu üç ana sürdürülebilirlik kategorisi üzerinden analiz yapılabilir: Her bir kategori, malzemenin yaşam döngüsüne yönelik farklı risk ve fırsatları ortaya koyar (Oğurlu, 2024; Kaya & Öner, 2020).

Tekstil sektöründe sürdürülebilirlik, üretim sürecinin çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerini azaltmak için uygulanan uygulamaları ifade eder. Bu uygulamalar; ekolojik/ organik malzeme ve geri dönüştürülmüş ürün kullanma uygulamaları; ekolojik dayanmaktadır. Mesela çevre konusunda genellikle kötü örnek olarak verilen denim imalatı için bile üretim sürecinde ozon ve lazerle ağartma doğal kaynakla yıkama, amilaz enzimiyle haşıl sökme, merserizasyon ve su indirgeme teknolojileri gibi sürdürülebilir alternatifler söz konusu olabilmektedir (Eroğlu, 2023).

Tekstil sektöründe sürdürülebilirliği sağlamak, yalnızca malzeme seçimleriyle sınırlı kalmamakta; üretim teknolojilerinin yeniden yapılandırılmasını da gerektirmektedir. Modern tekstil teknolojilerinde ekolojik ilkelerin entegrasyonu, çevresel etkilerin azaltılması, enerji ve kaynak verimliliğinin artırılması ve toksik bileşenlerin kullanımının sınırlandırılması açısından temel bir adımdır (Muthu vd., 2012; Colombo vd., 2024).

Özellikle doğal ve ekolojik tekstil malzemelerinin ekolojik, ekonomik ve sosyoloji temel boyutlarında değerlendirilmesi hem üreticiler hem de tüketicilerin daha bilinçli ve etik tercihler yapmasını mümkün kılmaktadır. Bu tür bir değerlendirme; doğa üzerindeki etkiyi azaltmak, kaynakları daha verimli kullanmak ve sosyal refahı artırmak gibi sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle doğrudan ilişkilidir (Shalini vd., 2021). Tekstil sektörünün, doğal kaynakların yoğun kullanımı, kimyasal atık üretimi ve sosyal adaletsizlik gibi pek çok çevresel ve toplumsal sorunun merkezinde yer aldığı düşünüldüğünde, doğal-ekolojik malzemelerin sürdürülebilirlik temelinde analiz edilmesi artık bir tercih değil, zorunluluk hâline gelmiştir (Bouazizi, 2021).

Sürdürülebilir tekstil anlayışının temeli, yalnızca üretim süreçlerinde değil; malzeme seçiminden tüketim alışkanlıklarına kadar uzanan bütüncül bir perspektife dayanır. Bu bağlamda doğal-ekolojik tekstil malzemeleri; karbon ayak izinin azaltılması, yenilenebilir kaynak kullanımı, toksik madde içermeme gibi çevreye duyarlı yaklaşımların somut göstergeleri olarak öne çıkmaktadır (Kalkancı, 2017). Aynı zamanda modern tekstil teknolojilerinde ekolojiye yer verilmesi, yeşil kimya, geri dönüşüm teknikleri ve düşük enerji tüketimi gibi yenilikçi uygulamalarla desteklenerek sektörün sürdürülebilirlik ekseninde yeniden yapılandırılmasına katkı sağlar.

Doğal-ekolojik tekstil malzemeleri, yalnızca çevresel etkileri azaltmakla kalmayıp; aynı zamanda sosyal adalet, tüketici sağlığı ve ekonomik verimlilik gibi sürdürülebilirliğin farklı boyutlarına da olumlu katkılar sunmaktadır (Oğurlu, 2024). Pamuk, yün, keten ve

kenevir gibi doğal liflerin ekolojik, ekonomik ve sosyal açılardan çok boyutlu olarak değerlendirilmesi; üretimden tüketime kadar olan süreçlerin doğa dostu ve insan odaklı bir yapıya kavuşturulmasına hizmet etmektedir (Shalini vd., 2021). Bu lifler, biyolojik parçalanabilirlik, geri dönüştürülebilirlik ve yerel üretim şartlarına uyumları sayesinde, sentetik elyafa kıyasla daha sürdürülebilir karakterdedirler (Can & Ayvaz, 2017; Başbuğ, 2024). Ancak bu potansiyelin tam olarak hayata geçirilebilmesi için üretim altyapısından tüketici bilincine kadar uzanan bütüncül bir dönüşüm gerekmektedir.

Tekstil endüstrisinde kullanılan yeşil teknolojiyi oluşturan tekniklerin, çevresel sürdürülebilirliği sağlayabileceği bildirilmektedir (Bouazizi, 2021). Yeşil tekstilin, hammaddeden tasarıma, üretime ve lojistiğe ve bertarafı kadar yaşam döngüsü malzemelerine dayanarak uygulanabileceği ifade edilmekle birlikte endüstriyi yeşillendirmek için temel noktaların ve parametrelerin ortaya konması gerekmektedir. Mesela çevre dostu veya ekolojik ürünün tanımı ve kriterlerin belirlenmiş olmasına ihtiyaç vardır.

Genel olarak, tüm giysilerin liflerin büyümesi için suya ve kumaşı ve bitmiş giysiyi yapmak için enerjiye ihtiyaç duyduğu için %100 çevre dostu giysi diye bir giysi yoktur, denilebilir. Bununla birlikte doğal elyaftan yapılmış, doğal boyalarla organik olarak boyanmış çok az su, enerji veya kimyasal kullanan kumaşlardan yapılmış ve çevre üzerinde etkisi olumlu nitelikte olan bir giysi çevre dostu giysi olarak adlandırılabilir. Doğal lifler, mekanik dayanıklılık, hafiflik ve kullanıcı güvenliği gibi benzersiz özellikleri dolayısıyla özellikle çekicidir (Shalini vd., 2021). Elyaftan kumaş aşamasına kadar olan giysinin geliştirilmesi; insan ve çevre için zararlı karakterde birçok işlem gerektirdiği için halihazırda tekstil endüstrisinin birçok operasyonunu sürdürülemez kılmakta ve bu da ve şirketleri, çevrecileri ve tüketicileri tekstillerin karbon ayak izini azaltmak için stratejiler aramaya yöneltmektedir. Bu sebeptendir ki son zamanlarda, doğa ve çevreyi kimyasalların tehlikeli etkilerinden kurtarmak ve özellikle toprağı korumak için tekstil üretimi alanında çeşitli teknolojiler ve yenilikler geliştirilmiştir.

Ekolojik tekstilin ana malzemesi olan doğal lifler, mekanik dayanıklılık, hafiflik ve kullanıcı güvenliği gibi benzersiz özellikleri yönüyle özellikle çekicidir (Shalini vd., 2021). Doğal lif takviyeli kompozitler, ekolojik dengeyi koruyan, yenilenebilir kaynaklardan üretilen ve yüksek performanslı malzeme çözümleri sunan geleceğin malzemeleridir. Bu malzemeler, sürdürülebilir gelişmeyi destekleyerek konvansiyonel malzemelere çevreci bir alternatif oluşturur (Başbuğ, 2024).

Sürdürülebilir tekstil, pestisit ve gübre kullanmadan yetiştirilebilen pamuk, kenevir veya bambu lifleri gibi yenilenebilir kaynakları kullanarak gerçekleştirilir. Ayrıca sürdürülebilir tekstil ürünleri genellikle organik boyalar veya susuz baskı gibi çevreye zararı düşük işlemlerle imal edilirler. Bugün için sürdürülebilir tekstillerin kullanımı moda endüstrisinde büyüme trendindedir (UIB, 2023).

“Sürdürülebilir Moda”; “Eko Moda” ya da en genel tanımıyla çevreci, geri dönüştürülebilir, yüksek kaliteli ürünlerin yer aldığı moda akımı olarak tanımlanmaktadır. Moda’da sürdürülebilirlik yaklaşımının bir diğer amacı da üretilen ürünlerde yüksek kalite ve düşük üretim rakamları sağlanarak çevre dostu yeşil ürünler tedarik edilmesini sağlamak suretiyle günümüzde korkunç bir hızla tüketim çılgınlığını körükleyen moda endüstrisini yavaşlatmak olarak ifade edilebilir. Tekstil sahasında, sürdürülebilirliğin üç boyutundan Ekoloji boyutunda; antitoksik, ekoetkin, dönüştürülebilir sıfatlarla üretilen moda ürünleri; Ekonomi boyutunda; tüketici ve üreticiye değer katan ürünler; sosyal boyutunda ise ölçülü üretim ve insan sağlığına zarar vermeyen giysiler gibi modanın hayata kalite katan ürünleri üzerinde çokça durulmaktadır. (Yüksel & Gürcüm, 2011).

Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin sürdürülebilirlik açısından sunduğu avantajlar, günümüz tekstil sektörünün geleceğine yönelik önemli sinyaller vermektedir. Pamuk, yün, keten ve kenevir gibi liflerin ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutlarda değerlendirilmesi; üretimden tüketime kadar olan sürecin doğa dostu hale getirilmesine katkı sağlar (Shalini vd., 2021; Oğurlu, 2024).

Bu malzemeler; biyolojik parçalanabilirlikleri, düşük kimyasal ihtiyacı, geri dönüştürülebilirlikleri ve yerel ekonomilere katkı sağlama kapasiteleri ile sentetik malzemelere kıyasla çevre dostu bir alternatif oluşturur (Can & Ayvaz, 2017; Başbuğ, 2024). Ancak, bu avantajların sürdürülebilir bir dönüşüme katkı sunabilmesi için üretim süreçleri, tedarik zincirleri, tüketici bilinci ve mevzuat açısından kapsamlı adımlar atılması gerekir. Yerel üretim ve tedarik zincirlerini destekleyerek nakliye kaynaklı emisyonları azaltılması, tüketici farkındalığını artırmaya yönelik eğitim ve bilgilendirme çalışmaları bunlardan bazılarıdır.

Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin ekolojik, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğini analiz etmek, daha sürdürülebilir bir geleceğe doğru ilerlemek için önemlidir. Böyle bir analiz, bize bu malzemelerin çevre üzerindeki etkilerini, ekonomik faydalarını ve toplumsal sonuçlarını anlama imkânı sunar. Bu üç boyutun her biri, doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin sürdürülebilirlik açısından nasıl bir potansiyel taşıdığına dair farklı açılardan bilgi verir. Ancak bunun için bu boyutların ayrı ayrı ele alınması gerekir.

Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinden pamuk, yün ve keten veya kenevirin sürdürülebilirliğini değerlendirmede kullanılacak ölçütler, kategori ve göstergeler geliştirmek ve bunların ışığında bu üç malzemenin sürdürülebilirliklerini analiz etmek mümkündür. Bu malzemelerin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için bir çerçeve oluşturmak istendiğinde bu; ölçütler (kriterler), kategoriler ve göstergeler üzerinden yapılandırılabilir (Oğurlu, 2024).

Sürdürülebilirliği objektif biçimde değerlendirebilmek için her kategori altında ölçütler (kriterler) ve bu ölçütleri sayısallaştıran göstergeler belirlenmiş olmalıdır (Oğurlu, 2024). Bu yaklaşım hem akademik çalışmalar hem de sanayi uygulamaları için karşılaştırılabilir veriler temin eder. Bu göstergelerin kullanımı sayesinde tekstil malzemelerinin çevreye olan etkileri ölçülebilir ve sürdürülebilirlik stratejileri somut verilere dayalı olarak geliştirilebilir (Dündar, 2008; Erdem & Kurtuldu, 2019).

2. Materyal ve Metot

Araştırma; konuyla ilgili literatürün taranması, elde edilen bilgi ve bulguların analizi ve yorumlanması, ulaşılan sonuçların ifade edilmesi ve nihayet konuyla ilgili önerilerin getirilmesinden ibaret bir derleme makalenin kaleme alınması aşamalarından oluşmaktadır.

Araştırmanın dayandığı sürdürülebilir değişim parametreleri, nitel araştırma yöntemlerine göre sıralanmıştır. Araştırmanın objesi olan doğal-ekolojik tekstil malzemelerinden yün, pamuk, keten ve kenevirin, taranan kaynaklardan elde edilen nitel değerleri tablolara işlenerek bunların değerlendirmeleri yoluna gidilmiştir.

Araştırma konusu olan tekstil malzemeleri için basılı kaynaklardan fiziki taramalar yapılmıştır. Bu amaçla başlık, özet/abstractları veya anahtar kelimelerinde “Doğal Tekstil Malzeme”, “Ekolojik Tekstil”, “Sürdürülebilir Tekstil”, “Sürdürülebilir Tekstil Teknolojisi” terimleri geçen tüm kaynaklar gözden geçirilmiştir. Keza, aynı yöntem araştırmanın temel objesi olan yün, pamuk, keten ve kenevir için de yapılarak detaylı analizler yapılmıştır.

Çizelge 1. Online veri tabanları üzerinden taranan anahtar kelimeler ve sonuçları
Table 1. Keywords and results searched through online databases

Veri Tabanı	Anahtar Kelimelerde	Tüm Alanlarda	Başlıklarda	Konu Terimlerinde	Sonuç
Web of Science	Doğal ekolojik Tekstil Malzemeleri	372	-	113	485
	Sürdürülebilir Tekstil Keten, Yün, Kenevir	661	449	78	1188
	Ekolojik tekstil Kenevir VEYA yün VEYA pamuk VEYA Keten	543	5	351	899
	Sürdürülebilir Tekstil Teknolojisi	***	20	***	
EKUAL	Doğal ekolojik Tekstil Malzemeleri	3	-	10	13

Sürdürülebilir Tekstil Keten, Yün, Kenevir	4	9	31	44
Ekolojik Kenevir VEYA yün VEYA pamuk VEYA Keten	12	2	24	38
Sürdürülebilir Tekstil Teknolojisi	551			551

Doğal ve ekolojik tekstil malzemelerinin sosyal, ekonomik ve ekolojik temel sürdürülebilirlik boyutunda ele alınması hem üreticiler hem de tüketiciler açısından daha bilinçli ve etik tercihler yapılmasını mümkün kılmaktadır. Bu tür bir yaklaşım, doğa üzerindeki etkiyi azaltmak, kaynakları daha verimli kullanmak ve toplumsal refahı artırmak gibi sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle doğrudan bağlantılıdır (Shalini vd., 2021).

Araştırmanın sonucuna doğru bir şekilde ulaşılabilmesi için aşağıdaki temel sorulara cevaplar aranmıştır:

1. Yün, pamuk, keten ve kenevirin sürdürülebilirliğine ilişkin parametreler hangileridir?
2. Yün, pamuk, keten ve kenevirin sürdürülebilirliği hangi kategorilerde ele alınıp hangi göstergeler ile ölçülebilir?
3. Yün, pamuk, keten ve kenevirin tekstil üretim malzemesi olarak genel karakteri nedir?
4. Yün, pamuk, keten ve kenevirin hangi özellikleri dolayısıyla giyimde tercih edilmektedir?
5. Yün, pamuk, keten ve kenevirin ekolojik özellikleri ve sürdürülebilir tekstile uygunluğu nedir?
6. Yün, pamuk, keten ve kenevirin ekolojik sürdürülebilirliği nedir? Bunun artması için neler yapılabilir?
7. Yün, pamuk, keten ve kenevir tekstil malzemesinin ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliği nedir? Bunun artması için neler yapılabilir?
8. Yün, pamuk, keten ve kenevirin sürdürülebilirliğini engelleyen sorunlar nelerdir?
9. Yün, pamuk, keten ve kenevirin tekstil sektöründe sürdürülebilirliğine yönelik çözüm önerileri?

3. Sürdürülebilirlik Kategori Ölçüt ve Göstergeleri

Yukarıda ifade edildiği gibi sürdürülebilirliğin; ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutlar olmak üzere üç ana boyutu vardır. Bu sebeple, doğal ekolojik malzeme ve süreçlere dayalı bir tekstil faaliyetini de sürdürülebilirlik açısından

değerlendirirken üç ana boyut veya kategoride ele almak gerekecektir (Oğurlu, 2024).

Bu kategorileri, ölçütler ve göstergelerin belirlenmesindeki amaç, bunları puanlandırarak veya ağırlıklandırarak bir *Sürdürülebilirlik Skoru* veya *Sürdürülebilirlik Katsayısı* oluşturmak ve böylece ilgili malzemenin sürdürülebilirliğini nümerik olarak ifade edebilmektir.

3.1. Sürdürülebilirlik kategorileri

Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin değerlendirilmesinde öne çıkan üç ana sürdürülebilirlik kategorisi olan çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik kategorileri, malzemenin yaşam döngüsüne ilişkin farklı risk ve fırsat alanlarını kapsamlı bir biçimde ele almaya yarar (Kaya & Öner, 2020; Oğurlu, 2024).

- ❖ *Ekolojik Sürdürülebilirlik:* Doğal kaynakların korunması, ekosistem dengesinin sürdürülebilmesi ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi gibi unsurları içerir (Başbuğ, 2024). (Ekosistemi, doğayı ve doğal kaynakları koruma alanında odaklanır.
- ❖ *Ekonomik Sürdürülebilirlik:* Kaynakların verimli kullanımı, maliyet etkinliği, teknolojiye entegrasyon ve pazarlanabilirlik ve pazar erişilebilirliği gibi faktörlerle analiz edilir (Muthu & Gardetti, 2020). Teknik fizibilite, kitle üretimine /kullanıma uygunluk gibi noktalara odaklanır.
- ❖ *Sosyal Sürdürülebilirlik:* İş güvencesi, adil ücretlendirme, iş sağlığı ve güvenliği, tüketici sağlığı gibi sosyal refahı doğrudan etkileyen etmenleri kapsar (Yüksel, 2011; Demirek & Bulut, 2021). Toplum ve Kullanıcı sağlık -güvenlik -konforu alanında yoğunlaşır. Adil çalışma şartları, iş güvenliği, tüketici sağlığı, toplumsal refah ve etik üretim pratikleri bu boyutta değerlendirilir.



Şekil 1. Tekstil Endüstrisinin sosyal ve çevresel sonuçları için Çekilen Belgesel (URL1)
Figure 1. Documentary on the social and environmental consequences of Textile Industry (URL1)



Şekil 2. Hızlı modanın sosyal ve çevresel sonuçları (URL2)
Figure 2. Social and environmental consequences of fast fashion (URL2)

2015 yılında ABD'de çekilen ve insan hakları ve çevresel etkilere odaklanan “Gerçek Maliyet (The True Cost)” belgeselidir. Belgesel, Bangladeşli bir işçinin hayatını takip etmekte ve bu işçilerin giyim fabrikalarının sağladığı asgari ücreti alabilmek için yaptıkları fedakârlıkları göstermektedir (Şekil 1 ve Şekil 2) (Peeva, 2017).

3.2. Sürdürülebilirlik ölçüt ve göstergeleri

Sürdürülebilirlik kategorilerinin objektif bir şekilde değerlendirilebilmesi için, bunlardan her biri için ölçütler (kriterler) ve bunlara bağlı nicel göstergeler tanımlanmıştır. Bu yaklaşım gerek akademik araştırmalar gerekse endüstriyel uygulamalar açısından karşılaştırılabilir verilerin elde edilmesine imkân verecektir. (Oğurlu, 2024).

3.2.1. Sürdürülebilirliğin ekolojik ölçüt ve göstergeleri

Tekstil malzemelerinin Çevresel Etki boyutunda şu hususlar öne çıkmaktadır:

- ❖ *Su tüketimi:* Üretim sürecinde kullanılan su miktarını (sulama, işleme vb.) ifade eder.
- ❖ *Toprak sağlığı:* Toprak erozyonu, toprak kirliliği, biyoçeşitlilik üzerindeki etkilerle ilgilidir.
- ❖ *Enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları:* Üretim, işleme ve nakliye süreçlerinde harcanan enerji ve salınan sera gazlarıyla ilgilidir.
- ❖ *Kimyasal kullanımı:* Pestisitler, gübreler, boyalar ve diğer kimyasalların kullanımı ve bunların etkilerini ifade eder.

Atık yönetimi: Üretimden kaynaklanan atıkların miktarı ve geri dönüşüm oranlarıyla ifade edilir. Greenpeace'in Detox My Fashion kampanyası, Çin'in Tianjin kentindeki bir tesiste dahil olmak üzere tekstil üretiminde kullanılan

boya ve diğer kimyasalların yarattığı kirliliğe ve sağlık risklerine dikkat çeker (Şekil 3).



Şekil 3. Greenpeace'in Detox My Fashion kampanyası (URL3)
Figure 3. Greenpeace's Detox My Fashion campaign (URL3)

Çizelge 2. Sürdürülebilirliğin Ekolojik Ölçüt ve Göstergeleri
Table 2. Ecological Criteria and Indicators of Sustainability

Ölçüt	Gösterge
Kaynak Kullanımı	Su tüketimi (L/kg kumaş), arazi kullanımı (m ² /kg kumaş)
Kimyasal Kullanımı	Pestisit, gübre ve işlem kimyasallarının kullanımı (Pestisit miktarı, sentetik boya kullanımı, toksik madde içeriği)
Karbon Ayak İzi	CO ₂ salınımı (kg CO ₂ /kg kumaş) veya Üretim ve taşıma sürecinde CO ₂ emisyonları (kg CO ₂ /kg)
Biyçeşitliliğe Etki	Tarım veya tekstil üretim süreçlerinin habitatlar ve ekosistemlere etkisi

Bu göstergeler, tekstil malzemelerinin çevresel etkilerinin nicel olarak ölçülmesini ve bu sayede sürdürülebilirlik stratejilerinin daha etkili bir biçimde geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (Dündar, 2008, Erdem & Kurtuldu, 2019).

4. Tekstil Teknolojisinde Doğal-Ekolojik Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirliği

4.1 Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin ekolojik sürdürülebilirliği

Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği, üretim süreçlerinin doğaya zarar vermemesi, doğal kaynakların verimli kullanılması ve atıkların azaltılmasıyla doğrudan ilgilidir. Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin ekolojik sürdürülebilirliği, şu faktörlere bağlıdır:

- ❖ **Kaynak Kullanımı:** Doğal malzemeler (pamuk, yün, kenavar vb. gibi) biyolojik olarak yenilenebilir kaynaklardır ve bu malzemelerin ekolojik ayak izi genellikle sentetik malzemelere göre daha düşüktür (Kaya & Öner, 2020). Ancak, bazı doğal malzemeler

(özellikle pamuk) su ve pestisit gibi kaynakları yoğun şekilde kullanabilir. Ekolojik tekstil malzemeleri ise organik tarım yöntemleriyle yetiştirilen ham maddeler kullanılarak üretilir ve bu da çevresel etkileri azaltır.

- ❖ **Karbon Ayak İzi:** Ekolojik tekstil ürünleri genellikle daha az enerji ve su tüketimiyle üretilir, dolayısıyla karbon ayak izleri de düşer. Bununla birlikte, doğal malzemelerin işlenmesi, taşınması ve nihai ürüne dönüştürülmesi sırasında hâlâ bazı karbon emisyonları olabilir. Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin üretimi, genellikle sentetik malzemelere göre daha düşük karbon ayak izine sahiptir.
- ❖ **Biyolojik Çözünürlük:** Doğal tekstil malzemeleri, özellikle organik malzemeler (pamuk, bambu, yün, vb.), biyolojik olarak çözünebilen ve geri dönüştürülebilir oldukları için ekosistemler üzerinde daha az kalıcı etki bırakır. Mesela, doğal lifler, sentetik liflere göre biyolojik olarak daha kolay parçalanır ki bu da atık miktarını ve çevre kirliliğini azaltır (Erkan Dündar, 2008). Bununla beraber, Doğal lif takviyeli bazı kompozitlerin de ekolojik dengeyi koruma yönüyle sürdürülebilirliğe bir ölçüde hizmet ettiği bildirilmektedir (Başbuğ, 2024)
- ❖ **Hammadde üretimi:** Organik pamuk, kenavar, keten gibi doğal liflerin üretimi, konvansiyonel tekniklere göre daha az su ve kimyasal kullanımı gerektirir. Bu da toprak ve su kaynaklarının korunmasına yardımcı olur (Kaya & Öner, 2020)
- ❖ **Üretim süreçleri:** Doğal boyalar ve çevre dostu üretim teknikleri kullanılarak su ve enerji tüketimi azaltılabilir, atık miktarı düşürülebilir.

4.2 Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin ekonomik sürdürülebilirliği

Ekonomik sürdürülebilirlik, doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin pazara sunulma biçimi, üretim maliyetleri ve uzun vadeli ekonomik faydalarını içerir. Tekstil

malzemelerinin üretimde ekonomik boyut şu noktalarla şekillenmektedir:

- ❖ Hammadde tedarik malzeme üretim ve uygulama potansiyeli (Oğurlu, 2024)
- ❖ Kaynak verimliliği: Hammaddelerin ve enerjinin verimli kullanımı.
- ❖ Uzun ömürlülük ve dayanıklılık: Ürünlerin kullanım ömrü ve kalitesi.
- ❖ Malzeme yaşam döngüsü
- ❖ Yenilikçilik ve teknoloji: Sürdürülebilir üretim yöntemleri ve teknolojilerinin kullanımı.

Şu hâlde ekonomik sürdürülebildiğin ölçüt ve göstergeleri Çizelge 3'deki gibi gösterilebilir:

Çizelge 3. Ekonomik sürdürülebildiğin ölçüt ve göstergeleri

Table 3. Criteria and indicators of economic sustainability

Ölçüt	Göstergeler
Üretim Maliyeti	Ham madde maliyeti (TL/kg), işleme maliyetleri
Enerji Verimliliği	Üretimde kullanılan enerji miktarı (kWh/kg)
Pazar Talebi ve Rekabetçilik	Malzemenin tekstil sektöründeki talebi
Yaşam Döngüsü Maliyeti	Kullanım ömrü, bakım gereksinimi

Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin ekonomik sürdürülebilirliği şu faktörlere bağlıdır:

- ❖ *Maliyet:* Doğal-ekolojik malzemelerin üretimi, konvansiyonel malzemelere göre daha maliyetli olabilir. Ancak, artan talep ve teknolojik gelişmelerle birlikte maliyetlerin düşmesi beklenmektedir.
- ❖ *Üretim Maliyetleri:* Doğal ve ekolojik tekstil malzemelerinin üretim süreci bazen konvansiyonel malzemelere kıyasla daha pahalı olabilir. Mesela, organik pamuk yetiştiriciliği, kimyasal gübre ve ilaç kullanımının yasaklanması dolayısıyla daha fazla emek ve bakım gerektirebilir. Ancak, bu maliyet artışı, daha düşük çevresel etkiler ve daha az su tüketimi gibi faydalarla dengelenebilir.
- ❖ *Pazar Talebi ve Fiyatlar:* Ekolojik tekstil ürünlerine yönelik artan talep, bu tür malzemelerin ekonomik

sürdürülebilirliğini destekler. Tüketiciler arasında çevre dostu ve etik üretim tercihleri arttıkça, ekolojik malzemelerle üretilen ürünlerin pazar payı da büyümektedir. Bu, daha geniş çapta üretim ve inovasyon ile maliyetlerin zamanla düşmesine yardımcı olabilir. Tüketicilerin çevre bilincinin artmasıyla birlikte, doğal-ekolojik tekstil ürünlerine olan talep de artmaktadır. Bu da üreticiler için yeni pazarlar ve fırsatlar yaratmaktadır (URL1).

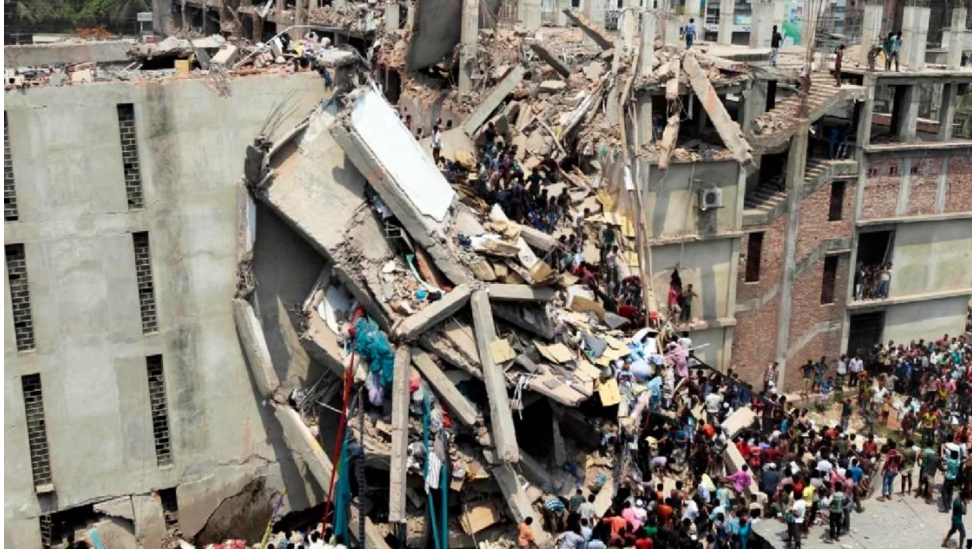
- ❖ *İstihdam Yaratma:* Ekolojik tekstil üretimi, özellikle organik tarım ve geri dönüşüm gibi alanlarda daha fazla iş gücü gerektirir. Bu da yerel ekonomi ve istihdam için olumlu bir etki yaratabilir. Ayrıca, çevre dostu üretim yöntemlerinin benimsenmesi, sürdürülebilir teknoloji ve yeniliklere yönelik yatırımları teşvik eder.
- ❖ *Yerel ekonomi:* Doğal-ekolojik tekstil üretimi, yerel ekonomilere katkıda bulunabilir, özellikle kırsal bölgelerde istihdam yaratabilir.

4.3. Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin sosyal sürdürülebilirliği

Sosyal sürdürülebilirlik, doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin toplum üzerindeki etkileri, işçi hakları, adil ticaret ve toplum sağlığı gibi konuları içerir. Tekstil malzemelerinin üretim ve sürecine ait sosyal boyutunu gösterebilmek için şu noktalar üzerinde durmak gerekmektedir:

- ❖ *Çalışma şartları:* Adil ücretler, güvenli çalışma ortamları, çocuk işçiliği gibi konular.
- ❖ *Yerel topluluklar üzerindeki etkiler:* Toprak hakları, su kaynaklarının paylaşımı, yerel ekonomik kalkınma.
- ❖ *Tedarik zinciri şeffaflığı:* Üretim sürecinin her aşamasının izlenebilirliği.

2013 yılında Bangladeş'te bir fabrika çöktü ve 1,125 kişi hayatını kaybetti. Bu, tekstil hazır giyim tarihindeki en ölümcül fabrika kazasıdır (Şekil 4). Sektör içinde ve sektör hakkında büyük bir tartışmaya neden olur. Politikacılar, insan hakları aktivistleri ve örgütleri fabrika işçilerinin haklarını koruyan politikalar oluşturmak için bir araya gelir ancak bunun etkileri sınırlı kalır (Yardley, 2013).



Şekil 4. Bangladeş'te Çöken Tekstil ve Hazır Giyim Fabrikası (URL2)

Figure 4. Collapsed Textile and Garment Factory in Bangladesh (URL2)

Şu hâlde, ihtiyaç duyulan ölçüt ve göstergeleri Çizelge 3'teki şekliyle göstermek mümkündür.

Çizelge 4. Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin sosyal sürdürülebilirlik ölçüt ve göstergeleri

Table 4. Social sustainability criteria and indicators of natural-ecological textile materials

Ölçüt	Göstergeler
Çalışma Şartları	İşçilerin ücret ve çalışma şartları
Yerel Ekonomiye Katkı	Küçük çiftçilerin desteklenmesi, adil ticaret oranı
Sağlık ve Güvenlik	Çalışanlar ve tüketiciler üzerindeki sağlık etkileri
Tüketici Tercihleri	Organik sertifikalar, etik tüketim oranı

Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin sosyal sürdürülebilirliği, şu faktörlere bağlıdır:

- ❖ **Çalışma şartları:** Doğal-ekolojik tekstil üretiminde, adil çalışma şartları ve işçi haklarına saygı gösterilmesi önemlidir.
- ❖ **Toplumsal etkiler:** Doğal-ekolojik tekstil üretimi, yerel toplulukların refahını artırabilir, özellikle kadınların ve dezavantajlı grupların ekonomik güçlenmesine katkıda bulunabilir.
- ❖ **Tüketici bilinci:** Tüketicilerin çevre ve sosyal sorumluluk konularında bilinçlenmesi, doğal-ekolojik tekstil ürünlerine olan talebi artırarak sosyal sürdürülebilirliğe katkıda bulunur.
- ❖ **Adil Ticaret ve İşçi Hakları:** Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin üretimi, adil ticaret ilkelerine dayalı olabilir. Özellikle organik tarımda, işçi haklarına ve güvenliğine özen gösterilmesi, düşük ücretli işçi emeklerinin sömürülmesinin engellenmesi hedeflenir. Bu, toplumda daha adil bir gelir dağılımı sağlanmasına katkı sunar.
- ❖ **Sağlık ve Güvenlik:** Doğal malzemeler, genellikle kimyasal boyalar, pestisitler ve diğer zararlı maddeler içermez. Bu hem üretim aşamasındaki işçiler hem de

nihai tüketiciler için daha sağlıklı bir seçenek sunar. Organik kumaşlar, alerjenlere karşı duyarlı olan bireyler için de güvenli olabilir.

- ❖ **Toplumun Çevre Bilinci:** Ekolojik tekstil ürünleri, toplumda çevre bilincinin artmasına yardımcı olabilir. Tüketiciler, sürdürülebilir malzemelere yönelerek, çevreye olan etkilerini azaltmaya çalışır. Bu da sosyal sorumluluk bilincinin yaygınlaşmasına ve daha yeşil bir toplum yapısının oluşmasına katkı sağlar.

5. Pamuk, Yün ve Keten/Kenevir 'in Karşılaştırmalı Sürdürülebilirlik Analizi

Doğal liflerin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi, yaşam döngüsü analizi (LCA) yöntemleriyle yapılmakta ve bu yaklaşım gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Söz konusu analizler, çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri bir arada ele alarak, tekstil sektöründe kullanılan doğal liflerin doğa ve toplum üzerindeki etkilerini ölçmeyi ve böylece çevresel, ekonomik ve sosyal etkiler açısından pamuk, yün, keten ve kenevir gibi yaygın doğal liflerin üretim süreçlerini ve kullanım potansiyellerini kapsamlı şekilde değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır (Muthu vd., 2012; Colombo vd., 2024).

Pamuk, yün, keten ve keneviri ekolojik göstergelere göre karşılaştırmak mümkündür. Mesela Pamuk: Yüksek su tüketimi ve pestisit kullanımı sebebiyle çevresel açıdan sorunlu olabilir, ancak organik üretim yöntemleriyle daha sürdürülebilir hale getirilebilir. Yün, uzun ömürlü ve biyolojik olarak parçalanabilir, ancak hayvancılığın karbon ayak izi yüksektir. Keten ve Kenevir ise daha az su ve kimyasal gerektirir, dayanıklıdır ve biyolojik olarak parçalanabilir (biyo bozunur). Ancak işleme maliyetleri ve pazardaki erişilebilirlikleri farklıdır.

5.1. Pamuk

Pamuk, dünya tekstil sektöründe en yaygın kullanılan doğal liflerden biridir. Ancak konvansiyonel pamuk üretimi; su tüketimi, yoğun kimyasal kullanımı ve toprak bozulması gibi önemli çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Özellikle su tüketimi ve pestisit kullanımı pamuk tarımının en büyük çevresel sorunları arasındadır.

- ❖ *Yüksek Su Tüketimi:* 1 kilogram pamuk üretimi için yaklaşık 10.000 litre suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu rakam, özellikle su kaynakları sınırlı olan bölgelerde üretim baskısını artırmaktadır (Kalkancı, 2017; La Rosa & Grammatikos, 2019).
- ❖ *Pestisit ve Gübre Kullanımı:* Küresel pestisit kullanımının yaklaşık %10'unun pamuk tarımına ait olduğu bildirilmektedir. Bu durum hem toprak hem de yeraltı su kaynaklarının kirlenmesine yol açmaktadır (Erdem & Kurtuldu, 2019).
- ❖ *Toprak Bozulması:* Sürekli aynı arazide pamuk tarımı yapılması, monokültür uygulamaları yüzünden toprak kalitesini düşürmekte ve biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir (Yıldırım, 2011). Konvansiyonel pamuk üretiminin yüksek su tüketimi, pestisit kullanımı ve toprak erozyonuna neden olduğu bilinmektedir. Organik pamuk üretimi ise daha sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır.
- ❖ *Geri dönüştürülmüş pamuk kullanımı da sürdürülebilirlik yönünden faydalı bir seçenektir.*

Ancak, organik pamuk üretimi bu etkilerin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Kimyasal gübre ve sentetik pestisit kullanımının engellenmesi sayesinde çevresel ayak izi ciddi oranda düşmektedir (Muthu & Gardetti, 2020). Aynı şekilde geri dönüştürülmüş pamuk, atık yönetimi ve döngüsel ekonomi hedefleri açısından sürdürülebilir bir alternatiftir (Colombo vd., 2024). Aynı zamanda geri dönüştürülmüş pamuk ürünleri, döngüsel ekonomi prensipleri doğrultusunda atıkların yeniden değerlendirilmesine de imkân vermektedir (Colombo vd., 2024).

5.2. Yün

Yün, doğal olarak biyolojik olarak çözünebilen, uzun ömürlü ve yüksek yalıtım değerlerine sahip bir lifdir. Ancak üretimi sırasında sera gazı salımı, özellikle metan gazı dolayısıyla çevresel anlamda dikkatle değerlendirilmelidir.

- ❖ *Biyolojik Parçalanabilirlik:* Doğal ortamda, yün lifleri 3-4 ay içerisinde tamamen parçalanabilmektedir (Başbuğ, 2024).
- ❖ *Yenilenebilirlik:* Koyunlardan yılda bir ya da iki kez kırılarak elde edilen yün, kendini sürekli yenileyebilen bir kaynaktır.

- ❖ *Karbon Ayak İzi:* Yün üretimi hayvancılığa dayandığından, özellikle metan gazı salımı sebebiyle karbon ayak izi yüksektir (Cardoso, 2013). Yün, doğal ve yenilenebilir bir kaynak olmasına rağmen, bazı üretim yöntemleri (aşırı otlatma, kimyasal işleme) çevresel sorunlara yol açabilir.
- ❖ *Sertifikalı sürdürülebilir yün üretimi:* hayvan refahını ve çevresel etkileri dikkate almaktadır. Sürdürülebilir yün tedarikini teşvik etmek amacıyla geliştirilen RWS gibi uluslararası sertifikalar hem hayvan refahı hem de çevresel kriterlerin karşılanmasını amaçlamaktadır.

5.3. Keten ve kenevir

Keten (flaks) ve kenevir, son yıllarda tekstil sektöründe sürdürülebilirlik arayışlarının odak noktasına yerleşen doğal liflerdir. Bu liflerin yetiştirme süreçleri, pamuk ve yüne kıyasla çok daha az çevresel etkiye sahiptir (Van der Werf & Turunen, 2008; Colombo vd., 2024).

Özellikle kimyasal gübre ve pestisit gerektiren diğer liflerin aksine kenevir lifi doğal olarak böceklerle direnir ve toprağı havalandırır. Temiz büyümesi ve biyolojik olarak parçalanabilir olması sayesinde kenevir lifleri ekolojik açıdan önemli avantajlara sahiptir (Demirbek & Bulut, 2021).

- ❖ *Düşük Su Tüketimi:* Keten ve kenevir; düşük su tüketimi ve pestisit ihtiyacı dolayısıyla genellikle daha sürdürülebilir malzeme olarak kabul edilir. Pamukla karşılaştırıldığında keten ve özellikle kenevir çok daha az suya ihtiyaç duyar. Kenevir, yarı kurak iklim şartlarında dahi yüksek verimle yetiştirilebilir (La Rosa & Grammatikos, 2019).
- ❖ *Düşük Kimyasal Kullanımı:* Kenevir bitkisi doğal olarak haşerelere karşı dayanıklıdır ve bu nedenle pestisit kullanımını en aza indirir (Van Dam & Bos, 2004). Ancak, işleme süreçlerindeki enerji tüketimi ve kimyasal kullanımı değerlendirilmelidir.
- ❖ *Toprak Kalitesi Üzerindeki Etkisi:* Kenevir, yetiştığı toprağı iyileştirme özelliğine sahiptir. Derin kök yapısı sayesinde toprak havalanmasını sağlar ve erozyonu önler (Mariz vd., 2024).
- ❖ *Yüksek Verim ve Geri Dönüşüm:* Kenevirin hektar başına ürettiği lif miktarı pamuktan 2-3 kat fazladır. Ayrıca işlenmesi için daha az enerjiye ihtiyaç duyar (González-García vd., 2010).

5.4. Karşılaştırmalı Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi

Doğal ekolojik başlıca tekstil malzemelerinin mukayeseli değerlendirmesi Çizelge 4'de gösterilmektedir.

Çizelge 5. Karşılaştırmalı Sürdürülebilirlik Değerlendirme Tablosu

Table 5. Comparative Sustainability Assessment Table

Malzeme	Su Tüketimi	Kimyasal Kullanımı	Karbon Ayak İzi	Dayanıklılık	Biyolojik Parçalanabilirlik
Pamuk	Yüksek	Yüksek (organik hariç)	Orta	Orta	Yüksek
Yün	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Keten	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
Kenevir	Çok Düşük	Çok Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek

6. Modern Tekstil Teknolojisinde Ekolojiye Yer Vermek (Ekolojik Tekstil Yaklaşımlarının Modern Tekstil Teknolojilerine Entegrasyonu)

Konvansiyonel tekstil ürünleri ekolojik malzeme ile yapılmaktaydı. Ekolojik malzemelere modern tekstil üretim tekniklerinde de neden yer vermeyelim, sorusu akla gelmektedir.

Modern üretim teknikleriyle faaliyet gösteren tekstil sektöründe ekolojiye yer verilmesi; ekolojik malzeme, ekolojik boya ve kumaş terbiye işlemlerinde ekolojik maddelerin kullanılmasıyla başarılabılır. Bununla birlikte, üretimin istenen ölçüde ve boyutta ekolojik olması önünde genellikle ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlikle ilişkili bazı engeller bulunmaktadır. Modern tekstil üretim tekniklerinde ekolojik malzemelere daha fazla yer verilememesinde çeşitli faktörler etkili olmaktadır. Bunları sıralamak gerekirse:

- ❖ **Maliyet ve Verimlilik:** Ekolojik malzemelerin üretimi, sentetik alternatiflere göre daha maliyetli olabilir. Konvansiyonel tekstil ürünlerinde kullanılan bazı ekolojik malzemeler, modern sentetik malzemelere kıyasla genellikle daha pahalıdır. Ekolojik malzemelerin üretim süreçleri, kimyasal malzemelere kıyasla daha az verimli olabilir ve bu da üretim maliyetlerini artırır. Modern tekstil sanayisi genellikle büyük ölçekli ve düşük maliyetli üretimi hedeflediğinden, bu tür malzemelere daha az yer verilir.
- ❖ **Üretim Kapasitesi, Üretim Hızları ve Ölçek:** Modern tekstil üretimi, hızlı tüketim ve hızlı üretim süreçleriyle tanınır. Ekolojik malzemelerin çoğu, daha uzun üretim süreçlerine ve daha dikkatli işleme ihtiyaç duyabilir. Bu da büyük üretim hacimlerine ulaşmak için gerekli hızda ve düşük maliyetle üretim yapmayı zorlaştırabilir. Ekolojik malzemelerin üretimi için gerekli altyapı ve teknoloji, sentetik malzemeler kadar yaygın değildir.
- ❖ **Performans ve Dayanıklılık:** Bazı ekolojik malzemeler, modern tekstil ürünlerinde kullanılan sentetik malzemelerle karşılaştırıldığında, dayanıklılık ve uzun ömür açısından geride kalabilir. Mesela, ekolojik kumaşlar bazen daha kolay kırışabilir veya aşınabilir. Bu da özellikle performans gerektiren ürünlerde (spor giyim, dış giyim gibi) ekolojik malzemelerin tercih edilmemesine yol açabilir.

- ❖ **Eğitim ve Bilgi Eksikliği:** Modern üretim tekniklerinde kullanılan ekolojik malzemelerin çoğu, konvansiyonel yöntemlere göre farklı üretim bilgisi ve uzmanlık gerektirir. Bu malzemelerin işlenmesi ve işlevsel hale getirilmesi için özel bilgi ve deneyim gereklidir, ancak bu bilgi genellikle sektörde yaygın değildir.
- ❖ **Teknolojik Yetersizlikler:** Ekolojik malzemelerle yapılan üretim, belirli teknolojik alt yapıları gerektirebilir. Mesela, organik pamuk veya bambu gibi malzemelerin işlenmesi, sentetik malzemelere göre farklı teknikler gerektirir. Mevcut makineler ve altyapılar, bu tür malzemeleri işlemek için yeterli olmayabilir veya mevcut makinelerin modifikasyonları maliyetli olabilir.
- ❖ **Tüketici Talebi ve Bilinç:** Modern toplumlarda genellikle tüketicilerin talebi hızlı moda ve düşük fiyatlar üzerine yoğunlaşmıştır. Ekolojik malzemeler genellikle daha pahalı ve özel ürünler olarak görülür, bu yüzden geniş tüketici kitlesi tarafından tercih edilmemesi, üreticilerin bu malzemelere daha az yönelmesine neden olabilir. Ekolojik ürünlere olan talep artsa da, hala konvansiyonel ürünlere göre daha az tercih edilmektedir.
- ❖ **Hammadde Tedarikinde Yaşanan Sorunlar:** Üretim kapasitesinin yeterli olmaması ve tüketici talebinin artmasıyla birlikte hammadde tedarikinde sorunlar yaşanmaktadır.

6.1. Modern tekstil üretiminde kullanılan ekolojik malzemelerin kullanım alanları ve avantajları

6.1.1. Modern tekstil üretiminde kullanılan doğal - ekolojik malzemeler

- ❖ **Organik Pamuk:** Pestisit ve sentetik gübre kullanılmadan yetiştirilen organik pamuk, çevre ve insan sağlığına duyarlı bir seçenektir.
- ❖ **Kenevir:** Hızlı büyüyen ve az su tüketen kenevir, dayanıklı ve çevre dostu bir lif kaynağıdır.
- ❖ **Bambu:** Ülkemize ithal edildiği için ekolojik sayılmayan Bambu, doğal antibakteriyel özelliklere sahip olan bambu, yumuşak ve nefes alabilen bir kumaş üretimi için idealdir.

6.1.2. Modern tekstil üretiminde ekolojik malzeme kullanmanın avantajları

Ekolojik tekstil malzemelerinin, sentetik alternatiflere kıyasla daha az su ve enerji tüketimiyle üretilip, toprak ve su kirliliğine yol açmaması, doğal liflerin, alerjik reaksiyon riskini azaltması ve ciltle uyumlu olduğu için daha sağlıklı bir kullanım sunması ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen ekolojik malzemelerin doğal dengenin korunmasına katkıda bulunmasıdır. Ne var ki sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için yalnızca doğal veya ekolojik tekstil malzemelerinin kullanımı yeterli değildir. Aynı zamanda bu malzemelerin işlenme biçimleri, üretim teknolojileri ve üretim sonrası süreçlerin de çevresel etkiler göz önünde bulundurularak yeniden tasarlanması gerekmektedir (Muthu vd., 2012). Bu noktada “yeşil teknoloji”, “döngüsel ekonomi” ve “ekoverimlilik” yeşil kimya, dijital üretim teknikleri, döngüsel ekonomi prensipleri ve biyobazlı kavramları ve bu yöndeki çözümler öne çıkmaktadır (Bouazizi, 2021).

6.2. Yeşil teknoloji ve uygulamaları

6.2.1. Yeşil kimya ve sürdürülebilir boyama teknikleri

Konvansiyonel tekstil boyama süreçleri, tekstil endüstrisindeki su tüketiminin yaklaşık %20'sini oluşturmakta ve çevreye salınan kimyasal atıkların önemli bir kaynağını meydana getirmektedir (Muthu & Gardetti, 2020).

- ❖ *Bitkisel Boyama:* Doğal bitki bazlı boyar maddeler, toksik kimyasalların kullanımını azaltarak çevre ve insan sağlığı açısından daha güvenli bir üretim imkanı sağlar.
- ❖ *Enzimatik Boyama:* Enzimler ile yapılan düşük sıcaklıklı boyama süreçleri, enerji ve su kullanımını azaltırken aynı zamanda renk sabitleyici katkılara olan ihtiyacı düşürür (Shalini vd., 2021).
- ❖ *Süperkritik CO₂ Teknolojisi:* Bu yöntemde boyama işlemi su yerine süperkritik hâle getirilmiş karbondioksit ile gerçekleştirilir. Böylece hem su kullanımı sıfırlanır hem de atık su oluşmaz (La Rosa & Grammatikos, 2019).

6.2.2. Dijital tekstil baskı teknolojileri

Dijital baskı sistemleri, konvansiyonel rotasyonel baskılara göre hem çevreye hem de üretim maliyetlerine daha az yük bindirir. Özellikle küçük parti üretimlerinde yüksek verimlilik ve düşük atık avantajı sunar.

- ❖ *DTG (Doğrudan Kumaşa Baskı):* Kumaş üzerine doğrudan dijital baskı yapılması sayesinde su tüketimi %80'e kadar azaltılabilmektedir (Colombo vd., 2024).
- ❖ *Kimyasal Atık Azalımı:* Dijital baskı mürekkeplerinin kontrollü kullanımı, gereksiz kimyasal sarfiyatını önler ve atık miktarını minimize eder.

6.2.3. Geri dönüşüm ve döngüsel ekonomi uygulamaları

Döngüsel ekonomi, kaynakların mümkün olduğunca uzun süre kullanımda kalmasını hedefleyen bir sistemdir. Bu sistemde ürünler, ömrünü tamamladıktan sonra tekrar üretim sürecine dâhil edilerek çevresel etki azaltılır (Eroğlu, 2023).

- ❖ *Tüketim öncesi dönüşüm:* Üretim sırasında ortaya çıkan atık kumaş ve ipliklerin geri kazanılarak yeniden üretime katılması.
- ❖ *Tüketim sonrası dönüştürme:* Tüketim sonrası ürünlerin (Mesela kullanılmış kıyafetlerin) toplanarak ayrıştırılması ve yeniden iplik hâline getirilmesi (Can & Ayvaz, 2017).
- ❖ *Yaşam döngüsünün dikkate alınması:* Ürün tasarımı aşamasından kullanım sonrası bertaraf sürecine kadar tüm çevresel etkilerin hesaplanması esasına dayanır (Muthu vd., 2012).
- ❖ *Örnek:* Adidas & Stella McCartney iş birliğiyle geliştirilen %100 geri dönüştürülebilir spor giyim koleksiyonları, döngüsel ekonomiye dair başarılı örneklerden biridir (Şekil 5).



Şekil 5. Adidas & Stella McCartney Döngüsel Ekonomi İş Birliği
Figure 5: Adidas & Stella McCartney Circular Economy Collaboration

6.2.4. Akıllı ve biyo-temelli elyaf

Yeni nesil tekstil lifleri, yalnızca sürdürülebilirliği değil; aynı zamanda kullanıcı deneyimini de artıran işlevsel özellikler sunmaktadır.

- ❖ *Biyo-bazlı Elyaf:* Mısır nişastası, şeker kamışı gibi kaynaklardan elde edilen PLA ve PHA gibi biyoplastikler doğada çözünebilir ve karbon ayak izi düşüktür (Van der Werf & Turunen, 2008).
- ❖ *Mikrokapsülleme:* Kumaşa entegre edilen mikrokapsüller, UV koruması, anti-bakteriyel özellikler veya nem emici işlevler sunarak tekstil ürünlerini daha işlevsel kılar.
- ❖ *Hibrit Elyaf:* Doğal ve sentetik liflerin harmanlanmasıyla hem dayanıklılık hem de çevresel etki bakımından optimum çözümler sağlanabilir (Bouazizi, 2021).

6.2.5. Tedarik zinciri ve lojistikte karbonsuzlaşma

Sürdürülebilirlik yalnızca üretim süreçlerini değil; aynı zamanda hammadde tedarikinden ürünün nihai kullanıcıya ulaşmasına kadar geçen tüm aşamaları kapsar.

- ❖ *Karbon Ayak İzi Hesaplaması:* Lojistik süreçlerde düşük emisyonlu taşıma yöntemlerinin tercih edilmesi ve karbon dengeleme projeleri ile desteklenmesi (Eroğlu, 2023).
- ❖ *Blok zinciri Tabanlı İzlenebilirlik:* Her ürünün hammaddeden müşteriye kadar izlenebilir olması, çevresel etkiyi azaltırken şeffaf üretim anlayışını da güçlendirir.

Uluslararası Sertifikasyonlar: GOTS, OEKO-TEX, Fair Wear gibi belgelendirme sistemleri; çevre, işçi sağlığı ve tüketici güvenliği açısından önemli standartları tanımlar (Muthu, 2012).

7. Tartışma

Modern tekstil üretiminde ekolojik malzeme kullanmanın avantajları arasında; Ekolojik tekstil malzemelerinin-sentetik alternatiflere kıyasla- daha az su ve enerji harcanarak üretilip toprak ve su kirliliğine yol açmaması, doğal liflerin, alerjik reaksiyon riskini azaltması ve ciltle uyumlu olduğu için daha sağlıklı bir kullanım sunması, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen ekolojik malzemelerin doğal dengenin korunmasına katkıda bulunması gibi hususlar öne çıkmaktadır.

Pamuk, tekstil sanayisinde en yaygın kullanılan doğal liflerden biri olmasına karşın, konvansiyonel üretim süreçleri ciddi çevresel yükler oluşturmaktadır. Özellikle su tüketimi ve pestisit kullanımı pamuk tarımının en büyük çevresel sorunları arasındadır.

Yün, biyolojik olarak doğada çözünebilir, uzun ömürlü ve yüksek yalıtım kapasitesine sahip bir doğal lifdir. Ancak üretim sürecinde ortaya çıkan sera gazı emisyonları dikkatle ele alınmalıdır.

Keten (flaks) ve kenevir, sürdürülebilir tekstil arayışında öne çıkan alternatif doğal liflerdir. Düşük çevresel etkileri, verimli yetiştirme özellikleri ve geri dönüşüm

imkanı, bu lifleri pamuk ve yün karşısında avantajlı kılmaktadır (Van der Werf & Turunen, 2008; Muthu vd., 2012). Ancak, kenevirin işlenmesine yönelik teknolojilerin henüz sınırlı seviyede gelişmiş olması, bu lifi yaygınlaştırma konusunda bazı lojistik ve maliyet engelleri oluşturmaktadır.

Ekolojik yaklaşımların modern tekstil teknolojilerine entegrasyonu konusunda *yeşil kimya ve sürdürülebilir boyama teknikleri*'ne ve *dijital tekstil baskı teknolojileri*'ne başvurulabilir. Çünkü, konvansiyonel tekstil boyama işlemleri, su ve kimyasal madde tüketimi açısından en yoğun süreçlerden biridir. Ancak yeşil kimya prensipleri doğrultusunda geliştirilen çevre dostu boyama yöntemleri, bu etkileri önemli ölçüde azaltmaktadır. Keza, dijital baskı sistemleri, konvansiyonel rotasyonel baskı tekniklerine göre çok daha az su, boya ve enerji gerektirmekte, ayrıca baskı sırasında oluşan atık miktarı da minimum seviyede kalmaktadır.

Ekolojinin tekstil sektörüne entegrasyonu konusunda *geri dönüşüm ve döngüsel ekonomi uygulamaları, akıllı ve biyo-temelli elyaflar* da iki diğer çözümü oluşturmaktadır. Döngüsel ekonomi yaklaşımı, tekstil ürünlerinin üretimden tüketime ve yeniden kullanıma kadar olan sürecinin kapalı bir sistemde döndürülmesini, yeni nesil lif teknolojileri, çevresel sürdürülebilirliği ileri işlevsellik ile birleştirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, sürdürülebilirliğin temel taşlarından biri de üretim sürecinin her aşamasında karbon salımının azaltılması olduğu için, bu bağlamda tedarik zinciri ve lojistikte karbonsuzlaşma da önem arz eden çözümler oluşturmaktadır.

Ekolojik tekstil üretiminin yaygınlaşmasının önündeki başlıca engeller arasında; Yüksek maliyetler, teknolojik altyapı eksiklikleri, yetersiz tüketici farkındalığı ve eğitim ve teşvik mekanizmalarının sınırlılığı yer almaktadır (Kalkancı, 2017; Bouazizi, 2021). Ancak bu zorluklara rağmen, artan çevresel farkındalık, karbon ayak izi ölçüm sistemlerinin yaygınlaşması, sürdürülebilir moda hareketleri ve GOTS, OEKO-TEX gibi küresel sertifikasyon sistemlerinin güç kazanması, sektör için önemli dönüşüm fırsatları yaratmaktadır (UIB, 2023).

8. Sonuç ve Öneriler

Geçmişte konvansiyonel tekstil ürünlerinde ekolojik malzemelerin yaygın olarak kullanılması, doğal kaynaklara daha kolay erişim ve sentetik alternatiflerin sınırlı olması sebebiyle idi. Bugün, sürdürülebilirlik şartları sağlandığı takdirde modern tekstil üretiminde de ekolojik malzemelere yer vermek mümkündür.

Ekolojik malzemelerin modern tekstil üretiminde yaygın olarak kullanılmaması, birçok ekonomik, teknik ve tüketici davranışına dayalı zorluklardan kaynaklanmaktadır. Ancak, sürdürülebilirlik ve çevresel farkındalık arttıkça, bu malzemelere yönelik talep ve üretim süreçleri zamanla değişebilir. modern tekstil üretiminde ekolojik malzemelere yer vermek mümkündür ve giderek önem kazanmaktadır. Ancak, bu geçişin sağlanması için tüm paydaşların işbirliği ve çabası gerekmektedir.

Doğal-ekolojik tekstil malzemeleri, ekolojik, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak, bu malzemelerin sürdürülebilirliğini tam olarak sağlamak için, tüm üretim boyunca dikkatli bir şekilde yönetilmesi ve sürekli iyileştirme çabaları gerekmektedir.

Doğal-ekolojik tekstil malzemelerinin ekolojik, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliği, çok boyutlu bir konu olduğu görülmektedir. Çevre dostu üretim yöntemleri, iş gücü ve yerel ekonomiler için olumlu etkiler yaratırken, ürünlerin maliyetleri ve üretim zorlukları gibi bazı zorluklar da bulunmaktadır. Ancak uzun vadede bu malzemelerin çevresel, ekonomik ve toplumsal faydaları, konvansiyonel tekstil üretim yöntemlerine göre çok daha fazla potansiyele sahip görünmektedir.

Doğal-ekolojik tekstil malzemeleri, çevreye duyarlı üretimin ve etik tüketimin önünü açan stratejik bir alandır. Bu alandaki dönüşüm; yalnızca üreticilerin değil, aynı zamanda tüketicilerin, kamu otoritelerinin, akademik çevrelerin ve sivil toplumun birlikte hareket etmesini gerektirmektedir.

Tekstil sektörü, sürdürülebilirlik ilkesini yalnızca bir trend değil; yaşanabilir bir gelecek için bir zorunluluk olarak benimsemelidir. Gerek çevresel krizin derinliği, gerekse sosyal sorumluluk bilincinin artışı; doğal-ekolojik liflerin kullanımını yaygınlaştırmayı hem etik hem de ekonomik bir öncelik hâline getirmiştir.

Her türlü önleyici tedbir alınmalı ve ekosistemin dengesini koruyabilen ve nihai tekstil ürününü toksik etkilere arındıran teknolojiler geliştirilmelidir (Shalini vd., 2021). Ürün tasarım aşamasından başlayarak, hammadde seçimi, işleme ve üretim kararları, nakliye, perakende ve atık yönetimi, tekstil ve giyim üretimini daha çevre dostu hale getirmek için en önemli faktörlerdir. Tekstil endüstrisinde kullanılan teknoloji çerçevesinde, doğal-ekolojik tekstil materyalin, çevre ve insan sağlığını koruyan sürdürülebilir malzemeler olarak kullanılmasının mümkün olduğu sonucuna ulaşılmaktadır (Bouazizi, 2021). Tekstil sektörüyle birlikte sürdürülebilir kalkınmayı esas alan bütün sektörlerde doğal-ekolojik malzemeni daha yaygın kullanılması sağlanmalıdır (Demirbek & Bulut, 2021).

Doğal-ekolojik tekstil malzemeleri, çevresel etkileri azaltmak ve sosyal sorumluluğu güçlendirmek açısından önemli bir geleceği işaret etmektedir. Ancak bu dönüşümün gerçekleşmesi için yalnızca üreticilerin değil, tüketicilerin, kamu otoritelerinin ve akademik kurumların da koordineli bir şekilde hareket etmesi şarttır. Tekstil endüstrisinde sürdürülebilirlik, sadece moda değil, aynı zamanda yaşanabilir bir dünya için stratejik bir zarurettir. Pratiğe yönelik çözüm önerileri olarak şunlar planlanabilir:

a. Tekstil sanayiinde sürdürülebilirlik: Sürdürülebilir Tekstil ilkesi benimsenmelidir. Tekstil sektöründe sürdürülebilirlik ilkelerinin benimsenmesi ve ekolojik üretim tekniklerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir.

b. Politika ve Teşvik Mekanizmaları: Ekolojik malzemelerin üretimini teşvik etmek için devlet destekleri ve teşvikler sağlanmalıdır. Ekolojik tekstil üretimi için devlet destekli teşvikler, Ar-Ge hibeleri ve vergi avantajları sunulmalı; küçük ve orta ölçekli üreticilerin erişimi kolaylaştırılmalıdır (Demirbek & Bulut, 2021).

c. Eğitim ve Bilinçlendirme: Tüketicilerin bilinçlendirilmesi ve ekolojik ürünlere olan talebin artırılması için kampanyalar düzenlenmelidir. Hem üreticilere hem de tüketicilere yönelik sürdürülebilirlik eğitimi verilmesi, eko-etiket sistemlerinin işlevi ve anlamı hakkında toplumun bilinçlendirilmesi gerekmektedir (Yüksel, 2011).

d. Tedarik Zinciri Şeffaflığı: Hammaddeden tüketiciye kadar olan sürecin izlenebilirliğini sağlayan sistemler geliştirilerek, şeffaflık ilkesine dayalı güvenli üretim teşvik edilmelidir (Eroğlu, 2023).

e. Teknoloji Transferi ve İş Birliği: Yerli üreticiler, uluslararası sürdürülebilir üretim modelleri ile ortaklıklar geliştirerek yeşil teknolojilere erişimlerini artırmalıdır. Üniversite-sanayi iş birlikleri bu alanda kritik öneme sahiptir (Shalini vd., 2021).

f. Tüketici Talebinin Güçlendirilmesi: Sürdürülebilir moda akımlarının tanıtımı, bilinçli tüketim kampanyaları ve eko-modaya dair etik yönelimler desteklenmelidir. Hızlı tüketime karşı “yavaş moda” (slow fashion) anlayışı yaygınlaştırılmalıdır (Yüksel, 2011; Can & Ayvaz, 2017).

g. Ar-Ge Çalışmaları: Ekolojik malzemelerin üretim maliyetlerini düşürmek için araştırma geliştirme çalışmaları yapılmalıdır. Bu kapsamda Yaşam döngüsü analizi (LCA) kullanarak her bir malzemenin çevresel etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirilmeli, sürdürülebilirlik sertifikasyonlarını (Mesela, GOTS, Oeko-Tex) dikkate alarak güvenilir ve şeffaf bir değerlendirme yapılmalıdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

9. Kaynaklar

- Başbuğ, E. (2024). *Doğal Lif Takviyeli Biyopolimer Kompozit Üretimi Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Boteva Peeva, N. (2017). *Bloomer: A Magazine Promoting Sustainable Fashion*. (Unpublished Master's Thesis, Politecnico di Milano)
- Bouazizi, N. (2021). Green technology in textile industries. *Journal of Textile Science & Fashion Technology*, 8(2), 5-11. <https://doi.org/10.33552/JTSFT.2021.08.000684>
- Can, Ö., & Ayvaz, K. M. (2017). Tekstil ve modada sürdürülebilirlik. *Akademia Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 110-119.
- Cardoso, A. A. M. (2013). *Life Cycle Assessment Of Two Textile Products Wool And Cotton*. (Master's Thesis, Porto University, Portugal)
- Colombo, B., Scuri, A., Dughetti, C., Dotti, S., & Gaiardelli, P. (2024). Evaluation of the environmental sustainability of a flax spinning process through life cycle assessment: an Italian case study. *Summer School Francesco Turco Proceedings*, 28, 1-7.

- Demirbek, D. M., & Bulut, M. O. (2021). Kenevir liflerinin eldesi, özellikleri ve kompozit uygulama alanları. *Bartın Üniversitesi Doğal ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 4(2), 176-191.
- Dündar, E. (2008). *Çeşitli Selülozik İpliklerden Üretilen Örme Kumaşların Performanslarının Karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Elkateks (2024). Sürdürülebilir tekstil: Çevreye duyarlı kumaş seçimlerinin önemi. <https://elkateks.com/genel-tr/surdurulebilir-tekstil-cevreye-duyarli-kumas-secimlerinin-onemi>
- Erdem, Ö., & Kurtuldu, E. (2019). Sürdürülebilir tekstil üretim ve tasarımında yeniden değer kazanan lif: Kenevir. *SDÜ ART-E*, 12(24), 42-48.
- Eroğlu, N. S. (2023). Sustainability approaches in denim products and production processes. *Tekstil ve Mühendis*, 30(132), 335-350.
- Gürcüm, B. H., & Yüksel, C. (2011). Moda sektörünü "yavaşlatan" eğilim: Eko moda ve moda'da sürdürülebilirlik. *Akdeniz Sanat Dergisi*, 4(8), 48-52.
- İşmal, Ö. E., & Yıldırım, L. (2011). Tekstil tasarımında çevre dostu yaklaşımlar. *Akdeniz Sanat Dergisi*, 4(8), 60-68.
- Kalkancı, M. (2017). Sürdürülebilir tekstil üretiminde "organik pamuk" ve önemi. *Akdeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2(3), 14-23.
- Kaya, S., & Öner, E. (2020). Kenevir liflerinin eldesi ve tekstil endüstrisindeki uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 108-123. <https://doi.org/10.29048/makufebd.693406>
- La Rosa, A. D., & Grammatikos, S. A. (2019). Comparative life cycle assessment of cotton and other natural fibers. *Fibers*, 7(12), 101.
- Muthu, S. S., & Gardetti, M. A. (2020). *Sustainability in the textile and apparel industries: Production process sustainability*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38545-3>
- Muthu, S. S., Li, Y., Hu, J. Y., & Mok, P. Y. (2012). Quantification of environmental impact and ecological sustainability for textile fibres. *Ecological Indicators*, 20, 208-213.
- Oğurlu, İ. (2024). Doğal-ekolojik üç yapı malzemesi taş-kerpiç-ağaç için sürdürülebilirlik analiz modeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 53, 150-167.
- Şahinkoç, E. M., Aydın, S., & Öncel, K. (2022). Türkiye'de ekolojik moda için marka yaratılması: SWOT analiziyle durum değerlendirilmesi. *International Journal of Social Sciences*, 6(3), 359-377. <https://doi.org/10.30830/tobider.sayi.12.17>
- Tağı, S., & Dağdelen, R. (2024). Tiftik ve pamuk tekstil yüzeylerine ekolojik baskı uygulamalarında farklı rulo hazırlama şekillerinin karşılaştırılması. *İdil*, 113(1), 95-104. <https://doi.org/10.7816/idil-13-113-07>
- UIB (2023). Uludağ Tekstil İhracatçıları Birliği. Ekolojik ve sürdürülebilir tekstiller raporu. <https://uib.org.tr/tr/kbfile/ekolojik-ve-surdurulebilir-tekstil>
- URL1: <https://truecostmovie.com/>
- URL2: <https://www.surfmadame.com/en/surfing-and-dressing-yourself-eco-friendly/>
- URL3: <https://cen.acs.org/business/consumer-products/new-textile-dyeing-methods-make/96/i29>
- Van der Werf, H. M. G., & Turunen, L. (2008). The environmental impacts of the production of hemp and flax textile yarn. *Industrial Crops and Products*, 27(1), 1-10.
- Yardley, J. (2013). Report on deadly factory collapse in Bangladesh finds widespread blame. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2013/05/23/world/asia/report-on-bangladesh-building-collapse-finds-widespread-blame.html>