

YENİLİKÇİ MALZEMELER VE DÖNGÜSEL EKONOMİ: TEKSTİL VE DERİ PERSPEKTİFİ

ARALIK 2025

EDİTÖR
DOÇ.DR. NURAY OLCAY IŞIK EMEKSİZ

 SERÜVEN
YAYINEVİ

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2025

ISBN • 978-625-8682-98-4

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruvenyayinevi.com

e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

YENİLİKÇİ MALZEMELER VE DÖNGÜSEL EKONOMİ: TEKSTİL VE DERİ PERSPEKTİFİ

- ARALIK 2025 -

EDİTÖR **DOÇ.DR. NURAY OLCAY IŞIK EMEKSİZ**

İÇİNDEKİLER

YILAN DERİSİNİN BİLİMSEL VE KÜLTÜREL SERÜVENİ

Nuray O. IŞIK EMEKSİZ, Hatice ER / 1

SÜRDÜRÜLEBİLİR YENİ NESİL REJENERE SELÜLOZ LİFLER: ÜRETİM SÜRECİ, KUMAŞ ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Meruyert KAYGUSUZ, Güler ÖNCÜ / 19

BÖLÜM 3

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE DÖNGÜSEL EKONOMİ PERSPEKTİFİNDEN DERİ SANAYİ: ÇEVRESEL VE SOSYAL YAŞAM DÖNGÜSÜ YAKLAŞIMLARINA DAYALI BİR DERLEME

Fazlı AKYÜZ / 41



YILAN DERİSİNİN BİLİMSEL VE KÜLTÜREL SERÜVENİ

“ ”

Nuray O. IŞIK EMEKSİZ¹

Hatice ER²

¹ Doç.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Meslek Yüksekokulu,
ORCID ID: 0000-0003-4749-336X

² Dr. Öğr. Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Meslek Yüksekokulu,
ORCID ID: 0000-0003-2125-7406

1. GİRİŞ

Egzotik deriler, moda ve endüstri alanında uzun süredir prestij, lüks ve ayrıcalıkla ilişkilendirilmektedir. Geleneksel deri kaynakları olan sığır, koyun ve keçi, endüstrinin büyük kısmını oluştururken; yılan, timsah ve kertenkele gibi sürüngen derileri niş pazarlarda değerli birer hammadde haline gelmiştir. Bu materyaller arasında öne çıkan yılan derisi, dayanıklılığı, esnekliği, özgün desenleri ve kültürel anlamlarıyla farklı bir konuma sahiptir.

Yılan derisi, tarih boyunca hem işlevsel hem de sembolik roller üstlenmiştir. Antik dönemlerden itibaren şifa, büyüsel ritüeller ve güç göstergesi olarak kullanılan yılan derisi, 20. yüzyılda özellikle Avrupa modasında “lüks tüketimin sembolü” haline gelmiştir (Hugosson, 2022). 1920-1930’larda çanta, ayakkabı ve kemerlerde sıkça kullanılan yılan derisi, femme fatale imgesiyle özdeşleşmiş ve moda estetiğinde kendine önemli bir yer edinmiştir.

Günümüzde yılan derisinin küresel ticaretteki yeri de önemini korumaktadır. CITES ticaret verilerine göre Güneydoğu Asya, bu ticaretin merkezini oluştururken; Avrupa ve ABD en büyük tüketici pazarlarını meydana getirmektedir. Ancak yasa dışı ticaret ve sahte ürünler ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Örneğin, (Kasterine, 2012), Singapur’un egzotik deri ticaretinde yasa dışı faaliyetlerin kavşak noktası haline geldiğini ortaya koymuştur. Bu noktada etik ve sürdürülebilirlik tartışmaları öne çıkmaktadır. Aktivist örgütler, yılanların çoğunlukla canlıyken derilerinin yüzüldüğünü ve bunun hayvan refahı açısından ciddi bir sorun olduğunu rapor etmektedir (PETA, 2025). Moda sektöründe ise bu baskılar, düzenleyici kararlarla birleşmiştir. Nitekim 2024 yılında Londra Moda Haftası, 2025’ten itibaren egzotik derilerin tamamen yasaklanacağını açıklamış ve bu karar moda dünyasında geniş yankı uyandırmıştır (The Guardian, 2024). Öte yandan lüks moda markaları, tedarik zinciri şeffaflığı ve “etik egzotik deri” programları aracılığıyla bu tartışmalara yanıt vermeye çalışmaktadır (Parker, 2025).

Sonuç olarak, yılan derisi yalnızca ekonomik ve estetik bir materyal değil, aynı zamanda kültürel, etik ve biyomimetik araştırmaların da merkezinde yer alan çok yönlü bir inceleme konusudur. Bu çalışmanın amacı, yılan derisini tarihsel, biyolojik, ekonomik ve etik boyutlarıyla bütüncül bir çerçevede ele almak, mevcut kullanım alanlarını ve sürdürülebilir gelecek perspektiflerini tartışmaktır.

2. SÜRÜNGEN DERİLERİNİN GENEL VE YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Sürüngen derileri, morfolojik çeşitlilikleri ve biyomekanik özellikleri nedeniyle hem biyolojik bilimlerde hem de deri endüstrisinde ayrıcalıklı bir inceleme alanı oluşturur. Yılan, kertenkele, timsah ve kaplumbağa gibi türler farklı habitatlara uyum sağlayacak şekilde derilerini evrimleştirmiştir. Bu evrimsel adaptasyonlar, derinin hem koruyucu hem de işlevsel niteliklerini güç-

lendirmiştir (Lillywhite, 2014). Özellikle yılan derisi, pulların şekil ve dizilişi, epidermal katmanların özel yapısı ve deri değiştirme süreçleriyle sürüngen biyolojisinin en dikkat çekici örneklerinden biridir.

Sürüngenler omurgalı hayvanların bir sınıfını oluştururlar. Sürüngenler 5 gruba ayrılmaktadır:

Tuatara, kaplumbağa, kertenkele, yılan, timsah.

Yılan, (*Serpentes* alt takımı), uzsuzuz durumları ve oldukça uzun gövde ve kuyruklarıyla ayırt edilen 3400’den fazla sürüngen türünden herhangi biridir. *Squamata* takımıındaki kertenkelelerle birlikte sınıflandırılan yılanlar, evrim süreci boyunca yapısal küçülme, basitleşme ve kayıp ile gelişen bir kertenkeleyi temsil eder. Tüm yılanların dış uzuvları yoktur, ancak tüm bacaksız sürüngenler yılan değildir. Bazı yuva yapan kertenkelelerin yalnızca ön veya arka uzuvları olabilir veya tamamen bacaksız olabilir. Kertenkelelerin aksine, yılanların hareketli göz kapakları yoktur, bu da sürekli ve genellikle rahatsız edici bir bakışa neden olur. Yılanların ayrıca dış kulak açıklıkları yoktur. Yılanlar çok sayıda omura sahiptir ve omurgalılar arasında iki yenilik geliştirmişlerdir: boyun bölgesinde trakeal akciğer ve avını etkisiz hale getirmeye yarayan zehir iletme sistemi (Peters, 2025).

Antarktika ve birtakım adalar dışında her coğrafyada yaşayabilen yılanlar 15 familya altında toplanmış, 456 ayrı cins ve 2900 farklı türe ayrılmaktadır.



Şekil 1: Bantlı krait (URL 1)



Şekil 2: *Gyalopion quadrangulare* (URL 2)

Esas itibariyle sürüngenler kırsal hayata çok iyi uyum sağlamıştır, bu hayvanların derileri kuru olup salgı bezleri bakımından fakirdirler. Epidermiste boynuzsu tabaka zaman zaman yenilenir. Kertenkelelerde genellikle parça parça sıyrılır. Yılanlarda ise bütün olarak çıkar. Eski boynuzsu tabaka atılmadan önce alttan yenisi meydana gelir. Timsahlarda ve kaplumbağalarda derinin üst kısmı tedrici suretle sıyrılır ve alt taraftan yenilenir.

Sürüngen derilerinde korneum kalınlığı vücutta bulunduğu yere göre ve bireylere göre aynı zamanda mekanik etkilere bağlı olarak değişir (Sarı, 2013).

2.1. Yılan Derisi Yapısının Temel Özellikleri

Yılan derileri genellikle sık pullarla kaplı olup yüzeyi düz değildir. Üzerinde renkli dalgaları andıran desenler görülür. Aynı hayvanda dahi deri kalınlıkları vücudun her yerinde aynı değildir.

Yılan derilerinin yan kısımlarındaki pullar birbirinin üstüne binmiş olarak bulunur. Pul kalınlıkları 0,03-0,07 mm arasında değişir. Bu pullar deri kıvrımlarının çıkıntılı kıvrımlarında bulundukları halde girintili kısımlarda bulunmazlar.

Derinin pulları altında yer alan epidermis tabakası ise iyi geliştirilmiş hücresel tabaka halinde karakterize olmuştur. Burada pigment hücrelerinin de bulunması durumun daha belirgin bir hal almasını sağlamaktadır. Halbuki sırt çizgisi bölgesinde deri pigment hücrelerinin daha fazla bulunması derinin kendine özgü bir renkte görülmesine neden olmaktadır.

Cilt tabakası koryumdan zorlukla ayrılır. Koryumun üst kısmı ince kolajen liflerinden yapılmıştır. Bu kısımda elastik lifler bulunmaz. Yılan derisinde ter ve yağ bezleri bulunmaz. Sırt kısmında koryum eteklerinden daha kalın ve sıkı olup daha fazla elastin içerir (Sarı, 2013).

2.2. Epidermis ve Dermis Katmanları

Yılan derisi temel olarak iki ana tabakadan oluşur: epidermis ve dermis. Epidermis, keratinize pullardan oluşan dış tabakadır ve su kaybını engelleme, dış darbelerden korunma gibi işlevlere sahiptir. Dermis ise kolajen lifler açısından zengin olup derinin esnekliğini ve dayanıklılığını sağlar (Klein & Gorb, 2012).

Dubansky ve Close (2018), yılan derisinin histolojik yapısında epidermis ve dermis katmanlarının belirgin bir şekilde ayrıştığını rapor etmiştir. Epidermis, başlıca üç tabakadan oluşur:

- Stratum germinativum (bazal tabaka): Epidermal hücrelerin üretildiği, yenilenmenin başladığı kısımdır.

- Stratum intermedium (orta tabaka): Keratinleşmenin yoğunlaştığı, pulların sertleşmesini sağlayan tabakadır.

- Stratum corneum (keratinize üst tabaka): Pulları oluşturan ve deriye dayanıklılık kazandıran en dış katmandır.

Dermis tabakası yoğun kolajen lifleri ve bağ dokusundan meydana gelir. Bu yapı, deriye esneklik ve mekanik dayanıklılık kazandırmaktadır (Klein & Gorb, 2012). Özellikle yılanlarda dermisin ince ancak esnek olması, derinin hem yüksek elastisite hem de dayanıklılık göstermesini sağlamaktadır.

Klein ve Gorb'un (2012) dört farklı yılan türü üzerinde yaptıkları araştırma, epidermal katmanların farklı yoğunlukta keratin içerdiğini ve bu duru-

mun derinin mekanik performansını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Epiderminin sertliği ve derminin elastik yapısı arasındaki denge, yılan derisinin hem biyolojik uyum hem de endüstriyel kullanım açısından değerini artırmaktadır.

2.3. Pulların Morfolojik Çeşitliliği

Pulların şekli, boyutu ve dizilişi türler arasında önemli farklılıklar gösterir. Bu morfolojik çeşitlilik yalnızca biyolojik işlevler açısından değil, aynı zamanda ticari değer bakımından da kritik öneme sahiptir. Örneğin piton derilerinde büyük, geometrik desenli pullar bulunurken, bazı kobra türlerinde daha küçük ve yoğun pullar yer alır.

Son dönem çalışmalar, yılan pullarının yüzey pürüzlülüğünün sürtünme özelliklerini belirlediğini ortaya koymuştur (Shi et al., 2024). Yüzeydeki mikro yapılar sayesinde yılanlar düşük enerjiyle hareket edebilmekte, bu özellik mühendislikte biyomimetik araştırmalara ilham vermektedir. Dolaşısıyla pul morfolojisi, yalnızca biyolojik bir özellik değil, aynı zamanda teknolojik inovasyonların da kaynağıdır.

Ayrıca, pulların türlere göre farklılığı taksonomik sınıflandırmada da kullanılmaktadır. Yılan türlerinin sistematğinde pul dizilimlerinin kritik bir belirleyicidir. Bu bağlamda morfolojik çeşitlilik, hem biyolojik araştırmalar hem de deri endüstrisinin tür seçiminde temel ölçütlerden biridir.

Modifiye pullar, ‘kirpik’ saçakları ve Kuzey Amerika çingiraklı yılanlarının ‘çingırağı’ gibi başka işlevlere de hizmet eder.

Her pulun bir dış yüzeyi ve bir iç yüzeyi vardır.

- Baş hariç, pullar genellikle üst üste biner.
- İç yüzeydeki deri geriye doğru kıvrılır ve bu pulun altından çıkan bir sonraki pulun tabanıyla örtüşen serbest bir alan oluşturur.

Yılan, sabit sayıda pul ile yumurtadan çıkar. Pulların sayısı yılan olgunlaştıkça artmaz veya zamanla azalmaz, ancak boyutları büyür ve her tüy dökmünde şekil değiştirebilirler. Yılanların ağız ve vücutlarının yan taraflarında daha küçük pullar bulunur ve bu pullar yılanın kendisinden çok daha geniş avları tüketebilmesi için genişlemesine olanak tanır.

Basit veya karmaşık renk desenleri, alttaki derinin bir özelliğidir, ancak pullu derinin kıvrımlı yapısı, parlak derinin pullar arasında gizlenmesine ve ardından yırtıcıları korkutmak için ortaya çıkmasına olanak tanır. Yılan pulları taneli olabilir, pürüzsüz bir yüzeye sahip olabilir veya üzerinde uzunlamasına bir sırt veya omurga bulunabilir. Yılan pulları, çıplak gözle veya mikroskop altında görülebilen çukurlara, tüberküllere ve diğer ince yapılara sahip olabilir.

Boa yılanları, pitonlar gibi bazı ilkel yılanlar ve engerek yılanları gibi bazı gelişmiş yılanların başlarında düzensiz olarak düzenlenmiş küçük pullar bulunur. Diğer daha gelişmiş yılanların başlarında kalkan veya plaka adı verilen özel, büyük, simetrik pullar bulunur (UNEP, 2025).

Yılan pulları çeşitli şekillerde bulunur ve şunlar olabilir:

- Sikloid
- Uzun ve sivri uçlu
- Geniş ve yaprak benzeri
- Uzun oldukları kadar geniş
- Zayıf veya güçlü omurgalı
- İki dişli uçlu
- Omurga benzeri, yan yana
- Büyük, üst üste gelmeyen yumrular

2.4. Yılanlarda Deri Değişirme

Yılanlarda deri değişirme (ecdysis), büyüme ve deri yenilenmesi için temel biyolojik bir süreçtir. Bu süreç sırasında epidermis katmanları ayrılır ve eski deri bütün halde atılır. Ecdysis yalnızca fizyolojik bir yenilenme değil, aynı zamanda sağlığın da bir göstergesidir. Düzenli deri değişirme, parazit yükünün azaltılması ve vücut yüzeyinin yenilenmesi açısından önemlidir (Lillywhite, 2014).

Yılanlar yılda 2 ya da 3 kez derilerini değiştirmektedir. Bu esnada doğadaki faaliyetlerini durduran yılanlar, bu işlem bitene kadar bir yerlere gizlenirler (Anonim, 2025a).

Petersen et.al (2024) çalışması, deri değişirme sürecinin mekanik özelliklere de yansıdığını göstermektedir. Deri değişiminden sonra epidermis tabakasının daha esnek olduğu, zamanla sertleştiği ve mekanik dayanım kazandığı rapor edilmiştir. Bu biyolojik döngü, deri endüstrisinde işlenmiş yılan derilerinin kalite farklılıklarını açıklayan faktörlerden biridir.

3. YILANLARIN BİYOLOJİK VE ANATOMİK ÖZELLİKLERİ

3.1. Türlerle Göre Fizyolojik Çeşitlilik

Yılan türleri arasında önemli fizyolojik farklılıklar gözlenmektedir. Bu farklılıklar hem yaşam alanlarının çeşitliliği hem de avlanma biçimlerinden kaynaklanmaktadır. Piton ve boa gibi iri türlerde deri, geniş pullardan oluşur ve yüksek mekanik dayanım sergiler. Buna karşılık, kobra gibi zehirli türlerde pullar daha sık dizilimlidir ve epidermis tabakası daha ince yapılıdır (Dubansky & Close, 2018).

Histolojik incelemeler, farklı türlerde epidermis ve dermis tabakalarının kalınlığında değişiklikler olduğunu göstermektedir. Dubansky & Close (2018), piton ve kobra türlerinde epidermal katmanların keratin yoğunluğunun farklılık gösterdiğini, bunun da derinin sertlik ve esneklik özelliklerini doğrudan etkilediğini rapor etmiştir. Ayrıca bazı türlerde dermisin daha ince olması, derinin yüksek esneklik göstermesini sağlamaktadır.

Bu çeşitlilik, yılan derisinin endüstriyel kullanımında da belirleyici olmaktadır. Geniş pul yapısına sahip piton derileri moda endüstrisinde çanta ve ayakkabı üretiminde tercih edilirken, daha ince ve sık pul yapısına sahip türler aksesuar ve dekoratif amaçlarla kullanılmaktadır.

3.2. Yılan Derisinin Mekanik Özellikleri

Yılan derisi, hem biyolojik işlevsellik hem de endüstriyel değer açısından dikkat çekici mekanik özelliklere sahiptir. Deri, ince olmasına rağmen yüksek esneklik ve dayanıklılık sunar. Petersen et al. (2024) yılanlar üzerinde yaptıkları çalışmada, beslenme sonrası derinin elastikiyetinde artış gözlenmiş, bunun derinin adaptif bir özellik taşıdığını ortaya koymuştur. Bu esneklik, yılanların büyük avları bütün olarak yutabilmesini mümkün kılmaktadır.

Mekanik özellikler yalnızca esneklikle sınırlı değildir. Shi et al. (2024), yılan pullarının yüzey mikroyapılarının sürtünme davranışını belirlediğini göstermiştir. Pulların ileri yönde düşük sürtünme, geri yönde ise yüksek sürtünme sağlaması, yılanların verimli hareket etmesine katkıda bulunmaktadır. Bu özellik, biyomimetik tasarımlar için de ilham kaynağıdır.

Dubansky & Close (2018), histolojik incelemelerde epidermal keratin tabakasının kalınlığının ve dermal liflerin yöneliminin derinin mekanik davranımını doğrudan etkilediğini belirtmiştir. Özellikle piton türlerinde kalın keratin tabakası deriyi aşınmaya karşı daha dayanıklı kılarken, bazı ince pul türlerde daha esnek fakat daha kırılğan bir yapı gözlenmiştir.

Bu özellikler, yılan derisini timsah ve kertenkele gibi diğer egzotik derilerden ayırır. Timsah derisi yüksek dayanıklılığa sahip olsa da sert ve işlenmesi zor bir yapıya sahiptir. Buna karşılık yılan derisi hem daha kolay işlenebilir hem de farklı tasarım olanaklarına elverişlidir (Hugosson, 2022). Dolayısıyla, yılan derisinin mekanik özellikleri onu hem biyolojik adaptasyon hem de endüstriyel üretim açısından benzersiz kılmaktadır.

4. YILAN DERİLERİNİN İŞLENTİSİ

Bu gruptaki ham derileri işlemek oldukça zordur çünkü bu derilerin işlentisi sırasında birbirleriyle düğümlenme ve karışma durumu söz konusudur. Bu yüzden de yılan derileri işlenirken mekanik olanaklardan az düzeyde yararlanılır. Deriye doğal görünüşü vermek için sodyum sülfid kullanılır. Yılan derilerinde türden türe değişiklik olmakla birlikte geleneksel bir reçete

aşağıdaki şekilde olmaktadır:

Hammadde: Tuzlu kuru yılan derisi

Islatma- yumuşatma %800 su 20°C

%1 Noniyonik tensid

%3 NaCl

%1 Soda

%0.1 Antiseptik madde 24-48 h

Kireçlik

Bu işlemin amacı yılan derisi üzerindeki birtakım pul ve ipliksi maddeleri temizlemektir.

%300-400 su

% 5 Kireç

%1 Sodyumsülfid

Mekaniksel hareketlere ve derinin büyüklüğüne göre 5-7 gün süren işlem yapılır.

Tabaklamaya Hazırlık

Kireçlenmiş deriler iyice yıkanır. Fırçalama yapılır, düzeltilir ve ağırlıkları saptanır. Pikle yapılır ve pikle pH' sı 3' e getirilir.

Tabaklama

Beyaz krom tabaklamaya bir örnek:

Bu işlem siyah deriler için uygun olmamakla birlikte diğer renkler için uygundur.

% 300 su 20°C

% 1 sülfatlanmış sperm yağı

% 10 NaCl

% 10 Cr-Al, Cr-Sintan kompleksleri aralıklarla 2

saat çevrilir.

Tam bir tabaklama, çok iyi bir beyazlama için tekrar yerleştirme yoluyla sintan kullanılır. % 40 sentetik tanen kullanılır, aralıklarla 24 saat çevrilir. Kurutulur ve tıraşlanır.

Yarı İşlenmiş Hali

Yılan derileri yalnızca boyanır ve finisajı yapılır. Böylece yarı işlenmiş deri haline getirilir. Bilinen yolla pH 6' ya nötralize edilir. (Sodyum formiyat – sodyum bikarbonat)

Astar Boyama (Mordanlama ve yağlama için)

% 200 su 50°C

% 5-10 nötral sentetik astar boya

+ % 8 sülfat yağı ilave edilir.

Aralıklı olarak dolapta çevrilir. Çıkarılır ve düzgünleştirilerek kuruması için asılır.

Boyama ve Finisaj

Yılan derileri bilinen yöntemlerle ıslatılır, boyanır, yağlanır ve parlatılır.

Yılan derilerinin finisajı ya protein finisajı yapıp üzeri spreylenecek perdahlanır ya da nitroselüloz karışımı finisaj uygulanarak ardından perdahlanması yapılır (Sarı, 2013).



Şekil 3-4: Bitmiş yılan derileri (URL 3,4)

5. YILAN DERİSİNİN ENDÜSTRİYEL KULLANIM ALANLARI



Şekil 5: Yılan derisi çanta (URL 5)



Şekil 6: Yılan derisi cüzdan (URL 6)

Yılan derisi, sahip olduğu estetik desenler, esneklik ve işlenebilirlik özellikleri sayesinde hem moda endüstrisinde hem de dekoratif ve geleneksel uygulamalarda önemli bir kullanım alanı bulmuştur. Tarihsel açıdan bakıldığında, yılan derisinin egzotik bir materyal olarak değer kazanması özellikle 20. yüzyılın başlarında Avrupa’da başlamıştır. Yılan derisi, özellikle 1920–30’lu yıllarda Avrupa’da egzotik ve lüks bir materyal olarak moda sahnesine girmiştir. Bu dönemde art deco estetiğiyle uyumlu görülen yılan derisi çantalar, ayakkabılar ve aksesuarlar yüksek sınıflar tarafından yoğun talep görmüştür. Paris ve Milano gibi moda merkezlerinde egzotik deri atölyeleri kurulmuş, yılan derisi modern yaşam tarzının bir statü sembolü haline gelmiştir. Günümüzde ise küresel lüks moda ve sanatsal üretimlerde yoğun olarak kullanılmaya devam etmektedir (Hugosson, 2022).

Yılan derisinin en yaygın kullanım alanı, moda ürünleri arasında çanta, ayakkabı, kemer, cüzdan ve saat kordonlarıdır. Derinin ince yapısı ve esnekliği, hem dikim kolaylığı hem de desen çeşitliliği açısından büyük avantaj sağlar. Piton ve kobra derileri, büyük pul desenleri ve işlenebilirlikleri sayesinde tercih edilmektedir. Esnek yapısı, tasarımcıların deriyi farklı form ve boyutlarda işleyebilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle piton derilerinin geniş desenli yapısı, çantalarda dikkat çekici yüzeyler oluştururken; kobra ve diğer türlerin dar desenli derileri ayakkabı ve kemerlerde tercih edilmektedir. Günümüzde özellikle İtalya’da (Floransa ve Milano) ve Fransa’da yılan derisi işleyen butik üreticiler, bu hammaddenin en büyük tüketicileridir.

Yılan derisi, günümüzde Louis Vuitton, Hermès ve Gucci gibi lüks moda markalarının koleksiyonlarında önemli bir yer tutmaktadır. Hermès’in sınırlı üretim “exotic leather” koleksiyonlarında piton ve kobra derilerinden yapılmış çantalar, özel sipariş ürünler arasında öne çıkmaktadır. Louis Vuitton

ise yılan derisini hem klasik çanta koleksiyonlarında hem de sınırlı sayıda üretilen aksesuar serilerinde kullanmaktadır (Hugosson, 2022). Bu markalar için yılan derisi yalnızca estetik değil, aynı zamanda farklılaşma ve nadirlik stratejisinin bir parçasıdır. Ancak bu kullanım, hayvan refahı ve sürdürülebilirlik tartışmalarını da beraberinde getirmektedir.

Yılan derisi, moda dışında dekoratif sanatlarda, enstrüman yapımında ve iç mekan tasarımlarında da kullanılmıştır. Çin’de bazı geleneksel müzik aletlerinin gövdelerinde yılan derisi tercih edilmiştir. Sanat uygulamalarında ise; derinin özgün desenleri heykeller, takılar, tekstil-deri sanatının kesişiminde yaratıcı üretimlere ilham vermektedir (Lillywhite, 2014).

İç mekan tasarımında; dekoratif öğeler, duvar panelleri, mobilya kaplamaları ve lüks otomobil iç yüzeylerinde yılan derisi kullanımı dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra çağdaş sanatçılar, yılan derisinin simgesel anlamlarını (gizem, dönüşüm, güç) eserlerinde kullanarak kültürel bir estetik yaratmaktadır (Hugosson, 2022). Yılan derisinin farklı renk ve desenleri, sanat nesnelere benzersiz bir görsellik kazandırarak, kültürel hafıza unsuru olarak değerlendirmektedir.

6. HALK TIBBI VE GELENEKSEL PRATİKLERDE YILAN DERİSİ

Yılan derisi, birçok kültürde halk tıbbı ve geleneksel ritüeller kapsamında da kullanılmıştır. Çin tıbbında kurutulmuş yılan derisinin egzama ve cilt hastalıkları tedavisinde kullanıldığına dair kayıtlar bulunmaktadır (Dubansky & Close, 2018). Benzer şekilde Anadolu’nun bazı bölgelerinde yılan derisi, “koruyucu tılsım” işleviyle günlük yaşama dahil edilmiştir. Bu tür pratikler, yılan derisinin yalnızca materyal değerinden öte kültürel-sembolik anlamlar da taşıdığını göstermektedir. Geleneksel Çin Tıbbı’nda yılan derisi, antiinflamatuar ve analjezik etkiler nedeniyle merhem ve tentürlerde yer bulmuştur (Dharmananda, 2025). Bu tür kullanımlar, günümüzde modern farmakoloji tarafından sınırlı ölçüde doğrulansa da kültürel bağlamda önemini sürdürmektedir.

Amerika’nın güneyinde, ellerinize bir parça yılan derisi sürmenin bir şeyleri düşürmenizi engelleyebileceğine inanılır. Başka bir efsaneye göre, onu cebinizde taşırsanız size iyi şans getirir.

Manisa’nın Spil Dağı ve çevresindeki dağlık alanda canlı şekilde yakalanan bozyörük yılanlarının derisi şifa kaynağı olarak büyük ilgi görmektedir. Bir zamanlar büyü bozma için toplanan yılan derileri şimdi basur tedavisi ve cilt hastalıklarında kullanılırken, saç çıkarmaya da yardımcı olduğuna inanılmaktadır. Manisa’da bir aktar tarafından satılan, kelliğe, hemoroide ve cilt hastalıklarına iyi geldiğine inanılan yılan derileri günümüzde de ilgi görmektedir (Anonim, 2025b).

7. EKONOMİK VE KÜRESEL TİCARET BOYUTU

Yılan derisinin ticari değerinde, tür farklılıkları belirleyici rol oynar. Piton (*Python reticulatus*), boa (*Boa constrictor*) ve kobra (*Naja naja*) en çok ticareti yapılan türler arasında yer almaktadır. CITES verilerine göre, bu türlerin derileri 2020–2023 arasında küresel egzotik deri ticaretinde önemli bir pay oluşturmuştur (CITES, 2025). Dolayısıyla biyolojik çeşitlilik, endüstriyel taleple doğrudan ilişkilidir. Yılan derisinin, küresel egzotik deri ticaretinde yüksek ticari değerine rağmen, yasa dışı ticaret ve sahte ürünler sektörün karşı karşıya olduğu temel sorunlardandır (Kasterine, 2012).

7.1. Ticarete En Yaygın Türler

CITES listesindeki bu türler, uluslararası ticarete en sık karşılaşılan türlerdir:

Pitonlar

-Kısa kuyruklu kan pitonları

-Kaya pitonları

-Ağsı piton

Russell'in engereği

Sıçan yılanı

Sarı anakonda

Köpek yüzlü su yılanı

Kobralar

-Hint kobrası (*Naja naja*)

-Endonezya kobrası

Boalar

7.2. Başlıca Ticaret Bölgeleri ve Pazarlar

Güneydoğu Asya, özellikle Endonezya, Malezya ve Vietnam, piton derilerinin en büyük ihracatçısı konumundadır. Bu ülkelerde avcılık ve çiftliklerde üretim yoluyla elde edilen deriler, genellikle işlenmemiş halde ihraç edilmektedir. Avrupa Birliği ve ABD ise bu ürünlerin başlıca ithalatçılarıdır. Avrupa'da özellikle İtalya ve Fransa, moda endüstrisinin güçlü olduğu ülkeler olarak yılan derisi ticaretinde önemli merkezlerdir (Hugosson, 2022).

Küresel ticaret hacmine bakıldığında, her yıl milyonlarca piton ve boa derisinin uluslararası pazarlara girdiği tahmin edilmektedir. Bu ticaret, CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) denetiminde gerçekleştirilmekte, türlerin korunmasına yönelik

kotalar ve sertifikasyon sistemleri uygulanmaktadır (CITES, 2025).

7.3.Yasa Dışı Ticareti Kolaylaştıran Merkezler: Singapur Örneği

Resmi verilerde Singapur, egzotik deri ticaretinde büyük bir transit merkez olarak öne çıkmaktadır. Kasterine (2012) hazırladığı rapora göre, Singapur'un resmi ithalat-ihracat verileri ile fiili ticaret rakamları arasında ciddi tutarsızlıklar bulunmaktadır. Bu durum, Singapur'un yasa dışı yılan derisi ticaretinde “kolaylaştırıcı merkez” rolü oynadığını göstermektedir.

Özellikle Endonezya ve Malezya'dan gelen yılan derilerinin Singapur üzerinden yeniden etiketlenerek Avrupa ve Amerika pazarlarına gönderildiği belirtilmektedir. Bu uygulama, yasa dışı ticaretin izlenmesini zorlaştırmakta ve sahte belgelerle ticaretin sürmesine imkan tanımaktadır (Kasterine, 2012).

7.4. Sahte Yılan Derisi Ürünleri ve Tanımlama Zorlukları

Yüksek talep, sahte yılan derisi ürünlerinin yaygınlaşmasına da yol açmıştır. Özellikle baskı teknikleriyle üretilen suni deriler, gerçeğinden ayırt edilmesi güç yüzey desenlerine sahip olabilmektedir. Bu durum, tüketicilerin yanıltılmasına neden olmakta ve yasal üreticilerin ticari güvenilirliğini sarsmaktadır.

Bilimsel analizler, sahte ürünlerin tespitinde mikroskopik pul yapısı incelemesi, keratin tabakasının yoğunluğu ve dermal lif yöneliminin değerlendirilmesi gibi yöntemlerin kullanılabileceğini göstermektedir (Dubansky & Close, 2018). Ancak bu analizler laboratuvar düzeyinde yapılabildiği için saha denetimlerinde zorluklar devam etmektedir.

Yılan derisi ürünlerinin tanımlanması

Yılan derisinden yapılmış veya yılan derisi parçaları içeren ürünleri belirlemek, kurutulmuş veya tabaklanmış bütün derileri belirlemekten çok daha zordur:

- Boyut referansı yoktur ve sırt ve karın pullarını saymak neredeyse imkansızdır.

- Renk desenleri belirsiz olabilir.

- En acil endişe, ürünün gerçek deri mi yoksa sahte mi olduğunu belirlemektir.

- Gerçek derilerin kenarlarında hissedilebilen pulları olmalıdır.

- Sahte deri ürünlerinde, sadece kabartmalı veya baskılı (kenarları pul-suz) bir pul deseni bulunur.

- Desen, özellikle geniş bir yüzeyde tekrarlanabilir veya çok düzgün olabilir.

- Bütün deriler genellikle pulları, pul sayılarını, desenlerini, boyutlarını ve dokularını inceleyerek tanımlanabilir, ancak deri ürünlerini veya eksik derileri belirlemek çok daha zordur.

- Tüm yılan derileri ve ürünleri CITES listesinde değildir. Uluslararası ticarete yaygın olarak görülen CITES listesinde 9 yılan türü vardır.

- Ulusal mevzuat izin veriyorsa, yılan derisi ürünleri CITES kişisel eşya muafiyeti kapsamına girebilir.

8. HAYVAN REFAHI VE ENDÜSTRİDEKİ UYGULAMALAR

Yılan derilerinin elde edilme yöntemleri, özellikle hayvan refahı açısından eleştirilere açıktır. Bazı bölgelerde yılanların canlıyken derilerinin yüzüldüğüne dair raporlar uluslararası kamuoyunda geniş yankı uyandırmıştır. Her ne kadar birçok ülke CITES kapsamında düzenlenmiş kotalar ve sertifikalı çiftlik üretimleri üzerinden ticareti teşvik etse de, sahada yapılan gözlemler bu standartların her zaman uygulanmadığını göstermektedir. Bu durum, hem etik açıdan tartışmalara yol açmakta hem de sektörün itibarını zedelemektedir (Nijman, 2022).

8.1. Aktivist Örgütler: PETA'nın Kampanyaları

Hayvan hakları savunucuları, özellikle People for the Ethical Treatment of Animals (PETA), egzotik deri endüstrisine karşı yoğun kampanyalar yürütmektedir. PETA'nın düzenlediği protestolar, moda haftalarında yaptığı eylemler ve Hermès ile Gucci gibi markalara yönelik çağrılar, egzotik deriye karşı kamuoyu bilincinin artmasına katkı sağlamıştır. Bu baskılar sonucunda bazı lüks markalar, egzotik deri kullanımını sınırlama veya tamamen bırakma yönünde karar almıştır (Altıntaş, 2018).

8.2. Ulusal Yasal Düzenlemeler: Hindistan'ın Egzotik Deri Yasağı

Çeşitli ülkeler, etik ve çevresel kaygılar nedeniyle egzotik deri ticaretine doğrudan yasaklar getirmiştir. Örneğin, Hindistan, 1970'lerin sonlarında piton ve kobra gibi türlerin derilerinin ticaretini yasaklamış ve bu yasağı günümüzde de sürdürmektedir. Güncel raporlar, Hindistan'ın yasağının bölgesel ticarete hala etkili olduğunu; ancak yasa dışı ticaretin Singapur, Malezya ve Vietnam gibi merkezler üzerinden devam ettiğini ortaya koymaktadır (Nijman, 2022).

8.3. Nesli Tükenmekte Olan Türler ve CITES Kapsamı

Yılan derisi ticareti, biyolojik çeşitliliği tehdit eden önemli unsurlardan biri olarak değerlendirilmektedir. CITES kapsamında piton ve boa gibi yüksek ticari değere sahip türler Ek II listesinde yer almakta ve sadece belgeli, sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen derilerin ticaretine izin verilmektedir. Ancak yasa dışı ticaret ve sahte sertifikalar, bu mekanizmanın etkinliğini azaltmaktadır (CITES, 2025). Bu durum, yasal düzenlemelerin küresel düzeyde daha sıkı denetlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

9. YENİLİKÇİ UYGULAMA ALANLARI

Yılan derisi yalnızca geleneksel moda ve ticaret alanlarında değil, aynı zamanda biyomimetik tasarım, sürdürülebilir materyal araştırmaları ve sentetik alternatiflerin geliştirilmesi gibi yenilikçi alanlarda da ilham kaynağı olmuştur. Bu yeni uygulama alanları, hem biyolojik yapının mühendislikte kullanılması hem de çevresel kaygılara cevap veren alternatif materyallerin geliştirilmesi açısından önemlidir (Hugosson, 2022).

9.1. Biyomimetik Yaklaşımlar (Robotik, Tıp)

Yılan derisinin pullu yapısı, robotik mühendislik ve biyomedikal uygulamalarda biyomimetik bir model olarak kullanılmaktadır. Araştırmalar, yılan derisinin sürtünmeyi azaltan ve yönlendiren mikro yapılarının, robotik hareket sistemlerinde enerji verimliliğini artırabileceğini göstermektedir (Klein & Gorb, 2012). Özellikle tıpta, yılan derisinin yüzey mimarisi cerrahi aletlerin kayganlığını ve yönlendirilebilirliğini geliştirmek amacıyla incelenmektedir. Ayrıca deri yenilenme sürecinden ilham alınarak doku mühendisliği ve yara iyileşmesi alanlarında yeni biyomalzemeler geliştirilmiştir (Lillywhite, 2014).

SONUÇ

Yılan derisi, sahip olduğu dayanıklılık, esneklik ve özgün desen özellikleriyle uzun yıllardır moda ve dekoratif sanatlarda önemli bir materyal olmuştur. Küresel ticaretin yoğunluğu, yasa dışı akışların yarattığı sorunlar ve tüketici taleplerindeki değişim, bu alanın dinamik yapısını ortaya koymaktadır.

Yılan derisinin gelecekteki kullanımı, sürdürülebilirlik odaklı politikaların güçlendirilmesiyle şekillenecektir. Bu kapsamda, şeffaf ve izlenebilir tedarik zincirleri oluşturulması, çevreye daha az zarar veren tabaklama tekniklerinin teşvik edilmesi ve hayvan refahı standartlarının etkin şekilde uygulanması öncelikli adımlar arasında yer almalıdır. Ayrıca tüketici bilincinin artırılması, etik üretim ve sorumlu tüketim alışkanlıklarının yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, hem biyolojik hem de sosyal boyutları kapsayacak şekilde geniş bir yelpazede ilerlemesi gerekmektedir. Yılan derisinin yüzey yapısının teknoloji ve mühendislik alanlarına aktarılması, alternatif biyomateryallerin geliştirilmesi, moda endüstrisinin kültürel ve etik tercihleriyle birlikte değerlendirilmesi ve uluslararası ticarete yasa dışı faaliyetlerin önlenmesine yönelik politika analizleri bu araştırma alanlarının başında gelmektedir.

KAYNAKLAR

- Altıntaş, E. (2018). Chanel Bildiriyor: Egzotik Deri ve Kürk Kullanımına Son! <https://vogue.com.tr/moda-haber/chanel-bildiriyor-egzotik-deri-ve-kurk-kullanimi-na-son>. Erişim tarihi: 20.12.2025.
- Anonim. (2025a). Yılan Türleri, Cinsleri ve Özellikleri. <https://www.haberturk.com/yilan-turleri-cinsleri-ve-ozellikleri-yilan-turleri-ve-cesitleri-neler-dir-hteg-3568270>. Erişim tarihi: 18.12.2025.
- Anonim. (2025b). Yılan Derisiyle Gelen Şifa İlgi Görüyor. <https://www.haberler.com/yilan-derisiyle-gelen-sifa-ilgi-goruyor-11412391-haberi/>. Erişim Tarihi: 18.12.2025.
- CITES. (2025). CITES Trade Database. <https://trade.cites.org/> Erişim tarihi: 20.12.2025.
- Dharmananda, S. (2025). The Medicinal Use of Snakes in China. <http://www.itmonline.org/arts/snakes.htm>. Erişim tarihi: 20.12.25.
- Dubansky, B. H. & Close, M. (2018). A review of alligator and snake skin morphology and histotechnical preparations. *Journal of Histotechnology*, 42(2), 1–21.
- Hugosson, A. (2022). Snakes' commodification within the fashion system: Insights from animal ethics. *Appearance(s)*, 11 (11).
- Klein, M-C. G. & Gorb, S. N. (2012). Epidermis architecture and material properties of the skin of four snake species. *Journal of the Royal Society Interface*, 9(76), 3140–3155.
- Lillywhite, H. B. (2014). *How snakes work: Structure, function and behavior of the world's snakes*. 227 p. Oxford University Press. New York. USA.
- Kasterine, A. (2012). The trade in south-east asian phyton skins. *SSRN Electronic Journal*. 74 p.
- Nijman, V. (2022). Harvest quotas, free markets and the sustainable trade in pythons. *Nature Conservation*, 48, 99-121.
- Parker, L. (2025). Exotic Skin Conservation and Commerce Can Co-Exist. *Women's Wear Daily (WWD)*. <https://wwd.com/voices/in-detail/exotic-leather-conservation-commerce-ethical-fashion-1237093392>. Erişim tarihi: 20.12.25.
- PETA. (2025). "Exotic" skins: The Animals. (PETA) People for the Ethical Treatment of Animals. <https://www.peta.org/issues/animals-used-for-clothing/exotic-skins>. Erişim tarihi: 20.12.25.
- Peters, J. A. (2025). Dormant Periods. <https://www.britannica.com/animal/snake/Dormant-periods>. Erişim tarihi: 19.12.2025.
- Petersen, J.C., Campbell L.C., Jayne B.C. & Roberts, T.J. (2024). Mechanical properties of snake skin vary longitudinally, following large prey ingestion and among species. *Journal of the Experimental Biology*, 227 (24). 1-11.

- Sarı, Ö. (2013). Yılan Derileri. Deri Üretim Pratiği II. yayımlanmamış ders notları. Ege Üniversitesi. İzmir.
- Shi, G., Wang, J., Dong, Y., Hu, S., Zheng, L. & Ren, L. (2024). Effect of Surface morphology and internal structure on The Tribological Behaviours of Snake Scales from *Dinodon rufozonatum*. *Biomimetics*, 9(10), 617.
- The Guardian. (2025). London Fashion Week first of big four to ban exotic animal skins. The Guardian. <https://www.theguardian.com/fashion/2024/nov/29/london-fashion-week-first-of-big-four-to-ban-exotic-animal-skins>. Erişim tarihi: 20.12.25.
- UNEP. (2025). GreenCustoms Knowledge Series No:11 Identification of Snake Skins. Chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pdfs.semanticscholar.org/6d2a/63b83f449eb18a5d114e00029dad7f3daa01.pdf. Erişim tarihi: 21.12.2025.

GÖRSEL KAYNAKLAR

URL 1. Bantlı krait

<https://a-z-animals.com/animals/banded-krait/>

URL 2: Gyalopion quadrangulare

<https://www.tekbasinadaolur.com/yilanlar-hakkinda-bilmeniz-gerekenler/>

URL 3. Bitmiş yılan derisi

<https://www.ankaraantikacilik.com/urun/5126855/yilan-derisi-lotu-islenmemis-tek-parca-iki-adet-yilan-derisi-320-x-50-cm-maksim>

URL 4. Bitmiş yılan derisi

<https://stock.adobe.com/tr/images/texture-of-snake-leather-skin/59121739>

URL 5. Yılan derisi çanta

<https://www.begart.shop/2025/09/10/yilan-derisi-modanin-ve-luksun-zamansiz-imza>

URL 6. Yılan derisi cüzdan

https://topsyturvy.au/index.php?route=product/product&product_id=483



SÜRDÜRÜLEBİLİR YENİ NESİL REJENERE SELÜLOZ LİFLER: ÜRETİM SÜRECİ, KUMAŞ ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

“ ”

Meruyert KAYGUSUZ¹

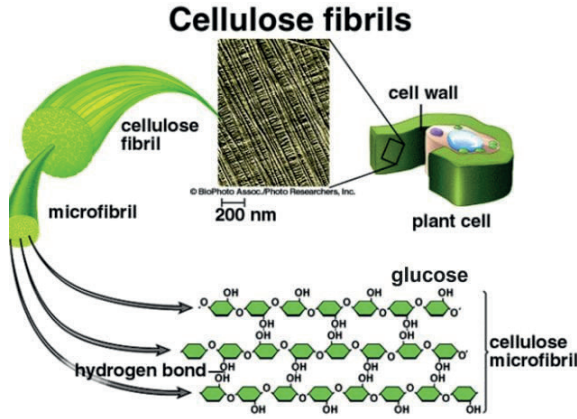
Güler ÖNCÜ²

1 Prof. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Isparta/Türkiye, meruyertkaygusuz@isparta.edu.tr; ORCID ID: 0000-0003-2176-7094

2 Dr. Öğr. Üyesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Isparta/Türkiye, guleroncu@isparta.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-3139-4554

1. GİRİŞ

Rejenere selüloz lifleri (RSL), pamuk ve ketenden sonra tarihsel olarak yaygın kullanılan tekstil lifleri arasında yer alır. Bunlar, doğadaki en bol organik polimer olan selülozdan türetilen insan yapımı lifler kategorisinde yer almakta ve doğal kaynakların insan yaratıcılığıyla değerlendirilmesinin bir göstergesi olarak bilinmektedir (Woodings, 2001). Bitki hücre duvarlarının yapısal bir bileşeni olan selüloz, glukoz monomerlerinden oluşan doğrusal yapısı sayesinde doğal polimer olup, yenilenebilirliği ve biyobozunurluğu nedeniyle sürdürülebilir tekstil lifleri için stratejik bir hammadde olarak kabul edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Selüloz lifleri (URL-1)

RSL'lerin üretim süreci, odun hamuru, bambu ve pamuk linterleri gibi yaygın hammaddelerden sağlanan selüloz, bir dizi kimyasal işlem sonucunda çözündürülmekte ve ardından sürekli filamentler oluşturacak şekilde ekstrüde edilmektedir. İlk ticari rejenere selüloz lifi olan viskon (rayon) sürecinin temelleri 1890'ların başında Ch. Cross, E. Bevan ve C. Beadle tarafından atılmış ve ticari olarak büyük ölçekli üretim 1905 civarında başlamıştır (Woodings, 2001; Sixta et al., 2015).

Rejenere selüloz lifleri (RSL'ler), doğal kaynaklardan elde edilen selülozun kimyasal işlem görmesiyle üretilen, geniş bir malzeme yelpazesini kapsayan insan yapımı liflerdir. Bu lifler, özellikle tekstil endüstrisinde, benzersiz özellikleri ve çok yönlü uygulama alanları sayesinde önemli bir yere sahiptir (Parajuli et al., 2021; Kim et al., 2022).

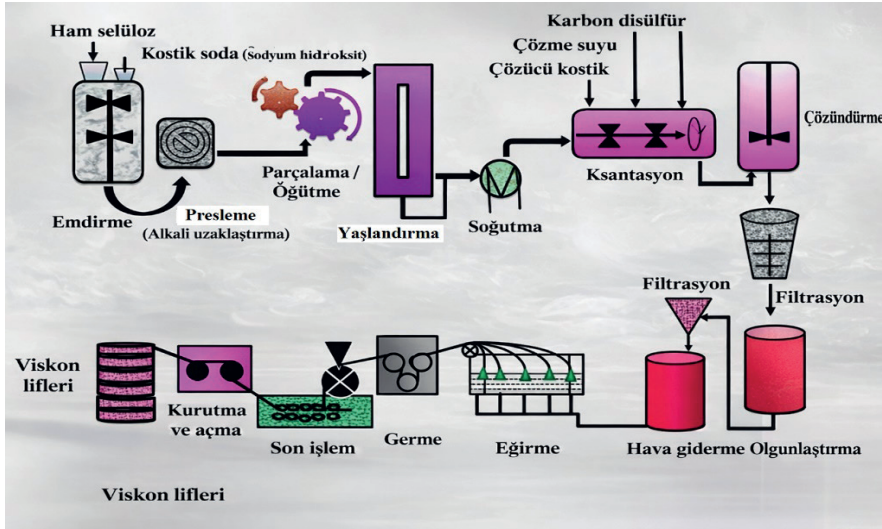
Bu bölümde, yeni nesil rejenere selüloz lifleri, üretim teknolojileri, bu teknolojilerin gelişimi, geleneksel yöntemlerden farkları, lif ve kumaş özellikleri ile uygulama alanları bilimsel kaynaklara dayanarak incelenmiştir.

2. BAŞLICA REJENERE SELÜLOZ LİFLERİ

2023 yılında yaklaşık 7.9 milyon ton yıllık üretim hacmine ulaşan insan yapımı selülozik lifler (viskon (rayon), asetat, lyocell, modal ve cupro), küresel lif üretiminin yaklaşık %6'sını oluşturmıştır. Rejenere selüloz lifleri (RSL) pazarında viskon yaklaşık %80 ile en yüksek paya sahip iken, asetat lifleri toplam pazarın yaklaşık %13'ünü oluşturmaktadır. Lyocell liflerinin payı yaklaşık %4 düzeyinde olup, modal lifleri bu pazarda yaklaşık %3 oranında, Cupro liflerinin pazar payı ise %1'in altında kalmaktadır (Textile Exchange, 2024). Başlıca RSL türleri, üretim süreçleri ve kumaş özellikleri aşağıda detaylandırılmıştır.

2.1 Viskon (Rayon)

Viskon, rejenere selüloz lifleri arasında en eski ve en yaygın kullanılan türlerden biridir (Varnaitė-Žuravliova & Baltušnikaitė-Guzaitienė, 2024). Genellikle odun hamuru veya pamuk linterlerinden elde edilen selülozun, viskon prosesi adı verilen bir kimyasal çözündürme süreciyle üretilir (Wang et al., 2003). Bu süreçte biyokütlenin rejenere selüloz liflerine dönüştürülmesi; hammadde temini, kimyasal veya yarı-kimyasal hamurlaştırma, selülozun çözündürülmesi ve ardından lif formunda yeniden yapılandırılması gibi çok aşamalı bir üretim zincirini kapsamaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Viskon üretim süreçleri (URL-2; Sayyed et al., 2019)

Geleneksel olarak en yaygın kullanılan rejenere selüloz lifi olan viskon, doğal selüloz kaynaklarından elde edilmesi sayesinde doğal liflerin konfor ve nefes alma özellikleri ile sentetik liflerin üretim esnekliğini birleştirerek (Şekil 3), tekstil pazarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Textile Exchange, 2024; Felgueiras et al., 2021). Viskoz lifleri, yumuşak dokusu, iyi

dökümlülüğü ve geniş kullanım alanları nedeniyle giyim, ev tekstili ve döşemelik kumaşlar gibi çeşitli tekstil uygulamalarında tercih edilmektedir (Parajuli, et al., 2021).

Ancak viskon üretiminin büyük miktarda su tüketimi ve ksantasyon adımı için gerekli karbon disülfür (CS_2) gibi çözücülerin işçi sağlığı ve çevre açısından ciddi toksikolojik ve emisyon sorunları yarattığı; bunun sonucunda uzun süreli sürdürülebilirlik sorunları barındırdığı belgelenmiştir (Chen & Burns, 2006; NIOSH, 2014; Majumdar et al., 2022).



Şekil 3. Viskon lifi (URL-3) ve viskon kumaş (URL-4)

21. yüzyılda çevresel farkındalığın artması ve karbon disülfitin (CS_2) insan sağlığı ile çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin daha net ortaya konması, bilim dünyasını ve sanayiye daha temiz ve güvenli üretim teknolojileri geliştirmeye yöneltmiştir. Böylece, ikinci nesil olarak adlandırılan Lyocell (Tencel) ve Modal gibi rejenere selüloz lifler, kimyasal çözücülerin neredeyse tamamının geri dönüştürülmesini sağlayan çevresel açıdan optimize edilmiş yöntemlerle üretilmektedir. Üretimi geleneksel yöntemlerden ayıran temel unsur, çevreye duyarlı çözücü sistemlerinin tercih edilmesi ve kimyasalların büyük oranda geri kazanıldığı kapalı döngü üretim süreçlerinin benimsenmesi olmuştur (Zhang et al., 2018; Parajuli et al., 2021).

2.2 Liyosel (Lyocell)

Selülozun türevlendirilmeden doğrudan çözündürülmesi, uzun yıllardır araştırma konusu olmuştur. Lyocell, doğrudan çözündürme yöntemine dayalı olarak geliştirilen ilk başarılı selülozik lif teknolojisi olup, ortaya koyduğu üstün lif özellikleri sayesinde viskon prosesine ciddi bir alternatif hâline gelmiştir. Ayrıca Lyocell üretim süreci, daha çevre dostu olması nedeniyle ve sürdürülebilir üretim yaklaşımlarıyla öne çıkan yeni nesil rejenere selüloz lifidir (Kreze & Malej, 2003; Peng et al., 2017). Ticari adıyla TENCEL™ olarak bilinen Lyocell, selülozun doğrudan çözücü içinde çözülerek lif haline getirildiği bir “dolaysız çözücü” işlemidir (Şekil 4).

Yeni nesil rejenere selüloz lifleri, özellikle lyocell, modal ve bunların farklı endüstriyel türevleri, geleneksel viskona kıyasla hem mekanik performans hem de fizyolojik konfor açısından belirgin üstünlükler göstermektedir. Bu lif sınıfının en önemli avantajlarından biri ıslak mukavemet değerleridir. Lyocell lifleri, literatürde sıklıkla vurgulandığı gibi, viskonun temel zayıflığı olan ıslak koşullarda mukavemet kaybını büyük ölçüde ortadan kaldırır. Lyocell'in ıslak mukavemeti kuru mukavemetinin önemli bir bölümünü korur; bu sayede lif, yaş işlemeye karşı daha dayanıklı olur ve üretim süreçlerinde kırılma göstermeden işlenebilir (Kadolph & Marcketti, 2017).

Fizyolojik konfor açısından da lyocell ve modal, pamuk gibi doğal liflerle yapılan karşılaştırmalarda üstün nem yönetimi performansı sergiler. Yapılan kontrollü deneylerde lyocell'in nemi hem daha hızlı absorbe ettiği hem de kapiler yapı sayesinde hızlı bir şekilde geri bıraktığı gösterilmiş; bu durum ciltte kuru, serin ve nefes alabilir bir his oluşturmıştır (Okubayashi et al., 2004). Modal ise kayın ağacı hamurundan elde edilen yüksek saflıktaki selüloz yapısı sayesinde yumuşaklık, parlaklık ve ipeksi bir tuşe ile öne çıkmakta; özellikle iç giyim ve ev tekstili uygulamalarında konforu artırmaktadır. Modal lifleri, düşük çekme eğilimi ve solmaya karşı direnç gibi özellikleriyle de bilinir (Waş-Gubała et al., 2024). Bu nedenle iç giyim, pijama, spor giyim ve rahatlık gerektiren diğer tekstil ürünlerinde sıkça kullanılır (Şekil 5). Söz konusu lifler, sadece çevreye duyarlı üretim süreçleriyle değil, aynı zamanda üstün mekanik ve konfor özellikleriyle de tekstil sektöründe sürdürülebilir bir dönüşümün anahtarı haline gelmiştir (Wang et al., 2016; Goswami et al., 2009).

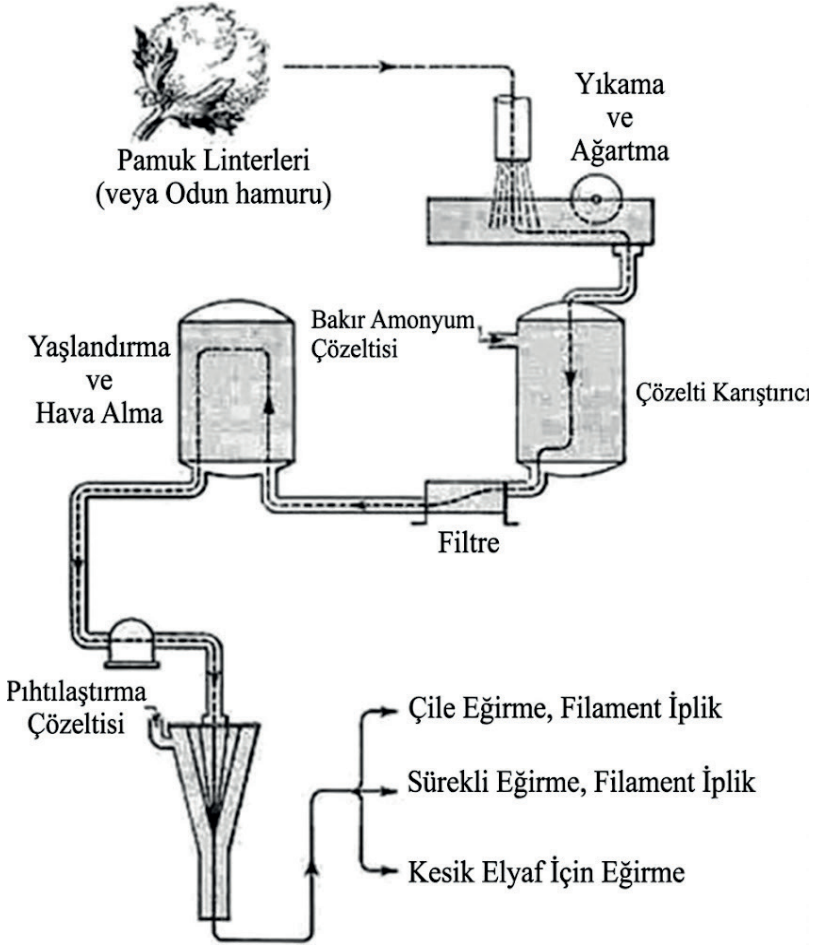


Şekil 5. Lyocell ve Modal kumaşlar (URL-5)

2.4 Kupro (Cupro)

Kupro (kupramonyum rayon) liflerinin temel hammaddesi, pamuk lifleri alındıktan sonra pamuk tohumu üzerinde kalan kısa lifler olan pamuk linterleridir; bu linterler saflaştırılarak yüksek saflıkta selüloz elde edilir. Saf selüloz, bakır (II) hidroksit ve amonyak içeren kupramonyum çözeltisi içerisinde çözündürülerek viskoz bir çözelti hâline getirilir ve bu çözelti eğirme memelerinden pıhtılaştırma (koagülasyon) banyosuna ekstrüde edilerek selüloz

yeniden rejenere edilir. Genellikle seyreltik sülfürik asit içeren bu banyoda lif formu kazanılır (Şekil 6). Üretimin devamında lifler yıkanır, ağartılır ve moleküler yönlenmeyi artırmak amacıyla gerdirilerek mukavemet ve homojenlikleri iyileştirilir. Kupro üretiminde bakır ve amonyanın kullanılması çevresel açıdan dikkat gerektirdiğinden, modern proseslerde bu kimyasalların geri kazanımına ve yeniden kullanımına olanak tanıyan kapalı döngü sistemler uygulanarak çevresel etki azaltılmaktadır (Varnaitė-Žuravlioiva et al., 2024).



Şekil 6. Kupramonyum liflerinin üretim şeması (Rana et al., 2014).

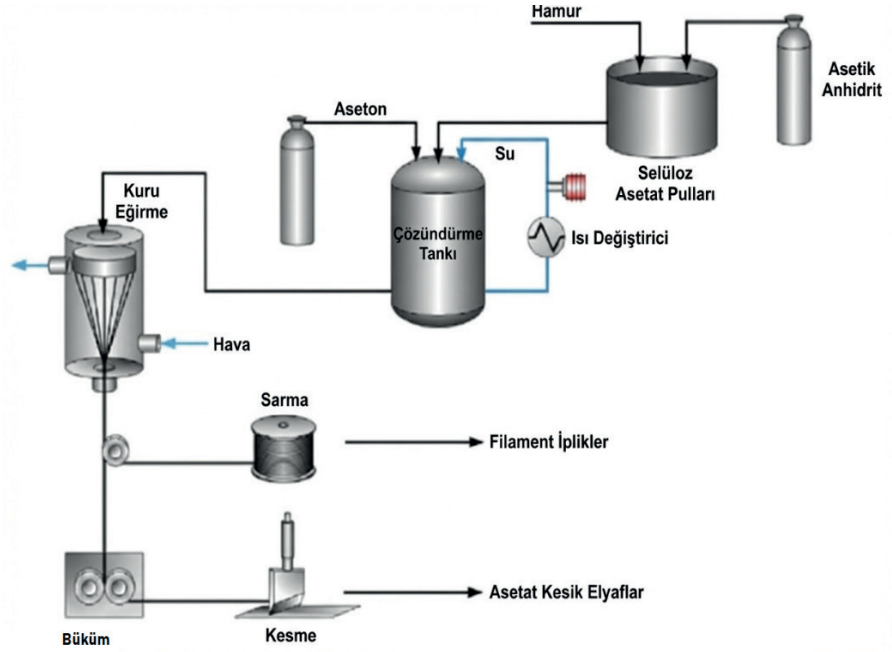
İpeksi parlaklığı, lüks dokusu ve mükemmel dökümlülük özellikleriyle öne çıkmaktadır (Şekil 7). Yüksek nem emme ve bırakma kapasitesi sayesinde özellikle üst düzey giyim ürünleri, astarlık kumaşlar ve aksesuarlarda kullanılır (Waş-Gubała et al., 2024).



Şekil 7. Kupramonyum kumaşı örneği (URL-6)

2.5 Asetat

Asetat liflerinin başlıca hammaddeleri odun hamuru ve pamuk linterleri olup, bu materyaller lignin, hemiselüloz ve diğer safsızlıkların uzaklaştırılması amacıyla saflaştırılarak yüksek saflıkta selüloz elde edilir (Cheng et al., 2010). Saflaştırılan selüloz, genellikle sülfürik asit katalizörlüğünde asetik asit ve asetik anhidrit ile reaksiyona sokularak asetillenmekte ve bu işlem sonucunda selüloz asetat oluşmaktadır. Elde edilen selüloz asetat, çoğunlukla aseton gibi uygun bir çözücü içinde çözündürülerek lif eğirmeye uygun viskoz bir çözelti hâline getirilir (Nawaz et al., 2024) ve bu çözelti eğirme düzelerinden pıhtılaştırma (koagulasyon) banyosuna ya da doğrudan havaya (kuru eğirme) ekstrüde edilerek lif formu kazandırılır (Şekil 8). Eğirme sonrasında lifler, artık çözücülerin uzaklaştırılması için yıkanmakta, polimer zincirlerinin yönlenmesini sağlamak amacıyla gerdirilmekte ve boyanabilirlik ile parlaklık gibi özellikleri geliştiren bitim işlemlerinden geçirilmektedir (Varnaitë-Žuravlioiva et al., 2024).



Şekil 8. Asetat lifi üretim prosesleri (Rana et al., 2014).

Asetat lifi üretiminde kullanılan çözücü ve kimyasalların çevresel etkilerini azaltmak amacıyla modern proseslerde çözücü geri kazanım ve yeniden kullanım sistemleri uygulanmakta; ayrıca sürdürülebilir ormancılıktan elde edilen selüloz kullanımı ve biyolojik olarak parçalanabilir asetat liflerinin geliştirilmesi, üretim sürecinin çevresel sürdürülebilirliğini artırmaktadır (Felgueiras et al., 2021). Asetat lifleri, pürüzsüz dokuları, parlak görünümleri ve nispeten düşük nem emme kapasiteleri ile tanınmakta olup (Chen et al., 2016), yumuşak ve ipeksi tuşeleri sayesinde konforlu bir kullanım sağlamaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Asetat lifinden kumaş örneği (URL-7)

3. ÜÇÜNCÜ NESİL RSL VE TEKNOLOJİK YENİLİKLER

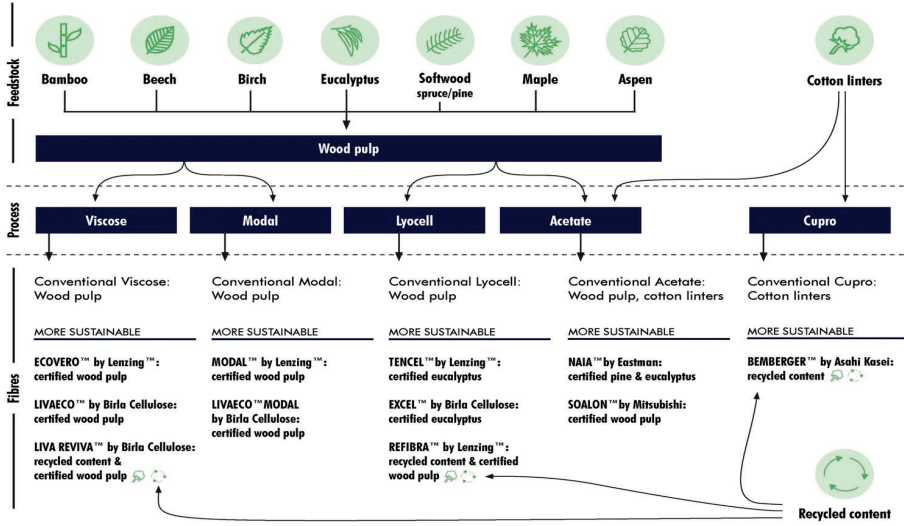
Günümüzde küresel ölçekte hız kazanan döngüsel ekonomi yaklaşımları, tekstil atıklarının geri kazanımı ve kimyasal kullanımının daha da minimize edilmesi gereksinimi, mevcut teknolojilerin ötesine geçilmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda üçüncü nesil rejenere selüloz lifleri; çevreye duyarlı veya tamamen kimyasal içermeyen üretim süreçleri, kapalı döngü çözücü sistemleri ve geri dönüştürülmüş ya da alternatif selüloz kaynaklarının kullanımıyla, rejenere selüloz lif teknolojilerinde sürdürülebilirlik odaklı bir paradigma değişimini temsil etmektedir (Sharma et al., 2019; Shen et al., 2023).

Odun hamurunun elde edilmesinde tercih edilen hammadde kaynakları ile selülozun lif hâline getirilmesi sırasında kullanılan çözücü ve kimyasal sistemler, rejenere liflerin çevresel sürdürülebilirlik düzeyini doğrudan belirleyen temel unsurlar arasındadır. Aşağıda sunulan şekilde, farklı hammadde kaynakları ile bunlara eşlik eden başlıca kimyasal üretim yöntemlerinin yaygın kombinasyonları özetlenmektedir (Şekil 10).

Kuramsal olarak rejenere selüloz lifleri, selüloz içeren her türlü biyokütleden üretilebilse de, endüstriyel uygulamalarda belirli hammadde türleri öne çıkmaktadır. Bu kapsamda bambu, okaliptüs, kayın, huş ve iğne yapraklı ağaçlar (ladın ve çam gibi) en yaygın kullanılan selüloz kaynaklarını oluşturmaktadır. Bununla birlikte Kupro liflerinin üretimi, diğer rejenere liflerden farklı olarak, pamuk endüstrisinin yan ürünü olan pamuk linterlerinin hammadde olarak kullanılmasıyla istisnai bir örnek teşkil etmektedir (Anonim, 2025).

Rejenere selüloz liflerinin üretiminde kullanılan odun hamurunun, bazı durumlarda kadim ya da korunması gereken orman alanlarının tahribatıyla ilişkilendirildiği bilinmektedir. Bununla birlikte, kullanılan ağaç türleri

arasında çevresel etki açısından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin bambu ve okaliptüs gibi bitkiler, tarıma elverişli olmayan alanlarda yetiştirilebilmeleri sayesinde daha avantajlı hammadde kaynakları olarak değerlendirilmektedir. Doğal ormanların yok edilmesi, yerli toplulukların yaşam biçimlerini ve geçim kaynaklarını da tehdit edebildiğinden, FSC veya PEFC gibi sürdürülebilir ormancılık sertifikalarına sahip kaynaklardan elde edilen odunun tercih edilmesi bu toplulukların korunmasına katkı sağlamaktadır (Anonim, 2025).



Şekil 10. Üçüncü nesil rejenere selüloz lifler (URL-8)

3.1 Yeni nesil viskon

Bu çerçevede, Lenzing tarafından geliştirilen ECOVERO™ ve Birla Cellulose tarafından üretilen Livaeco™ gibi daha sürdürülebilir viskon markaları, yalnızca FSC veya PEFC sertifikalı ve kontrollü odun kaynaklarını kullanmakta; geleneksel viskona kıyasla daha düşük fosil enerji ve su tüketimiyle üretilmektedir. Ayrıca her iki lif türü de tamamen biyolojik olarak parçalanabilir özellikte olup tedarik zinciri boyunca izlenebilirlik sunarak şeffaflığı artırmaktadır. ECOVERO™ markalı viskon lifleri, bunun yanı sıra uluslararası geçerliliğe sahip EU Ecolabel sertifikası ile de belgelendirilmektedir (Anonim, 2025).

3.2 Yeni nesil modal

LENZING™ Modal liflerinin üretiminde yalnızca Avusturya’da yetişen, yağmur suyu ile beslenen ve FSC veya PEFC sertifikasına sahip kayın ağaçları kullanılmaktadır. Üretim sürecinde kullanılan kimyasalların yaklaşık %95’inin geri kazanılarak yeniden kullanılması, çevresel yükün önemli ölçü-

de azaltılmasını sağlamakta; ayrıca LENZING™ Modal üretimi karbon nötr olarak gerçekleştirilmektedir. Benzer şekilde Birla Cellulose tarafından üretilen Livaeco™ MODAL lifleri de sürdürülebilir orman yönetimini belgeleyen FSC ve PEFC sertifikalı hammadde kaynaklarına dayanmaktadır. Birla Cellulose, Livaeco™ MODAL üretiminde geleneksel modal liflerine kıyasla sera gazı salımlarının ve su tüketiminin belirgin biçimde daha düşük olduğunu belirtmektedir. Her iki modal lifi de tamamen biyolojik olarak parçalanabilir nitelikte olup, tedarik zinciri boyunca izlenebilirlik sunarak şeffaflığı desteklemektedir (Anonim, 2025).

Micromodal Süreci

Micromodal, Lenzing AG tarafından geliştirilmiş, yüksek saflıkta kayın ağacı odun hamurundan üretilen bir modal lifidir. Üretim süreci viskon işlemine dayanmakla birlikte, bazı modifikasyonlar içerir: %100 kayın ağacı odun hamuru, yüksek alfa-selüloz içeriğiyle (>95%) daha homojen bir lif yapısı sağlar. Sürekli bir prosesle, geleneksel viskondan daha ince filamentler (1.0 dtex altı) üretilir. Bu ince filamentler, yumuşaklık ve parlaklık gibi üstün özellikler kazandırır (Goswami et al., 2009).

3.3 Yeni nesil lyocell

Piyasada yaygın olarak bilinen lyocell lifleri arasında Lenzing tarafından üretilen TENCEL™ ile Birla Cellulose'un Birla Excel™ markası öne çıkmaktadır. Rejenere selüloz liflerinin tamamında olduğu gibi, lyocell üretiminde de hammadde temininin sürdürülebilirliği temel bir tartışma konusudur. Bu doğrultuda hem Lenzing hem de Birla Cellulose, sertifikalı ormanlardan elde edilen odunu tercih etmekte; hızlı büyüyen, yerel ve doğal yağışla beslenen okalptüs, bambu ve kayın gibi ağaç türlerini öncelikli hammadde kaynakları olarak kullanmaktadır. Lyocell, çevresel performansı en yüksek rejenere selüloz liflerinden biri olarak kabul edildiğinden, özellikle geri dönüşüm temelli uygulamalar açısından önemli bir yenilik potansiyeline sahiptir.

Bu kapsamda Lenzing, 2017 yılında ticari ölçekte geri kazanılmış hammaddeler içeren ilk lyocell lifi olan REFIBRA™ teknolojisini piyasaya sunmuştur (Lenzing, 2025). Üretimde %30 oranında sanayi öncesi pamuk atığı kullanılmaktadır. Bu inovasyon, tekstil atıklarını yüksek kaliteli liflere dönüştürerek çöplüklere giden atık miktarını ve doğal kaynak kullanımını eş zamanlı olarak azaltmaktadır (Periyasamy & Militky, 2020). Ayrıca, Lenzing TENCEL® liflerinin üretiminde, belediye atıklarının yakılmasıyla geri kazanılan enerji kullanılmaktadır. Birla Cellulose de rejenere selüloz lifleri sektöründe Kapsam 1 ve Kapsam 2 sera gazı emisyonları açısından karbon nötr olduğunu beyan eden ilk şirket olduğunu belirtmektedir.

Çeşitli firmalar, pamuk esaslı kumaşların mekanik yollarla geri kazanılmasına odaklanarak elde edilen lifleri, çoğunlukla farklı lif türleriyle karış-

tırıp iplik üretiminde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Sürdürülebilirliği artırmak için ise pamuklu tekstil atıkları, kimyasal yöntemlerle geri dönüştürülmüş selülozik hamura dönüştürülmekte ve bu hamurdan yeni nesil selüloz lifleri elde edilmektedir. Infinna™ (Infinited Fiber) ve HeiQ AeonIQ™ (HeiQ) bu yaklaşımla geliştirilen liflere örnek olarak gösterilebilir (Rodrigues et al., 2024).

3.4 Yeni nesil asetat

Mitsubishi tarafından geliştirilen Soalon™ ile Eastman üretimi Naia™ lifleri, üretim süreçlerinde çevresel ve kimyasal yönetimi güvence altına alan Bluesign® ve Sıfır Tehlikeli Kimyasal Deşarjı (ZDHC) sistemlerini uygulamaktadır. Bu sistemler, kullanılan organik çözücülerin uygun şekilde arıtılmasını, geri kazanılmasını ve yeniden kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca her iki lif türü de OEKO-TEX® Standard 100 sertifikasına sahip olup, zararlı maddeler içermediğini belgelemektedir. Eastman, 2020 yılında Naia™ liflerinin kesikli (staple) formunu da piyasaya sunarak kullanım alanlarını genişletmiştir. Eastman tarafından üretilen Naia™ lifleri, ABD Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından biyobazlı (organic/biobased) olarak sertifikalandırılmış olmanın yanı sıra biyolojik olarak parçalanabilir ve TÜV Austria tarafından kompostlanabilir olarak belgelendirilmiştir (Eastman, 2020). Naia lifleri, çevre-dostu üretim yöntemi ile düşük karbon ayak izi, yumuşak tutumu ile nem yönetimi, renk dayanımı ve drapaj kabiliyeti gibi üstün özellikleri nedeniyle moda, ev tekstili ve teknik uygulamalarda geniş kullanım bulmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Naia kumaş ve ürün örnekleri (URL-9, 10)

Soalon™ lifleri ise Japonya Organik Geri Dönüşüm Birliği tarafından biyokütle sertifikasına sahip olup, yenilenebilir kaynak temelli üretim yaklaşımını desteklemektedir. Selüloz asetat lifi üretimi, doğal selülozun organik çözücülerle sıvılaştırılıp kuru eğirme yöntemiyle lif haline getirilmesine dayanan sürdürülebilir bir süreçtir. Sürecin merkezinde, buharlaşan organik çözücünün boru sistemleriyle toplanıp %100'e yakın bir verimle tekrar üretime dahil edildiği kapalı döngü (closed-loop) sistemi yer almaktadır. Sadece

çözücü değil; hatalı üretilen iplikler ve masura çekirdekleri gibi yan bileşenler de döngüye geri kazandırılarak kaynak verimliliği maksimize edilir. Bu döngüsel model, çevresel etkiyi minimize ederken tekstil endüstrisi için farklı kalınlık ve işlevselliklerde yüksek performanslı rejenere liflerin üretilmesine olanak tanır (Soalon, 2025). Soalon, iplik kombinasyonlarına ve kumaş yapısına bağlı olarak yumuşak tuşeli, saten, şantuk (slub) ve benzeri çok çeşitli dokular üretir (Şekil 12).



Şekil 12. Soalon kumaş örnekleri (URL-11)

3.5 Yeni nesil kupro

Kupro liflerinin günümüzdeki tek üreticisi Japonya merkezli Asahi Kasei şirkettir ve bu lifler Bemberg™ markası altında piyasaya sunulmaktadır. Asahi Kasei, kupro liflerinin üretiminde kullanılan çözelti içerisindeki bakırın %99,9'unu geri kazanabildiğini belirtmekte; bu sayede neredeyse hiç yeni bakır girdisine ihtiyaç duymadan üretim gerçekleştirebilmektedir. Şirket tarafından üretilen kupro lifleri, zararlı maddeler içermediğini belgeleyen OEKO-TEX® Standard 100 sertifikasına sahiptir. Kupro üretimiyle ilişkili doğrudan arazi kullanımı oldukça sınırlıdır; zira hammadde olarak kullanılan pamuk linterleri, pamuk tohumu üretiminin bir yan ürünü olup aksi hâlde atık olarak değerlendirilecektir. Asahi Kasei'nin Bemberg™ markası altında sunduğu kupro lifleri, %100 GRS (Global Recycled Standard) sertifikalı olup biyolojik olarak parçalanabilir nitelik taşımaktadır (Asahi Kasei, 2025). Bemberg™, doğal liflerin biyouyumlu dokusunu, sentetik liflerin teknik performansı ile harmanlamaktadır. Sahip olduğu yüksek higroskopik kapasite sayesinde mükemmel bir termal konfor sunarken, düşük sürtünme katsayısı ve antistatik özellikleri sayesinde giysilerde pürüzsüz bir kayma ve dökümlülük sağlar (Şekil 13).



Şekil 13. Bemberg kumaş örneği (URL-12)

Böylece “üçüncü nesil” rejenere selüloz lifleri, sürdürülebilirliği artırmak, performans özelliklerini iyileştirmek ve özel işlevsellikler kazandırmak amacıyla tasarlanmış olup, tekstil ve malzeme bilimi alanındaki güncel sorunlara yanıt vermektedir. Bu lifler, biyouyumluluk ve biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi selülözün doğal avantajlarından yararlanırken, geleneksel üretim yöntemleriyle ilişkili çevresel etkileri azaltmayı hedeflemektedir (Tu et al., 2022; Varnaitė-Žuravliova & Baltušnikaitė-Guzaitienė, 2024).

Bunların yanı sıra Spinnova® ve Ioncell® gibi yeni teknolojiler, selülozu çözmeden veya düşük çevresel etkiye sahip iyonik çözücülerle işleyerek lif üretimini gerçekleştirmekte ve klasik viskon proseslerine kıyasla çok daha düşük karbon ayak izi sunmaktadır (Sixta et al., 2015).

3.6 Sürdürülebilir yeni teknolojiler

Ioncell

Ioncell teknolojisi, rejenere selüloz liflerinin üretiminde daha çevreci ve sürdürülebilir bir yaklaşım sunan yenilikçi bir yöntemdir. Finlandiya’daki Aalto Üniversitesi araştırmacıları tarafından geliştirilen bu teknoloji, odun hamuru, pamuk ve geri dönüştürülmüş tekstiller gibi farklı selüloz kaynaklarını çözündürmek için iyonik sıvılar adı verilen toksik olmayan ve çevre dostu çözücüler kullanmaktadır. Çözündürülmesinin ardından, kuru-jet yaş eğirme (dry-jet wet spinning) yöntemi kullanılarak selülozu lif hâline getirerek, iplik ve kumaş üretimine hazırlamakta, kapalı döngü sistem sayesinde çözücüler geri kazanılmakta ve su ile kimyasal tüketimi önemli ölçüde azaltılmaktadır (Ioncell, 2025).

Atık bazlı hammaddelerin değerlendirilmesine olanak tanınması, Ioncell’i döngüsel ekonomi açısından öne çıkarırken; biyolojik olarak parçalanabilir yapısı, düşük enerji ve su ihtiyacı ile çevresel etkiyi azaltmaktadır. Bunun

yanı sıra, yüksek mukavemet, yumuşaklık ve nefes alabilirlik gibi istenen performans özelliklerini sunan Ioncell lifleri; giyim, ev tekstilleri ve teknik tekstiller dâhil olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahip olup, sürdürülebilir tekstil üretimi için güçlü bir alternatif oluşturmaktadır (Sixta et al., 2015).



Şekil 14. Ioncell teknolojisi ile üretilmiş elyaf ve kumaş örnekleri (URL-13)

Spinnova

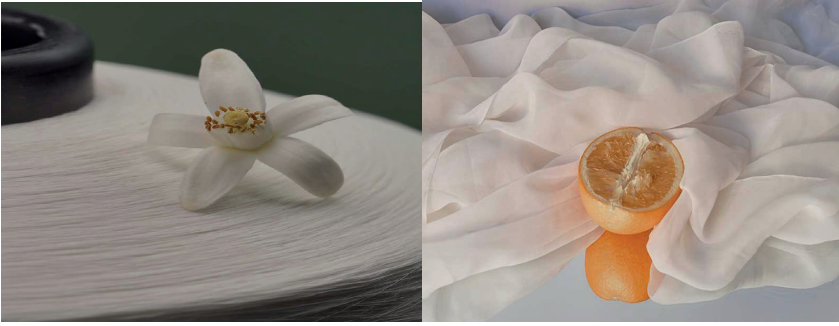
Öte yandan, Spinnova® teknolojisi ise rejenere selüloz üretiminde kimyasal kullanımını tamamen ortadan kaldıran radikal bir adım sunar. Spinnova, selülozu (odun veya tarımsal atık gibi kaynaklardan) mekanik olarak mikrofibriller haline getirir ve bunları bir hidro-dinamik süreçle lif ve iplik haline getirir (Spinnova, 2025). Bu çığır açan mekanik eğirme yöntemi, Lyocell'in gerektirdiği NMMO çözücüsü dahil olmak üzere hiçbir zararlı kimyasal veya aşırı su tüketimi gerektirmeyerek, lifi %100 geri dönüştürülebilir kılmaktadır. Spinnova, endüstriyel ölçekte kimyasal içermeyen ilk selüloz lifi üretim yöntemlerinden biri olarak, tekstil sektörünün çevre dostu geleceği için büyük bir potansiyel taşımaktadır (Myllys, 2018).



Şekil 15. Spinnova kumaş örnekleri (URL-14, 15)

Rejenere selüloz liflerinin üretimi, biyokütlenin kontrollü kimyasal işlemler aracılığıyla tekstil liflerine dönüştürülmesini esas alan ileri teknoloji süreçlerine dayanmaktadır. Bu dönüşüm yaklaşımı, özellikle tarımsal ve

lignoselülozik atıkların yüksek katma değerli lif hammaddelerine dönüştürülebileceğini ortaya koyarak hem kaynak verimliliğini artırmakta hem de çevresel yükün azaltılmasına yönelik yenilikçi çözümler sunmaktadır. Örneğin, Orange Fiber adlı İtalyan bir girişim, turuncu endüstrisinin yan ürünlerinden selüloz elde ederek asetat esaslı kumaşlar üretmeye yönelik bir proses geliştirmiştir (Orangefiber, 2025). Portakal kabuğu atıklarının değerlendirilmesiyle elde edilen bu yenilikçi kumaş, dokusal özellikleri, yumuşak tuşesi, doğal parlaklığı ve renk tutma kabiliyeti bakımından ipek benzeri bir karakter sergilemektedir. Biyolojik olarak parçalanabilir yapısı sayesinde çevre dostu bir alternatif sunan bu malzeme, pamuk, ipek ve elastan gibi farklı liflerle kolaylıkla harmanlanabilmesi sayesinde tekstil tasarımında geniş bir kullanım esnekliği sağlamaktadır (Kaygusuz, 2024).



Şekil 16. Orangefiber iplik ve kumaş örneği (URL-16)

Yeni nesil rejenere selüloz lifleri tekstil endüstrisini toksik kimyasallardan arındırılmış, su ve enerji açısından verimli, kapalı döngü veya düşük etkili üretim süreçlerine taşımaktadır. Bu lif sistemleri yalnızca çevresel ayak izinin azaltılmasına katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda yüksek ıslak mukavemet, etkin nem yönetimi, düşük pilling eğilimi ve yumuşak tuşe gibi üstün performans özellikleriyle kullanıcı konforunu artırmaktadır (Varnaitė-Žuravlioiva & Baltušnikaitė-Guzaitienė, 2024). Böylece hem sürdürülebilir üretim kriterlerini karşılayan hem de yüksek performans sunan bu lifler, geleceğin sürdürülebilir ve teknik açıdan gelişmiş tekstil malzemelerinin temelini oluşturmaktadır.

4. SONUÇ VE GELECEKTEKİ POTANSİYEL

Sonuç olarak, rejenere selüloz lifleri (RCF) alanındaki gelişmeler; sürdürülebilirlik, teknolojik yenilik ve performans beklentilerinin birlikte ele alındığı çok yönlü bir dönüşümü ortaya koymaktadır. Doğal selüloz temelli bu lifler, tekstil endüstrisinin çevresel baskılarını azaltmaya yönelik önemli çözümler sunarken, aynı zamanda moda, sağlık ve teknik tekstiller gibi farklı alanların fonksiyonel gereksinimlerini karşılamaktadır. Selülozun viskon, lyocell, modal, kupro ve asetat gibi liflere dönüştürülmesi; yumuşaklık, nefes

alabilirlik, yüksek mukavemet ve konfor gibi özelliklerin bir arada sağlanmasını mümkün kılmıştır.

Yenilenebilir ve alternatif hammadde kaynaklarının kullanımı, kapalı döngü üretim sistemleri ve düşük çevresel etki hedefleri sayesinde bu yeni nesil lifler, tekstil sektöründe döngüsellik ve kaynak verimliliğini ileri bir seviyeye taşımaktadır. Buna karşın, rejenere selüloz liflerinin yaygınlaşmasında üretim maliyetleri, ölçeklenebilirlik, geri dönüşüm altyapısı ve pazar algısı gibi bazı yapısal zorluklar hâlen önemini korumaktadır. Ancak üçüncü nesil rejenere lif üretiminde toksik olmayan çözücüler, kimyasal içermeyen veya düşük kimyasal kullanımlı süreçler ve atık bazlı hammaddelerle bu engellere yenilikçi yaklaşımlar yer almaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, rejenere selüloz liflerinin gelişim süreci; çevresel sorumluluk, ileri malzeme bilimi ve kullanıcı odaklı performansın bütüncül bir biçimde ele alındığı, tekstil endüstrisini daha sürdürülebilir bir geleceğe taşıyan güçlü bir paradigma değişimini temsil etmektedir.

Rejenere selüloz lifleri (RSL) alanında gelecekte yapılacak çalışmaların, özellikle çevresel etkiyi daha da azaltan üretim teknolojileri, atık bazlı ve alternatif selüloz kaynaklarının etkin kullanımı ve lif performansının geliştirilmesi üzerine yoğunlaşması beklenmektedir. Bu kapsamda, tarımsal ve tekstil atıklarından yüksek saflıkta selüloz elde edilmesine yönelik ileri ayırma ve saflaştırma yöntemleri, kimyasal kullanımını en aza indiren veya tamamen ortadan kaldıran mekanik ve biyoteknolojik prosesler ile kapalı döngü sistemlerin endüstriyel ölçekte yaygınlaştırılması önemli araştırma başlıkları arasında yer almaktadır. Ayrıca, RSL'lerin fonksiyonel özelliklerinin (anti-bakteriyel etki, UV koruma, nem yönetimi ve mekanik dayanım gibi) modifikasyon teknikleriyle iyileştirilmesi, akıllı ve teknik tekstil uygulamalarına entegrasyonunu mümkün kılacaktır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), geri dönüşüm ve yeniden liflendirme süreçleri ile standartlaştırılmış sürdürülebilirlik ölçütlerinin geliştirilmesi de RSL'lerin döngüsel ekonomi içindeki rolünü güçlendirecek ve bu liflerin tekstil endüstrisinde uzun vadeli, sürdürülebilir bir alternatif olarak konumlanmasına katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Anonim (2025). <https://www.win-win.info/journal/regenerated-cellulosic-fibres-viscose-modal-lyocell-cupro-tri-acetate> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- Chen, H.-L., Burns, L. D. (2006). Environmental Analysis of Textile Products. *Clothing and Textiles Research Journal*, 24(3), 248-261. <https://doi.org/10.1177/0887302X06293065>.
- Cheng H.N., Dowd M.K., Selling G.W., Biswas A. (2010). Synthesis of cellulose acetate from cotton byproducts. *Carbohydr. Polym.* 80, 449-452. doi: 10.1016/j.carbpol.2009.11.048.
- Chen J., Xu J., Wang K., Cao X., Sun R. (2016). Cellulose acetate fibers prepared from different raw materials with rapid synthesis method. *Carbohydr. Polym.* 137, 685-692. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.11.034
- Eastman. (2020). Naia™ Cellulose Acetate Fiber: Sustainability Profile. Eastman Chemical Company Teknik Raporu.
- Edgar, K. J., and Zhang, H. (2020). Antibacterial modification of lyocell fiber: a review. *Carbohydrate Pol.* 250:116932. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116932
- Felgueiras, C., Azoia, N.G., Gonçalves, C., Gama, M., Dourado, F. (2021). Trends on the Cellulose-Based Textiles: Raw Materials and Technologies. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 9:608826. doi: 10.3389/fbioe.2021.608826
- Goswami, P., Blackburn, R. S., Taylor, J., Westland, S. (2009). *Dyeing of Lyocell and Modal fibres*. In *Advances in Textile Dyeing and Finishing* (pp. 123-145). Woodhead Publishing.
- Jiang, G., Huang, W., Li, L., Wang, X., Pang, F., Zhang, Y., Wang, H. (2012). Structure and properties of regenerated cellulose fibers from different technology processes. *Carbohydrate Polymers*, 87(3), 2043-2049.
- Kadolph, S. J. & Marcketti, S. B. (2017). *Textiles: Basics* (12th ed.). Pearson.
- Kaygusuz, M. (2024). *Tekstil İçin Potansiyel Lif Kaynağı Olarak Gıda ve Tarımsal Atıklar*. Ed. M. Kaygusuz. Serüven Yayınevi, Ankara, Türkiye.
- Kim, T., Kim, D., Park, Y. (2022). Recent progress in regenerated fibers for “green” textile products. *Journal of Cleaner Production*, 375, 134091
- Klemm D., Heublein B., Fink H.P., Bohn A. (2005). Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angew. Chem. Int. Ed.* 44:3358-3393. doi: 10.1002/anie.200460587.
- Kreze T., Malej S. (2003). Structural characteristics of new and conventional regenerated cellulosic fibers. *Text. Res. J.* 73:675-684. doi: 10.1177/004051750307300804.
- Kumar, P.S., Suganya, S. (2017). Introduction to the sustainable fibres and textiles. In *Sustainable Fibres and Textiles*, 1st ed.; Mathu, S., Ed.; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, p. 12
- Lawson, L., Ford, M., Hoque, M. S., Chute, W., Bressler, D. C., Dolez, P. I. (2023). Processes and Challenges for the Manufacturing of Lyocell Fibres with Alter-

- native Agricultural Feedstocks. *Applied Sciences*, 13(23), 12759. <https://doi.org/10.3390/app132312759>.
- Lenzing (2025). REFIBRA™ technology <https://www.lenzing.com/newsroom/news-events/refibratm-technology-lenzings-initiative-to-drive-circular-economy-in-the-textile-world/> (Erişim tarihi 20.12.2025).
- Majumdar, D., Bhanarkar, A., Rao, C., Gouda, D. (2022). Carbon disulphide and hydrogen sulphide emissions from viscose fibre manufacturing industry: A case study in India, *Atmospheric Environment*, 13, 100157. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2022.100157>.
- Myllys, M. (2018). *Spinnova - The most sustainable textile fibre in the world*. 5th European Congress of Conservation Biology. doi: 10.17011/conference/eccb2018/108648
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2014). *Carbon Disulfide*. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards.
- Nawaz H., He A., Wu Z., Wang X., Jiang Y., Ullah A., Xu F., Xie F. (2024). Revisiting various mechanistic approaches for cellulose dissolution in different solvent systems: A comprehensive review. *Int. J. Biolog. Macromol.* 273:133012. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.133012.
- Okubayashi, S., Griesser, U. J., Bechtold, T. (2004). *A kinetic study of moisture sorption and desorption on lyocell fibers*. *Carbohydrate Polymers*, 58(3), 293–299. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.07.004>
- Orangefiber (2025). <https://orangefiber.it/> (Erişim tarihi 19.12.2025).
- Parajuli, P., Acharya, S., Rumi, S. S., Hossain, T., Abidi, N., Hossain, M. T. (2021). Regenerated cellulose in textiles: rayon, lyocell, modal and other fibres. *Fundamentals of Natural Fibres and Textiles*.
- Peng, H., Dai, G., Wang, S., Xu, H. (2017). The evolution behavior and dissolution mechanism of cellulose in aqueous solvent. *J. Mol. Liquids* 241, 959-966. doi: 10.1016/j.molliq.2017.06.103.
- Periyasamy, A.P., Militky, J. (2020). Sustainability in Regenerated Textile Fibers. In: Muthu, S.S., Gardetti, M.A. (eds) *Sustainability in the Textile and Apparel Industries. Sustainable Textiles: Production, Processing, Manufacturing & Chemistry*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38013-7_4
- Rana, S., Pichandi, S., Parveen, S., Fanguero, R. (2014). Regenerated Cellulosic Fibers and Their Implications on Sustainability.
- Rodrigues, L., Marques, R., Dias, J. C., Magalhães, B., Santos, A., Amorim, C., Carta, A. M., Pinto, P., Silva, C. J. (2024). Added-Value of Cotton Textile Waste for Nonwoven Applications. *Textiles*, 4(3), 309-327. <https://doi.org/10.3390/textiles4030018>
- Sayyed, A.J., Deshmukh, N.A., Pinjari, D.V. (2019). A critical review of manufacturing processes used in regenerated cellulosic fibres: viscose, cellulose acetate, cuprammonium, LiCl/DMAc, ionic liquids, and NMMO based lyocell. *Cellu-*

lose 26, 2913-2940 <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02318-y>

- Sharma, A., Nagarkar, S., Thakre, S., Kumaraswamy, G. (2019). Structure–property relations in regenerated cellulose fibers: comparison of fibers manufactured using viscose and lyocell processes. *Cellulose* 26, 3655-3669. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02352-w>.
- Shen, H., Sun, T., Zhou, J. (2023). Recent Progress in Regenerated Cellulose Fibers by Wet Spinning. *Macromolecular Materials and Engineering*, 308(9), 2300089.
- Sixta, H., Michud, A., Hauru, L., Asaadi, S., Ma, Y., King, A. W. T., Kilpelainen, I., Hummel, M. (2015). Ioncell-F: A High-strength regenerated cellulose fibre. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 30(1), 43-57. <https://doi.org/10.3183/NPPRJ-2015-30-01-p043-057>
- Soalon (2025). <https://soalon.com/en/process-en/> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- Spinnova (2025). <https://spinnova.com/> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- Textile Exchange, 2024. Preferred Fiber & Materials Market Report 2024. <https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/materials-market-report-2024/> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- Tu, H., Li, X., Liu, Y., Luo, L., Duan, B., Zhang, R. (2022). Recent progress in regenerated cellulose-based fibers from alkali/urea system via spinning process. *Carbohydrate Polymers*, 295, 119859.
- Varnaitė-Žuravliova S, Baltušnikaitė-Guzaitienė J. (2024). Properties, Production, and Recycling of Regenerated Cellulose Fibers: Special Medical Applications. *J Funct Biomater*. Nov 16;15(11):348. doi: 10.3390/jfb15110348
- Wang, Y. S., Koo, W. M., Kim, H. D. (2003). Preparation and Properties of New Regenerated Fibers. *Textile Research Journal*, 73(11), 1014–1018.
- Wang, Y., Zhang, L., Zhang, X. (2016). Structure and Properties of Lyocell Fibers Spun from Cellulose/NMMO/H₂O Solutions. *Cellulose*, 23(1), 429-438.
- Wąs-Gubała, J., Migdał, M., Brożek-Mucha, Z. (2024). Forensic Discrimination of Various Subtypes of Regenerated Cellulose Fibers in Clothing Available on the Consumer Market. *Fibers*, 12(10), 85. <https://doi.org/10.3390/fib12100085>
- Woodings, C. (2001). *Regenerated Cellulose Fibres*. Woodhead Publishing
- Zhang, S., Chen, C., Duan, C., Hu, H., Li, H., Li, J., Liu, Y., Ma, X., Stavik, J., and Ni, Y. (2018). Regenerated cellulose by the Lyocell process, a brief review of the process and properties, *BioRes*. 13(2). 4577-4592.

Görsel kaynakları

- URL-1. <https://sites.psu.edu/hancocklab/research/cellulase-motility/> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- URL-2. <https://www.techsciresearch.com/blog/regenerated-cellulose-fibers-knowing-more-about-the-fiber-of-the-future/4478.html> (Erişim tarihi 19.12.2025)

- URL-3. <https://textilestudycenter.com/viscose-rayon-production/> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- URL-4. <https://textile-yarn.com/blog/viscose-rayon/> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- URL-5. <https://www.tencel.com/fibers> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- URL-6. https://texsuppliers.com/what-is-cupro-fabric?srltid=AfmBOopEiGTZ-mqEOK_p4Dyy23_wxyinzqFlpA0_StyRQececX-G88lC_A (Erişim tarihi 19.12.2025)
- URL-7. <https://modaknits.com/acetate-fabric/> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- URL-8. <https://www.win-win.info/journal/regenerated-cellulosic-fibres-viscose-modal-lyocell-cupro-tri-acetate> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- URL-9. <https://www.eastman.com/en/products/brands/naia/products> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- URL-10. <https://www.eastman.com/en/products/brands/naia/applications/home-textiles> (Erişim tarihi 19.12.2025)
- URL-11. <https://soalon.com/en/product-en/> (Erişim tarihi 20.12.2025)
- URL-12. <https://www.asahi-kasei.co.jp/fibers/en/bemberg/> (Erişim tarihi 20.12.2025)
- URL-13. www.ioncell.fi (Erişim tarihi 19.12.2025)
- URL-14. <https://marinaveziko.com/SPINNOVA> (Erişim tarihi 20.12.2025)
- URL-15. https://www.marimekko.com/com_en/m/sustainability/marimekko-x-spin-nova (Erişim tarihi 20.12.2025)
- URL-16. <https://orangefiber.it/sample-kit/> (Erişim tarihi 20.12.2025)



**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE DÖNGÜSEL
EKONOMİ PERSPEKTİFİNDEN DERİ SANAYİ:
ÇEVRESEL VE SOSYAL YAŞAM DÖNGÜSÜ
YAKLAŞIMLARINA DAYALI BİR DERLEME**

“

”

Fazlı AKYÜZ¹

¹ Dr. Öğr. Uyesi, İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Teknik Bilimler Meslek
Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Su ve Atık Yönetimi
Teknikerliği Programı, fazli.akyuz@iuc.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-5629-8764

GİRİŞ

Deri sanayisi, insanlık tarihi kadar eski üretim faaliyetlerinden biri olmasına karşın, günümüz endüstriyel yapısı içerisinde en yoğun çevresel ve sosyal etkileri olan sektörlerden biridir. Çoğunlukla krom tabaklamaya dayalı üretim yöntemlerinin yaygınlığı; yüksek su tüketimi, kimyasal kullanımına bağlı kirlilik, tehlikeli atık oluşumu ve iş sağlığı riskleri gibi çok boyutlu sorunları beraberinde getirmektedir (Bacardit vd., 2020; Colantoni vd., 2017; Rahmadsyah, Pulansari ve Dewi, 2025). Tüm bu etkenler, deri sanayini sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi tartışmalarının merkezine yerleştirmektedir.

Son yıllarda artan akademik ve sektörel çalışmalar, sektörün çevresel performansının yalnızca üretim süreçlerinin iyileştirmesiyle değil; yeniden kurgulanmış ve kapsayıcı bir üretim anlayışının geliştirilmesiyle arzu edilen düzeylere ulaşabileceğini ortaya koymaktadır (Karuppiyah vd., 2023; Sukarsono vd., 2025). Döngüsel ekonomi yaklaşımı, bu yeniden kurgulama sürecinde doğrusal “al–üret–at” modelinin yerine; kaynakların daha verimli kullanılmasını, atıkların yok denilecek düzeye kadar azaltılmasını ve değer zinciri boyunca kapalı döngüleri esas alan bir paradigma sunmaktadır.

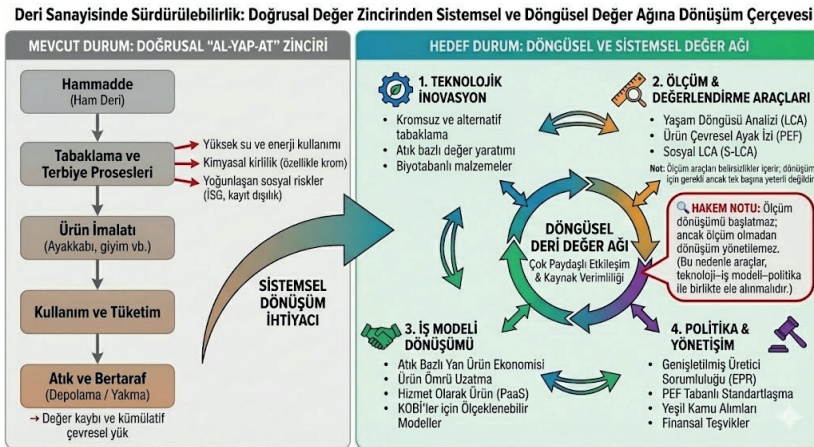
Ayrıca sürdürülebilir bir deri sanayi, yalnızca azaltılmış çevresel etkileriyle değil; aynı zamanda ekonomik dayanıklılık ve sosyal sorumluluk konularını da kapsayan çok yönlü bir dönüşüm sürecini ifade etmelidir. Böylesi bir dönüşümün bilimsel temellerini ise Yaşam Döngüsü Analizi (LCA), Ürün Çevresel Ayak İzi (PEF) ve Sosyal Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (S-LCA) gibi metodolojik araçlar oluşturmaktadır (Finkbeiner, 2015; Lehmann vd., 2016; Bach vd., 2018).

Ancak akademik çalışma raporları sürdürülebilirlik değerlendirmelerde başvurulmuş bu tür araçların, mutlak doğrular sunan teknik sistemlerden ziyade, alınan kararları destekleyici ve bağlama duyarlı yaklaşımlar olarak ele alınması gerektiğine işaret etmektedirler (Pedersen & Remmen, 2022). Özellikle deri ve ayakkabı sanayisi gibi gerek üretim süreçleri ve gerekse coğrafi dağılımı yüksek olan sektörlerde, metodolojik belirsizlikler ve veri kalitesi sorunları söz konusu olduğundan değerlendirme sonuçları bunlardan önemli ölçüde yanılmalara neden olabilecek boyutlarda etkilenebilmektedir (Bònoli vd., 2016; Bodoga vd., 2024).

Dikkat çeken bir diğer konu ise, sürdürülebilirlik tartışmalarının çevresel boyutla sınırlı kalmasından dolayı, deri sanayinin sosyal etkilerinin görülememesine yol açabilmektedir. İşçi sağlığı ve güvenliği, yerel topluluklar üzerindeki çevresel baskılar ve etik üretim koşulları; S-LCA yaklaşımı çerçevesinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Hira vd., 2022; Bielak & Marcinkowska, 2022). Buna karşın sosyal etki değerlendirmelerinin metodolojik olarak çevresel LCA kadar olgunlaşmamış olması, bütüncül sürdürülebilirlik analizlerinin önünde önemli bir engel olarak durmaktadır.

Bu kitap bölümü, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi perspektifinden deri sanayisini; teknolojik dönüşümler, metodolojik yaklaşımlar ve yönetim dinamikleri ekseninde ele almayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, krom temelli geleneksel üretim sistemlerinin çevresel ve sosyal sınırları; bitkisel tabaklama, enzimatik prosesler, biyotabanlı malzemeler ve atık valorizasyonu gibi alternatif yaklaşımlar ışığında değerlendirilmiştir (Beghetto, Gatto ve Canco., 2025; Quaratesi vd., 2024; Ahmadi vd., 2025).

Bu bağlamda, deri sanayisinde sürdürülebilirliğin yalnızca belirli üretim aşamalarının iyileştirilmesiyle veya tekil çevresel göstergelerin optimize edilmesiyle sağlanamayacağı; aksine teknolojik inovasyon, yaşam döngüsü temelli ölçüm ve değerlendirme araçları (Yaşam Döngüsü Analizi – LCA, Ürün Çevresel Ayak İzi – PEF ve Sosyal Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi – S-LCA), iş modeli dönüşümü ile politika ve yönetim mekanizmalarının eş zamanlı ve etkileşimli biçimde ele alındığı sistemsel bir dönüşüm gerektirdiği açıktır. Doğrusal “al-yap-at” değer zincirinin yarattığı çevresel yükler, sosyal riskler ve ekonomik kırılganlıklar, ancak bu çok boyutlu yaklaşım sayesinde döngüsel ve dayanıklı bir değer ağına dönüştürülebilir. Bu çalışmada benimsenen bütüncül dönüşüm perspektifi, deri sanayisinin doğrusal üretim mantığından uzaklaşarak kaynak verimliliği, çok paydaşlı etkileşim ve değer korunumu ilkeleri doğrultusunda yeniden yapılandırılmasını hedeflemektedir. Söz konusu kavramsal çerçeve, doğrusal değer zincirinden döngüsel ve sistemsel bir değer ağına geçişi betimleyecek şekilde Şekil 1’de özetlenmektedir. İzleyen bölümde, bu çerçevenin teorik arka planını oluşturan döngüsel ekonomi yaklaşımı ile deri sanayisine yönelik güncel literatür, eleştirel bir bakış açısıyla tartışılacaktır.



Şekil 1. Deri sanayisinde doğrusal “al-yap-at” değer zincirinden; teknolojik inovasyon, yaşam döngüsü temelli ölçüm ve değerlendirme araçları (Yaşam Döngüsü Analizi – LCA, Ürün Çevresel Ayak İzi – PEF ve Sosyal Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi – S-LCA), iş modeli dönüşümü ile politika ve yönetim bileşenlerinin etkileşimi sonucunda oluşan sistemsel ve döngüsel değer ağına geçişi betimleyen kavramsal çerçeve.

Bu çerçevede kitap bölümü, deri sanayisinde sürdürülebilir dönüşümün yalnızca teknik bir optimizasyon problemi olmadığını; politika, endüstri ve akademi arasında kurulan etkileşim ağlarıyla şekillenen çok aktörlü bir süreç olduğunu savunmaktadır. Döngüsel ekonomi ilkeleri, bu sürecin kavramsal omurgasını oluştururken; ölçme ve değerlendirme araçları dönüşümün yönünü tayin eden pusulalar olarak ele alınmaktadır.

2. KAVRAMSAL VE METODOLOJİK ÇERÇEVE: DÖNGÜSEL EKONOMİ, LCA, PEF VE S-LCA'NIN KESİŞİM NOKTALARI

Sürdürülebilir ve döngüsel ekonomi perspektifinden deri sanayisinin değerlendirilmesi, çok katmanlı ve disiplinler arası bir kavramsal çerçeve gerektirmektedir. Literatür, çevresel performansın yalnızca tekil göstergeler üzerinden ele alınmasının; karmaşık üretim sistemlerine sahip sektörlerde yanıltıcı sonuçlara yol açabileceğini göstermektedir (Finkbeiner, 2015; Lehmann vd., 2016). Bu nedenle deri sanayisinin sürdürülebilirlik değerlendirmesinde, ölçüm araçları ile kavramsal yaklaşımların birlikte ele alınması zorunlu hâle gelmiştir.

2.1. Döngüsel Ekonomi Kavramının Deri Sanayine Uyarlanması

Döngüsel ekonomi, üretim ve tüketim sistemlerinin doğrusal yapıdan çıkarılarak; kaynakların mümkün olan en uzun süre sistem içinde tutulmasını hedefleyen bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Deri sanayisi bağlamında bu yaklaşım, hammadde temininden tabaklama süreçlerine, ürün kullanım süresinden atık yönetimine kadar uzanan geniş bir değer zincirini kapsamaktadır (Karuppiah vd., 2023; Sukarsono vd., 2025).

Literatür, deri sanayisinde döngüsel ekonominin çoğu zaman atık geri kazanımı ile sınırlı algılandığını ortaya koymaktadır. Oysa döngüsellik, yalnızca üretim sonunda ortaya çıkan atıkların değerlendirilmesini değil; **üretim kararlarının baştan itibaren döngüsel ilkeler doğrultusunda şekillendirilmesini** gerektirmektedir. Krom geri kazanımı, kolajen bazlı yan ürünlerin değerlendirilmesi ve deri atıklarının farklı sektörlerde kullanımı gibi uygulamalar; bu yaklaşımın somut örnekleri arasında yer almaktadır (Ahmadi vd., 2025; Żarłok vd., 2025; Silva vd., 2022).

2.2. Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) ve Deri Üretiminde Çevresel Ölçüm

Yaşam Döngüsü Analizi (LCA), deri sanayinde çevresel etkilerin sistematik biçimde değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan metodolojik araçtır. LCA, hammadde temininden ürünün kullanım ömrü sonuna kadar olan tüm aşamaları kapsayarak; su tüketimi, enerji kullanımı, sera gazı emisyonları ve kimyasal yükler gibi çevresel etkileri nicel olarak ortaya koymaktadır (Dalmases vd., 2020; Rahmadsyah vd., 2025).

Ancak literatür, LCA sonuçlarının büyük ölçüde veri kalitesi, sistem sınırlarının tanımı ve metodolojik tercihlerden etkilendiğini göstermektedir (Bònoli vd., 2016; Bodoga vd., 2024). Özellikle deri sanayisinde proses çeşitliliğinin yüksek olması, farklı coğrafyalarda üretilen verilerin karşılaştırılabilirliğini sınırlamaktadır. Bu durum, LCA'nın güçlü bir analiz aracı olmasına karşın; sonuçların bağlamsal olarak yorumlanmasını zorunlu kılmaktadır.

2.3. Ürün Çevresel Ayak İzi (PEF): Karşılaştırılabilirlik Arayışı

Avrupa Komisyonu tarafından geliştirilen Ürün Çevresel Ayak İzi (PEF) metodolojisi, LCA temelli değerlendirmelerin ürünler arası karşılaştırılabilirliğini artırmayı hedeflemektedir (Finkbeiner, 2015; Lehmann vd., 2016). PEF, metodolojik esnekliği sınırlayarak; ürün kategori kuralları (PEFCR) aracılığıyla çevresel performans değerlendirmelerinde tutarlılık sağlamayı amaçlamaktadır.

Bununla birlikte literatür, PEF yaklaşımının “karşılaştırılabilirlik-esneklik” dengesi açısından önemli tartışmalar doğurduğunu ortaya koymaktadır (Bach vd., 2018; Pedersen & Remmen, 2022). Deri ve ayakkabı sanayisi gibi ürün çeşitliliği yüksek sektörlerde, aşırı standardizasyon; bağlamsal farklılıkların göz ardı edilmesi riskini beraberinde getirmektedir. Bu nedenle PEF, sürdürülebilirlik değerlendirmesinde tek başına belirleyici bir araç olarak değil; diğer metodolojik yaklaşımlarla birlikte ele alınmalıdır.

2.4. Sosyal Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (S-LCA): Görünmeyi Görünür Kılmak

Sosyal Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (S-LCA), sürdürülebilirlik analizlerine sosyal ve etik boyutları dâhil etmeyi amaçlayan görece yeni bir yaklaşımdır. Deri sanayisinde işçi sağlığı, mesleki maruziyet, yerel topluluklar üzerindeki çevresel baskılar ve çalışma koşulları; S-LCA çerçevesinde ele alınması gereken temel sosyal etki alanlarıdır (Hira vd., 2022; Bielak & Marcinkowska, 2022).

Ancak S-LCA'nın metodolojik gelişim süreci, çevresel LCA'ya kıyasla daha sınırlıdır. Sosyal göstergelerin nitel doğası, veri teminindeki güçlükler ve kültürel bağlama bağımlılık; S-LCA uygulamalarının tutarlılığını ve karşılaştırılabilirliğini zorlaştırmaktadır (Bach vd., 2018; Pedersen & Remmen, 2022). Bu durum, S-LCA'nın çevresel değerlendirmeleri tamamlayan, ancak henüz bağımsız bir ölçüm standardı olarak olgunlaşmamış bir araç olduğunu göstermektedir.

2.5. Entegre Yaklaşımın Gerekliliği

İncelenen literatür, deri sanayisinde sürdürülebilirliğin tekil bir metodolojiyle değerlendirilemeyeceği konusunda güçlü bir fikir birliği sunmaktadır. LCA ve PEF çevresel etkilerin nicel analizini sağlarken; S-LCA sosyal boyu-

tun değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Döngüsel ekonomi ise bu değerlendirme sonuçlarını **stratejik eylemlere dönüştüren kavramsal bir çatı** işlevi görmektedir (Karuppiah vd., 2023).

Bu nedenle bu kitap bölümünde, sürdürülebilir deri sanayisinin değerlendirilmesinde **entegre bir metodolojik yaklaşım** benimsenmiştir. Ölçüm, yorum ve dönüşüm süreçlerinin birbirini beslediği bu yaklaşım; sürdürülebilirliği statik bir performans göstergesi değil, dinamik bir öğrenme süreci olarak ele almaktadır.

3. DERİ SANAYİNDE TEKNOLOJİK VE PROSES TEMELLİ DÖNÜŞÜMLER: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİKTEN DÖNGÜSELLİĞE

Deri sanayisinde sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşılmasında, üretim süreçlerinin niteliği belirleyici bir rol oynamaktadır. Literatür, çevresel yüklerin önemli bir bölümünün tabaklama ve son işlemler aşamalarında yoğunlaştığını; bu nedenle teknolojik dönüşümün sürdürülebilirlik stratejilerinin merkezinde yer aldığını ortaya koymaktadır (Dalmases vd., 2020; Rahmadsyah vd., 2025). Bu bağlamda proses temelli inovasyonlar, yalnızca çevresel etkilerin azaltılmasına değil, aynı zamanda üretim verimliliğinin ve ürün kalitesinin artırılmasına da katkı sunmaktadır.

3.1. Geleneksel Tabaklama Sistemlerinin Sürdürülebilirlik Sınırları

Krom tabaklama, deri sanayisinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmasına karşın; atık sular, çamurlar ve katı atıklar yoluyla çevre ve insan sağlığı üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. Literatür, krom (VI) oluşumu riski, yüksek tuzluluk ve kimyasal oksijen ihtiyacı gibi parametrelerin, geleneksel tabaklama sistemlerinin sürdürülebilirliğini sınırladığını göstermektedir (Hira vd., 2022; Bielak & Marcinkowska, 2022).

Bu süreçlerin çevresel etkileri, yalnızca atık yönetimi aşamasında değil; kimyasal üretimi, enerji kullanımı ve işçi maruziyeti gibi yaşam döngüsünün farklı aşamalarında da ortaya çıkmaktadır. LCA temelli çalışmalar, krom tabaklamanın özellikle su ayak izi ve ekotoksosite kategorilerinde belirgin etkiler yarattığını ortaya koymaktadır (Dalmases vd., 2020; Bodoga vd., 2024). Bu durum, geleneksel sistemlerin sürdürülebilirlik açısından yapısal sınırlara sahip olduğunu göstermektedir.

3.2. Alternatif Tabaklama Yaklaşımları ve Proses İnovasyonları

Bu sınırlılıklar, alternatif tabaklama ve yaş alma tekniklerine yönelik akademik ve endüstriyel ilgiyi artırmıştır. Bitkisel tabaklama, metal içermeyen yapısı ve biyobozunur tanen kullanımı nedeniyle çevresel açıdan daha düşük risk profili sunmaktadır. Ancak literatür, bitkisel tabaklamanın yüksek su tüketimi ve daha uzun proses süreleri gibi zorluklar barındırdığını da ortaya koymaktadır (Beghetto vd., 2025; Quaratesi vd., 2024).

Enzimatik yaş alma ve biyotabanlı yardımcı kimyasallar, proses süresini kısaltma, kimyasal kullanımını azaltma ve atık yükünü düşürme potansiyeline sahiptir. Bu yaklaşımlar, özellikle tabaklama öncesi işlemlerde proses kontrolünü artırarak hem çevresel hem de operasyonel kazanımlar sağlamaktadır (Ahmadi vd., 2025). Literatür, bu tür biyoteknolojik uygulamaların sürdürülebilirlik açısından umut verici olmakla birlikte; ölçeklenebilirlik ve maliyet etkinliği açısından dikkatli değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

3.3. Su, Kimyasal ve Enerji Yönetiminde Döngüsel Yaklaşımlar

Deri üretiminde su ve kimyasal kullanımı, çevresel performansın belirleyici unsurları arasında yer almaktadır. Literatür, kapalı devre su sistemleri, ileri oksidasyon prosesleri ve kimyasal geri kazanım tekniklerinin; atık su hacmini ve kirletici yükünü önemli ölçüde azaltabildiğini göstermektedir (Dalmases vd., 2020; Rahmadsyah vd., 2025).

Döngüsel ekonomi perspektifinde bu uygulamalar, yalnızca kirliliğin kontrol altına alınması değil; **kaynakların sistem içinde tutulması** açısından da önem taşımaktadır. Krom geri kazanımı ve yeniden kullanımı, bu yaklaşımın en yaygın örnekleri arasında yer almakta; çevresel etkiyi azaltırken hammadde maliyetlerini de düşürmektedir (Ahmadi vd., 2025).

Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji entegrasyonu ise deri sanayisinin karbon ayak izini azaltmaya yönelik temel stratejiler arasında yer almaktadır. LCA çalışmalarında enerji kaynaklı emisyonların önemli bir paya sahip olduğu dikkate alındığında, bu alandaki iyileştirmelerin sürdürülebilirlik performansına doğrudan katkı sunduğu görülmektedir (Bodoga vd., 2024).

3.4. Atık Valorizasyonu ve Malzeme Döngüselliliği

Deri sanayisinde ortaya çıkan katı atıklar ve yan ürünler, döngüsel ekonomi yaklaşımı çerçevesinde önemli bir potansiyel barındırmaktadır. Kola-jen içeren atıkların hidrolizatlara dönüştürülmesi, tarım, kozmetik ve biyomalzeme uygulamalarında değerlendirilebilmektedir (Żarłok vd., 2025; Silva vd., 2022). Bu tür uygulamalar, atığın çevresel bir yük olmaktan çıkarılarak ekonomik değere dönüştürülmesini mümkün kılmaktadır.

Literatür, atık bazlı uygulamaların sürdürülebilirlik performansını artırmakla birlikte; ürün güvenliği, kalite standartları ve pazar kabulü gibi konuların dikkatle ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu durum, teknik fizibilite kadar yönetim ve standartlaşma süreçlerinin de önemini ortaya koymaktadır.

3.5. Proses Dönüşümünün Sınırları ve Gelecek Perspektifi

Teknolojik ve proses temelli dönüşümler, deri sanayisinde sürdürülebilirliğin vazgeçilmez bileşenleri olmakla birlikte; tek başına yeterli değildir. Literatür, proses inovasyonlarının çevresel kazanımlarının; iş modeli dönü-

şümü ve politika desteği ile bütünleştirilmediği sürece sınırlı kaldığını göstermektedir (Karuppiyah vd., 2023).

Bu nedenle proses dönüşümleri, sürdürülebilirlik stratejisinin bir parçası olarak; ölçme, değerlendirme ve yönetim mekanizmalarıyla birlikte ele alınmalıdır. Ancak bu şekilde, deri sanayisinde döngüsel ekonomi ilkeleri kalıcı ve ölçeklenebilir bir yapıya kavuşabilecektir.

4. İŞ MODELİ İNOVASYONLARI VE DEĞER ZİNCİRİ DÖNÜŞÜMÜ: DÖNGÜSEL EKONOMİNİN KURUMSAL YÜZÜ

Deri sanayisinde sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi hedeflerinin kalıcı biçimde hayata geçirilebilmesi, yalnızca üretim proseslerinin dönüştürülmesiyle sınırlı değildir. Literatür, çevresel ve sosyal kazanımların uzun vadeli ekonomik değer yaratımıyla desteklenmediği durumlarda, sürdürülebilirlik uygulamalarının geçici ve kırılgan kaldığını ortaya koymaktadır (Karuppiyah vd., 2023). Bu bağlamda iş modeli inovasyonları, teknik dönüşümlerin kurumsal düzeyde içselleştirilmesini sağlayan temel araçlar olarak öne çıkmaktadır.

4.1. Doğrusal Değer Zincirinden Döngüsel Değer Ağına Geçiş

Geleneksel deri sanayisi, hammadde temini, üretim, kullanım ve bertaraf aşamalarının birbirinden keskin biçimde ayrıldığı doğrusal bir değer zinciri mantığı üzerine kuruludur. Bu yapı, atığın sistem dışına itilmesine ve çevresel maliyetlerin değer zinciri boyunca dağılmasına neden olmaktadır. Döngüsel ekonomi yaklaşımı ise bu doğrusal yapıyı, **geri besleme mekanizmalarıyla güçlendirilmiş döngüsel değer ağlarına** dönüştürmeyi hedeflemektedir (Karuppiyah vd., 2023; Sukarsono vd., 2025).

Literatürde sunulan örnekler, deri sanayisinde atık ve yan ürün akışlarının; kolajen bazlı biyomalzemeler, gübre, enerji veya farklı endüstriyel girdiler olarak yeniden değerlendirilmesiyle değer zincirinin yeniden yapılandırılabileceğini göstermektedir (Silva vd., 2022; Żarłok vd., 2025). Bu yaklaşım, yalnızca çevresel yükleri azaltmakla kalmamakta; aynı zamanda sektörler arası simbiyotik ilişkilerin kurulmasına olanak tanımaktadır.

4.2. Hizmet Olarak Ürün Yaklaşımları ve Ürün Ömrünün Uzatılması

Döngüsel iş modelleri arasında öne çıkan yaklaşımlardan biri, ürünün mülkiyetinden ziyade işlevine odaklanan “hizmet olarak ürün” (product-as-a-service) anlayışıdır. Deri sanayisi bağlamında bu yaklaşım, özellikle ayakkabı ve deri mamulleri sektörlerinde ürün ömrünün uzatılması, bakım-onarım hizmetlerinin sistematik hâle getirilmesi ve kullanım sonrası geri kazanım mekanizmalarının kurulması yoluyla uygulanabilmektedir.

Literatür, ürün ömrünün uzatılmasının; yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerin dağılımını değiştirdiğini ve birim ürün başına düşen çevre-

sel yükleri azalttığını ortaya koymaktadır (Dalmases vd., 2020; Bodoga vd., 2024). Bu durum, iş modeli inovasyonlarının çevresel ölçüm sonuçlarıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

4.3. Atık Bazlı Yan Ürün Ekonomisi ve Kurumsal Değer Yaratımı

Deri sanayisinde ortaya çıkan katı atıklar ve yan ürünler, döngüsel ekonomi perspektifinde yeni iş alanlarının ve gelir modellerinin temelini oluşturmaktadır. Kolajen içeren atıkların hidrolizatlara dönüştürülmesi; tarım, kozmetik ve biyomalzeme sektörlerinde katma değerli ürünlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Silva vd., 2022; Żarłok vd., 2025).

Bu tür yan ürün ekonomileri, deri sanayisinin sürdürülebilirlik performansını yalnızca çevresel bir kazanım olarak değil; **kurumsal stratejiye entegre edilmiş bir değer yaratma aracı** olarak konumlandırmaktadır. Ancak literatür, bu uygulamaların başarılı olabilmesi için kalite standartları, mevzuat uyumu ve pazar kabulü gibi unsurların dikkatle yönetilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

4.4. Dijitalleşme, İzlenebilirlik ve Değer Zinciri Şeffaflığı

Döngüsel iş modellerinin etkinliği, değer zinciri boyunca bilgi akışının şeffaflığına ve izlenebilirliğine bağlıdır. LCA ve PEF temelli değerlendirmelerin sağlıklı biçimde uygulanabilmesi, üretim verilerinin doğru ve zamanında toplanmasını gerektirmektedir (Finkbeiner, 2015; Lehmann vd., 2016).

Bu bağlamda dijital araçlar, sürdürülebilirlik performansının izlenmesi ve raporlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Literatürde vurgulanan izlenebilirlik gereksinimi, deri sanayisinde tedarik zinciri boyunca çevresel ve sosyal etkilerin görünür kılınmasını desteklemektedir. Bu şeffaflık, sürdürülebilirlik iddialarının güvenilirliğini artırmakta ve paydaşlar arası güven ilişkisini güçlendirmektedir.

4.5. İş Modeli Dönüşümünün Sınırları

İş modeli inovasyonları, deri sanayisinde sürdürülebilirlik ve döngüsellik açısından önemli fırsatlar sunmakla birlikte; her işletme için aynı ölçüde uygulanabilir değildir. Literatür, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmelerin; finansal kaynaklar, teknik bilgi ve pazar erişimi açısından önemli kısıtlarla karşılaştığını göstermektedir (Karuppiah vd., 2023).

Bu nedenle iş modeli dönüşümü, tek tip çözümler yerine; işletme ölçeği, bölgesel koşullar ve üretim yapısı dikkate alınarak kurgulanmalıdır. Aksi hâlde döngüsel ekonomi, yalnızca büyük ölçekli aktörlerin erişebildiği bir sürdürülebilirlik pratiği hâline gelebilir.

5. POLİTİK VE REGÜLATİF ÇERÇEVE: DERİ SANAYİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR DÖNÜŞÜMÜN KURUMSAL ZEMİNLERİ

Deri sanayisinde sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi hedeflerinin yaygınlaşması, yalnızca teknolojik ve kurumsal yeniliklerle değil; bu yenilikleri yönlendiren ve sınırlarını belirleyen politik ve regülatif çerçevelerle yakından ilişkilidir. Literatür, çevresel performansın iyileştirilmesinde düzenleyici araçların belirleyici bir rol oynadığını; ancak bu araçların niteliğinin dönüşümün yönünü ve hızını doğrudan etkilediğini göstermektedir (Finkbeiner, 2015; Lehmann vd., 2016).

Bu bağlamda politika, deri sanayisi için yalnızca uyulması gereken kurallar bütünü değil; aynı zamanda sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi uygulamalarını teşvik eden yapısal bir çerçeve olarak ele alınmalıdır.

5.1. Ürün Çevresel Ayak İzi ve Düzenleyici Standartlaşma

Ürün Çevresel Ayak İzi (PEF) yaklaşımı, Avrupa Birliği çevre politikalarının merkezinde yer almakta ve ürün bazlı çevresel performans değerlendirmelerinde standartlaşmayı hedeflemektedir. PEF metodolojisi, ürün kategori kuralları (PEFCR) aracılığıyla metodolojik tutarlılık sağlayarak; çevresel iddiaların karşılaştırılabilirliğini artırmayı amaçlamaktadır (Finkbeiner, 2015; Lehmann vd., 2016).

Ancak literatür, PEF'in sunduğu standardizasyonun, deri sanayisi gibi üretim süreçleri ve coğrafi dağılımı yüksek sektörlerde belirli sınırlılıklar doğurduğunu ortaya koymaktadır. Aşırı metodolojik katılık, bağlamsal farklılıkların yeterince yansıtılamamasına ve sürdürülebilirlik performansının tek boyutlu algılanmasına yol açabilmektedir (Bach vd., 2018; Pedersen & Remmen, 2022). Bu nedenle PEF, bağlayıcı bir değerlendirme aracı olmaktan ziyade; politika tasarımı rehberlik eden bir çerçeve olarak konumlandırılmalıdır.

5.2. Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu ve Döngüsel Teşvikler

Döngüsel ekonomi politikalarının temel araçlarından biri olan Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (Extended Producer Responsibility, EPR), üreticilerin ürünlerin yaşam döngüsü sonundaki çevresel etkilerinden sorumlu tutulmasını öngörmektedir. Deri ve ayakkabı sanayisi bağlamında EPR yaklaşımları, atık yönetimi ve geri kazanım süreçlerinin üretim kararlarıyla daha doğrudan ilişkilendirilmesini sağlamaktadır.

Literatür, EPR temelli politikaların, işletmeleri daha dayanıklı ürünler geliştirmeye ve geri kazanımı kolaylaştıran tasarımlara yönlendirdiğini göstermektedir (Karuppiyah vd., 2023). Bununla birlikte EPR uygulamalarının etkinliği, sektörel kapasite, altyapı ve ekonomik teşvik mekanizmalarıyla doğrudan ilişkilidir. Yetersiz destek mekanizmaları, EPR'nin özellikle küçük

ve orta ölçekli işletmeler üzerinde orantısız bir yük oluşturmaya neden olabilmektedir.

5.3. Sertifikasyon Sistemleri: Güvence mi, Sınır mı?

Sürdürülebilirlik sertifikasyonları, deri sanayisinde çevresel ve sosyal performansın belgelendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sertifikasyon sistemleri, piyasa aktörleri ve tüketiciler için bir güven unsuru oluşturmakta; sürdürülebilirlik iddialarının doğrulanmasına katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte literatür, sertifikasyon sistemlerinin çoğu zaman asgari uyum kriterlerine odaklandığını ve dönüşümün derinliğini sınırlayabildiğini ortaya koymaktadır. Sertifikaların çevresel performansı ölçmekten ziyade, belirli uygulamaların varlığını doğrulaması; sürdürülebilirliğin dinamik ve bağlamsal doğasıyla çelişebilmektedir (Pedersen & Remmen, 2022). Bu durum, sertifikasyonların dönüşümü teşvik eden araçlar olmaktan çok, mevcut uygulamaları meşrulaştıran mekanizmalar hâline gelme riskini beraberinde getirmektedir.

5.4. Politika Araçlarının Entegrasyonu ve Çok Düzeyli Yönetişim

Deri sanayisinde sürdürülebilir dönüşüm, tekil politika araçlarıyla değil; çok düzeyli ve entegre bir yönetim yapısıyla mümkün görünmektedir. Uluslararası standartlar, bölgesel düzenlemeler ve ulusal politikalar arasındaki uyum; sürdürülebilirlik uygulamalarının etkinliğini doğrudan etkilemektedir (Lehmann vd., 2016; Bach vd., 2018).

Literatür, politika araçlarının teknik yenilikler, iş modeli dönüşümleri ve ölçme-değerlendirme sistemleriyle eş zamanlı olarak ele alınmadığı durumlarda, sürdürülebilirlik hedeflerinin parçalı ve etkisiz kaldığını göstermektedir. Bu nedenle regülatif çerçeveler, yalnızca sınır koyan değil; öğrenmeyi, uyumu ve yeniliği destekleyen yapılar olarak tasarlanmalıdır.

5.5. Politika Sınırları ve Gelecek Perspektifi

Mevcut literatür, deri sanayisinde sürdürülebilirlik politikalarının henüz olgunlaşma sürecinde olduğunu ortaya koymaktadır. Çevresel performans ölçümüne yönelik güçlü araçlar geliştirilmiş olsa da; sosyal boyutun politika tasarımına entegrasyonu sınırlı kalmaktadır (Hira vd., 2022; Bielak & Marcinkowska, 2022). Bu durum, sürdürülebilirliğin üç boyutunun dengeli biçimde ele alınmasını zorlaştırmaktadır.

Gelecekte, çevresel ve sosyal değerlendirme araçlarının politika yapım süreçlerine daha etkin biçimde entegre edilmesi; deri sanayisinde döngüsel ekonomi uygulamalarının yaygınlaşması açısından kritik öneme sahiptir.

6. TARTIŞMA VE SENTEZ: DERİ SANAYİSİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN ÇOK KATMANLI DOĞASI

Bu kitap bölümünde ele alınan literatür, deri sanayisinde sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi kavramlarının tek boyutlu yaklaşımlarla ele alınamayacağını açık biçimde ortaya koymaktadır. Çevresel performans, sosyal etki ve ekonomik uygulanabilirlik; birbirinden bağımsız değil, karşılıklı olarak birbirini şekillendiren katmanlar hâlinde değerlendirilmelidir (Finkbeiner, 2015; Bach vd., 2018; Karuppiyah vd., 2023).

Bu bağlamda sürdürülebilir deri sanayisi, yalnızca daha az kirleten teknolojilerin benimsenmesiyle değil; **ölçüm araçları, üretim süreçleri, iş modelleri ve politika çerçevelerinin eş zamanlı dönüşümüyle** anlam kazanmaktadır.

6.1. Ölçüm Araçlarının Sağladığı Bilgi ve Ürettiği Belirsizlik

LCA ve PEF temelli çalışmalar, deri sanayisinde çevresel etkilerin nicel olarak ortaya konulmasında güçlü bir zemin sunmaktadır. Su tüketimi, enerji kullanımı, sera gazı emisyonları ve ekotoksisite gibi göstergeler; tabaklama ve son işlemler aşamalarının çevresel “sıcak noktalar” olduğunu net biçimde göstermektedir (Dalmases vd., 2020; Bodoga vd., 2024).

Ancak bu ölçüm araçlarının sunduğu netlik, aynı zamanda yeni bir belirsizlik alanı da üretmektedir. Veri kalitesi, sistem sınırları ve metodolojik tercihler; sonuçları önemli ölçüde etkileyebilmekte ve farklı çalışmalar arasında karşılaştırmayı zorlaştırabilmektedir (Bònoli vd., 2016; Lehmann vd., 2016). Bu durum, sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde sayısal kesinlik ile bağlamsal yorum arasındaki gerilimi görünür kılmaktadır.

Dolayısıyla ölçüm araçları, sürdürülebilirliğin nihai hakemi değil; düşünmeyi ve karar vermeyi yapılandıran bilimsel araçlar olarak ele alınmalıdır.

6.2. Teknolojik Dönüşüm: Gerekli ama Yeterli Değil

Literatür, alternatif tabaklama yöntemleri, enzimatik prosesler, kapalı devre su sistemleri ve atık valorizasyonu gibi teknolojik yaklaşımların çevresel performansı anlamlı ölçüde iyileştirebildiğini göstermektedir (Beghetto vd., 2025; Ahmadi vd., 2025; Żarłok vd., 2025). Bu bulgular, teknolojik dönüşümün sürdürülebilirlik stratejilerinde vazgeçilmez olduğunu ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, teknolojik iyileştirmelerin tek başına sürdürülebilirliği garanti etmediği de açıktır. Aynı teknoloji, farklı iş modelleri ve politika ortamlarında farklı sonuçlar doğurabilmektedir. Bu durum, sürdürülebilirliğin teknik bir optimizasyon probleminden ziyade, sistemsel bir dönüşüm meselesi olduğunu göstermektedir (Karuppiyah vd., 2023).

Alternatif tabaklama yaklaşımlarının çevresel kazanımları ile süreç süresi, maliyet ve standardizasyon gereksinimleri arasındaki temel takaslar Tablo 1’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 1. Geleneksel ve Alternatif Tabaklama Yöntemlerinin Çevresel, Operasyonel ve Ekonomik Açıdan Karşılaştırılması

Kriter	Krom Tabaklama	Bitkisel Tabaklama	Enzimatik/ Biyoteknolojik Yaklaşımlar
Teknolojik Olgunluk	Yüksek; küresel ölçekte yaygın ve standartlaşmış	Orta; belirli ürün gruplarında yaygın	Düşük–Orta; pilot ve ölçeklenme aşamasında
Proses Süresi	Kısa (saatler–günler)	Uzun (günler–haftalar)	Orta; proses tasarımına bağlı
Su ve Enerji Tüketimi	Yüksek	Orta–yüksek	Düşük–orta
Kimyasal Yük ve Toksisite	Yüksek; krom (III)/ (VI) riski	Düşük; doğal tanenler	Düşük; hedefe yönelik biyokataliz
Atık Yönetimi ve Valorizasyon Potansiyeli	Sınırlı; tehlikeli atık oluşumu	Orta; biyobozunur atıklar	Yüksek; yan ürün ve atık geri kazanımına uygun
Ürün Performansı (Dayanıklılık, Stabilité)	Yüksek ve öngörülebilir	Orta; ürün tipine bağlı	Orta–yüksek; kontrollü proseslerde iyileşebilir
Çevresel Etki Profili (LCA/PEF)	Olumsuz; su, toksisite ve atık etkileri baskın	Görece daha olumlu; ancak uzun proses etkisi mevcut	Potansiyel olarak en düşük; veri belirsizliği yüksek
Sosyal Riskler (S-LCA Perspektifi)	Yüksek; İSG ve maruziyet riskleri	Düşük–orta	Düşük; kontrollü çalışma ortamı gerektirir
Ekonomik Fizibilite (Kısa Vadede)	Yüksek; düşük birim maliyet	Orta; zaman ve alan maliyeti	Düşük–orta; yatırım ve bilgi yoğun
KOBİ’ler İçin Uygulanabilirlik	Yüksek; mevcut altyapı uyumlu	Orta; niş pazarlara uygun	Sınırlı; destek ve teşvik gerektirir
Döngüsel Ekonomi Uyum Potansiyeli	Düşük	Orta	Yüksek

Tablo 1’de sunulan karşılaştırma, deri üretiminde “sürdürülebilirlik” iddiasının tek bir teknoloji seçimine indirgenemeyeceğini; bunun yerine çevresel etki, operasyonel uygulanabilirlik, ekonomik fizibilite ve sosyal risklerin birlikte ele alınmasını zorunlu kıldığını göstermektedir. Krom tabaklama, kısa proses süresi ve yüksek ürün tekrarlanabilirliği sayesinde endüstriyel ölçekte güçlü bir konumunu korurken; krom kaynaklı kirlilik, tehlikeli atık oluşumu ve maruziyet temelli iş sağlığı–güvenliği riskleri nedeniyle özellikle yaşam döngüsü perspektifinde belirgin çevresel ve sosyal yükler üretmektedir (Ahmadi vd., 2025; Rahmadsyah vd., 2025; Rosa vd., 2017). Buna karşılık

bitkisel tabaklama, daha düşük toksisite ve daha yüksek biyobozunurluk potansiyeli ile döngüsel ekonomi hedefleriyle daha kolay hizalanmakta; ancak daha uzun proses süreleri, maliyet baskıları ve standardizasyon/ölçeklenme gereksinimleri nedeniyle yaygınlaşma hızında sınırlılıklar taşımaktadır (Dalmases vd., 2020; Kebede vd., 2023; Balaji, 2025). Enzimatik ve biyoteknolojik yaklaşımlar ise, kimyasal yükü azaltma ve prosesleri daha hedefli hâle getirme potansiyelleriyle çevresel performansı iyileştirme yönünde güçlü bir vaade sahip olmakla birlikte, veri olgunluğu ve uygulama ölçeği açısından daha yüksek belirsizlikler barındırmaktadır (Catalán vd., 2018; Quaratesi vd., 2024; Uddin vd., 2025).

Kalitesi ayrıca ölçüm çerçevelerinin rolünü kritik biçimde görünür kılar: LCA, prosesler arası çevresel kıyas için temel bir zemin sunarken, PEF'in "karşılaştırılabilirlik" hedefi uygulamada veri kalitesi ve sınır tanımı gibi konularda metodolojik gerilimler doğurabilmektedir (Finkbeiner, 2015; Lehmann vd., 2016; Bach vd., 2018; Pedersen & Remmen, 2022). Sosyal boyut söz konusu olduğunda ise S-LCA, özellikle maruziyet, çalışma koşulları ve tedarik zinciri şeffaflığı gibi parametreler üzerinden deri ve ayakkabı endüstrisinin görünmeyen maliyetlerini tartışmaya açsa da, veri toplama güçlükleri ve yöntem olgunlaşması eksikliği nedeniyle henüz çevresel LCA kadar standardize bir karşılaştırma gücü sunamamaktadır (Hira vd., 2022; Bielak & Marcinkowska, 2022; Lingkon vd., 2025). Dolayısıyla sürdürülebilir ve döngüsel dönüşüm, yalnızca "kromdan çıkış" gibi tekil bir hedefle değil; teknolojik seçeneklerin ölçüm metodolojileriyle doğrulanması, maliyet-uygulanabilirlik kısıtlarının özellikle KOBİ ölçeğinde yönetilmesi ve yönetim araçlarıyla (ör. EPR) desteklenmesi üzerinden sistemsal bir çerçevede ele alınmalıdır (Karupiah vd., 2023; Munonye, 2025; Zhang vd., 2025; Sukarsono vd., 2025).

6.3. İş Modelleri ve Değer Zinciri: Sürdürülebilirliğin Taşıyıcı Yapıları

Döngüsel ekonomi yaklaşımı, deri sanayisinde sürdürülebilirliği değer zinciri düzeyinde yeniden tanımlamaktadır. Atıkların yan ürünlere dönüştürülmesi, ürün ömrünün uzatılması ve hizmet odaklı modeller; çevresel kazanımların ekonomik değerle bütünleştirilmesini mümkün kılmaktadır (Silva vd., 2022; Żarłok vd., 2025).

Bu bağlamda iş modeli inovasyonları, sürdürülebilirlik uygulamalarının kurumsal hafızaya **yerleşmesini** sağlayan taşıyıcı yapılar olarak değerlendirilebilir. Teknolojik çözümler, bu taşıyıcı yapılarla desteklenmediği sürece, sürdürülebilirlik uygulamaları geçici iyileştirmeler olarak kalma riski taşımaktadır.

6.4. Politika ve Yönetişim: Dönüşümün Çerçevesi

PEF, EPR ve sertifikasyon sistemleri gibi politika araçları, deri sanayisinde sürdürülebilirlik uygulamalarının yaygınlaşmasında önemli bir rol oy-

namaktadır. Ancak literatür, bu araçların dönüşümü hızlandırabileceği gibi; yanlış tasarlandıklarında yenilikçiliği sınırlayabildiğini de göstermektedir (Pedersen & Remmen, 2022).

Bu nedenle politika çerçeveleri, yalnızca uyumu denetleyen mekanizmalar değil; öğrenmeyi, denemeyi ve uyumu teşvik eden esnek yapılar olarak kurgulanmalıdır. Çok düzeyli yönetim anlayışı, bu esnekliğin sağlanmasında kritik öneme sahiptir (Lehmann vd., 2016; Bach vd., 2018).

6.5. Genel Sentez: Bir Arada Düşünme Zorunluluğu

Bu çalışmanın temel sentezi, deri sanayisinde sürdürülebilirliğin tek bir doğru yolunun olmadığı; ancak yanlış yolların açıkça tanımlanabileceği yönündedir. Ölçmeden dönüşüm olmaz; ancak ölçüm tek başına dönüşüm yaratmaz. Teknoloji gereklidir; fakat iş modeli ve politika desteği olmadan etkisi sınırlıdır. Döngüsel ekonomi güçlü bir çerçeve sunar; ancak sosyal boyut ihmal edildiğinde eksik kalır.

Sürdürülebilir deri sanayisi, bu çok katmanlı yapının farkında olan ve her katmanı birlikte ele alan yaklaşımlar sayesinde mümkün görünmektedir.

7. SONUÇLAR VE GELECEK ARAŞTIRMA YÖNELİMLERİ: DÖNGÜSELLİĞİN EŞİĞİNDE BİR SEKTÖR

Bu kitap bölümü boyunca incelenen literatür, deri sanayisinin sürdürülebilirlik tartışmalarında artık bir eşikte bulunduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. Geleneksel doğrusal üretim anlayışı; çevresel baskılar, sosyal riskler ve ekonomik kırılganlıklar karşısında giderek daha fazla sorgulanmakta, döngüsel ekonomi ilkeleri ise sektörel dönüşüm için güçlü bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Finkbeiner, 2015; Karupiah vd., 2023).

Elde edilen bulgular, sürdürülebilir deri sanayisinin tekil teknolojik çözümlerle ya da yalnızca düzenleyici zorunluluklarla inşa edilemeyeceğini göstermektedir. Aksine bu dönüşüm; **ölçüm araçları, üretim prosesleri, iş modelleri ve politik çerçevelerin** eş zamanlı ve uyumlu biçimde yeniden yapılandırılmasını gerektirmektedir.

7.1. Temel Çıkarımlar

Bu çalışmadan çıkarılan temel sonuçlar üç ana ekseninde toplanmaktadır:

Birincisi, LCA ve PEF gibi çevresel değerlendirme araçları, deri sanayisinde çevresel etkilerin görünür kılınmasında vazgeçilmezdir; ancak bu araçların sunduğu sonuçlar, bağlamsal belirsizlikler ve veri kalitesi sınırlılıkları nedeniyle eleştirel bir yorum süreciyle ele alınmalıdır (Lehmann vd., 2016; Bach vd., 2018). Ölçüm, sürdürülebilirliğin başlangıç noktasıdır; ancak tek başına nihai hedef değildir.

İkincisi, teknolojik ve proses temelli yenilikler —bitkisel tabaklama, enzimatik işlemler, su ve kimyasal geri kazanımı, atık valorizasyonu— çevresel performansı anlamlı ölçüde iyileştirebilmektedir. Bununla birlikte bu kazanımlar, iş modeli dönüşümleriyle desteklenmediği sürece sınırlı kalmaktadır (Ahmadi vd., 2025; Żarłok vd., 2025). Teknoloji, sürdürülebilirliğin motoru olabilir; ancak yönünü belirleyen unsur değildir.

Üçüncüsü, döngüsel ekonomi, deri sanayisinde sürdürülebilirliği yalnızca çevresel bir hedef olmaktan çıkararak; ekonomik ve kurumsal değer yaratımına entegre eden bir çerçeve sunmaktadır. Atık bazlı yan ürün ekonomileri, ürün ömrü uzatma stratejileri ve hizmet odaklı iş modelleri; çevresel kazanımları ekonomik dayanıklılıkla birleştirmektedir (Silva vd., 2022; Karupiah vd., 2023).

7.2. Sosyal Boyutun Vazgeçilmezliği

Bu çalışmanın önemli bir vurgusu, sürdürülebilirlik tartışmalarında sosyal boyutun ikincil bir başlık olarak ele alınmasının yarattığı eksikliklerdir. İşçi sağlığı, mesleki maruziyet, yerel topluluklar üzerindeki etkiler ve etik üretim koşulları; deri sanayisinin tarihsel ve güncel gerçekliğinin ayrılmaz parçalarıdır (Hira vd., 2022; Bielak & Marcinkowska, 2022).

S-LCA, bu etkilerin görünür kılınması açısından önemli bir potansiyel sunmakla birlikte; metodolojik olarak henüz çevresel LCA kadar olgunlaşmamıştır. Bu durum, sosyal etkilerin ölçümünden ziyade **bilinçli değerlendirme ve etik muhakeme** gerektirdiğini göstermektedir. Sürdürülebilir deri sanayisi, yalnızca daha temiz değil; aynı zamanda daha adil olmak zorundadır.

7.3. Politika ve Yönetişim Açısından Çıkarımlar

PEF, EPR ve sertifikasyon sistemleri gibi politika araçları, deri sanayisinde sürdürülebilirlik uygulamalarının yaygınlaşmasında önemli rol oynamaktadır. Ancak literatür, bu araçların dönüşümü hızlandırabilmesi için **esnek, öğrenmeye açık ve bağlama duyarlı** biçimde tasarlanması gerektiğini göstermektedir (Pedersen & Remmen, 2022).

Katı ve yalnızca uyuma dayalı düzenlemeler, sürdürülebilirliği minimum gerekliliklere indirgeme riski taşıırken; teşvik edici ve bütüncül politikalar, yenilikçi uygulamaların önünü açabilmektedir. Bu bağlamda çok düzeyli yönetim anlayışı, deri sanayisinin sürdürülebilir dönüşümünde kilit bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

7.4. Gelecek Araştırma Yönelimleri

Mevcut literatür ve bu çalışmanın sentezi, gelecek araştırmalar için çeşitli açık alanlar ortaya koymaktadır. Özellikle:

- **Biyolojik olarak parçalanabilir ve fonksiyonel deri malzemelerinin** geliştirilmesine yönelik çalışmalar,

- **S-LCA metodolojilerinin** sektöre özgü göstergelerle derinleştirilmesi,
- Döngüsel iş modellerinin **KOBİ ölçeğinde uygulanabilirliği**,
- Tüketici algısı ve kabul edilebilirliğinin sürdürülebilir deri ürünleri üzerindeki etkisi

gelecek araştırmalar için öncelikli başlıklar arasında yer almaktadır.

7.5. Son Bir Kapanış

Deri, bir zamanlar yaşamı koruyan bir zırhtı. Bugün ise insanlığın doğayla kurduğu ilişkinin aynasıdır. Bu aynada görünen, yalnızca üretim süreçleri değil; değerler, tercihler ve sorumluluklardır. Sürdürülebilirlik, bu aynaya bakabilme cesaretidir.

Bu kitap bölümü, deri sanayisinin geçmişini yargılamaktan çok; geleceğini düşünmeye davet etmektedir. Döngüsel ekonomi, bu davetin dilidir. Bilim ise onun vicdanı.

Kaynakça

- Ahmadi, S., Maysami, M., Abdi, R., Zarei, M., & Dröge, S. (2025). Environmental and energy analysis of chromium recovery from residual tanned leather using alkaline thermal hydrolysis. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84726-0>
- Bacardit, A. B., Combalá, F., Font, J., & Baquero, G. (2020). Comparison of the Sustainability of the Vegetable, Wet-White and Chromium Tanning Processes through the Life Cycle Analysis. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 115(03), 105-111. <https://doi.org/10.34314/jalca.v115i03.1628>
- Bach, V., Lehmann, A., Görmer, M., & Finkbeiner, M. (2018). Product Environmental Footprint (PEF) Pilot Phase—Comparability over Flexibility?. *Sustainability*, 10(8), 2898. <https://doi.org/10.3390/su10082898>
- Beghetto, V., Gatto, V., & Conca, S. (2025). Could Fostering Alternative Plant Feedstocks Improve the Sustainability of Leather Manufacturing? A Critical Review. *Materials*, 18(16), 3759. <https://doi.org/10.3390/ma18163759>
- Bielak, E. and Marcinkowska, E. (2022). Heavy metals in leathers, artificial leathers, and textiles in the context of quality and safety of use. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08911-9>
- Bodoga, A., Nistorac, A., Loghin, M. C., & Isopescu, D. N. (2024). Environmental Impact of Footwear Using Life Cycle Assessment—Case Study of Professional Footwear. *Sustainability*, 16(14), 6094. <https://doi.org/10.3390/su16146094>
- Bonilla-Espadas, M., Zafrilla, B., Lifante-Martínez, I., Camacho, M., Orgilés-Calpena, E., Arán-Aís, F., Bertazzo, M. & Bonete, M. (2024). Selective Isolation and Identification of Microorganisms with Dual Capabilities: Leather Biodegradation and Heavy Metal Resistance for Industrial Applications. *Microorganisms*, 12(5), 1029. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12051029>
- Bònoli, A., Bamonti, S., & Spinelli, R. (2016). Environmental Footprint in the Production of Recycled Wool. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15(9), 1923-1931. <https://doi.org/10.30638/eemj.2016.207>
- Catalán, E., Komilis, D., & Sánchez, A. (2018). A Life Cycle Assessment on the Dehairing of Rawhides: Chemical Treatment versus Enzymatic Recovery through Solid State Fermentation. *Journal of Industrial Ecology*, 23(2), 361-373. <https://doi.org/10.1111/jiec.12753>
- Colantoni, A., Recchia, L., Bernabei, G., Cardarelli, M., Rouphael, Y., & Colla, G. (2017). Analyzing the Environmental Impact of Chemically-Produced Protein Hydrolysate from Leather Waste vs. Enzymatically-Produced Protein Hydrolysate from Legume Grains. *Agriculture*, 7(8), 62. <https://doi.org/10.3390/agriculture7080062>
- Finkbeiner, M. (2015). Position paper (17th January 2014), by Technische Universität Berlin - Department of Environmental Technology - Chair of Sustainable Engineering, on behalf of The German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety and The German Federal

- Environment Agency, on EU Product and Organisation Environmental Footprint proposal as part of the Communication Building the Single Market for Green Products (COM/2013/0196 final). *Journal of Life Cycle Assessment*, Japan, 11(2), 92-96. <https://doi.org/10.3370/lca.11.92>
- Hira, A., Pacini, H., Attafuah-Wadee, K., Sikander, M., Oruko, R. O., & Dinan, A. (2022). Mitigating Tannery Pollution in Sub-Saharan Africa and South Asia. *Journal of Developing Societies*, 38(3), 360-383. <https://doi.org/10.1177/0169796x221104856>
- Karuppiah, K., Sankaranarayanan, B., & Ali, S. M. (2023). Towards Sustainability: Mapping Interrelationships among Barriers to Circular Bio-Economy in the Indian Leather Industry. *Sustainability*, 15(6), 4813. <https://doi.org/10.3390/su15064813>
- Lehmann, A., Bach, V., & Finkbeiner, M. (2015). Product environmental footprint in policy and market decisions: Applicability and impact assessment. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 11(3), 417-424. <https://doi.org/10.1002/ieam.1658>
- Pedersen, E. and Remmen, A. (2022). Challenges with product environmental footprint: a systematic review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(2), 342-352. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02022-3>
- Quaratesi, I., Badea, E., Călinescu, I., Sardroudi, N. P., Zengin, G., Casas, C., ... & Dalmases, A. B. (2024). Eco-Friendly Alternatives in Leather Production: Performance of Biodegradable Alginate-Based Retanned Leather Compared to Conventional Leathers and Plant-Based Materials. *Applied Sciences*, 14(22), 10263. <https://doi.org/10.3390/app142210263>
- Silva, A., Vilaça, H., Antunes, J., Rocha, A., & Silva, C. (2022). Valorisation of leather waste from automobile industry to develop innovative textile coatings. *Base Diseño E Innovación*, 7(7), 89-106. <https://doi.org/10.52611/bdi.num7.2022.804>
- Rahmadsyah, M. F., Pulansari, F., & Dewi, S. (2025). Environmental Impact Analysis of Leather Production Using The Life Cycle Assessment and Analytical Network Process Methods. *Indonesian Journal of Social and Environmental Issues (IJSEI)*, 6(1), 57-71. <https://doi.org/10.47540/ijsei.v6i1.1801>
- Rosa, R., Pini, M., Neri, P., Corsi, M., Bianchini, R., Bonanni, M., & Ferrari, A. M. (2017). Environmental sustainability assessment of a new degreasing formulation for the tanning cycle within leather manufacturing. *Green Chemistry*, 19(19), 4571-4582. <https://doi.org/10.1039/c7gc01900a>
- Sukarsono, F. M., Gamaputra, G., Winata, M. D., Kurniawan, B., Noviyanti, N., Lestari, Y., & Wibisono, H. K. (2025). Circular Economy Development Policy in Magetan Regency: Case Study of the Leather Industry and its Impact on Improving the Community's Economy. *JKMP (Jurnal Kebijakan Dan Manajemen Publik)*, 13(1), 57-64. <https://doi.org/10.21070/jkmp.v13i1.1818>

- Teshome, Z., Agazhi, T., Gashew, T., Solomon, B., Belay, T., Baye, B., & Temach, E. (2023). Extraction and Optimization of Tanning Material from *Osyris lanceolata* Barks: Cleaner Leather Tanning Processing. *Journal of Chemistry*, 2023, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2023/6610247>
- Younas, A., Kumar, L., Deitch, M. J., Qureshi, S. S., Shafiq, J., Naqvi, S. A., Kumar, A., AMjad, A.Q., & Nizamuddin, S. (2022). Treatment of Industrial Wastewater in a Floating Treatment Wetland: A Case Study of Sialkot Tannery. *Sustainability*, 14(19), 12854. <https://doi.org/10.3390/su141912854>
- Żarłok, J., Kowalska, M., & Szakiel, J. (2025). The Use of Collagen Hydrolysate from Chromium Waste in the Optimization of Leather Retanning. *Sustainability*, 17(17), 7912. <https://doi.org/10.3390/su17177912>