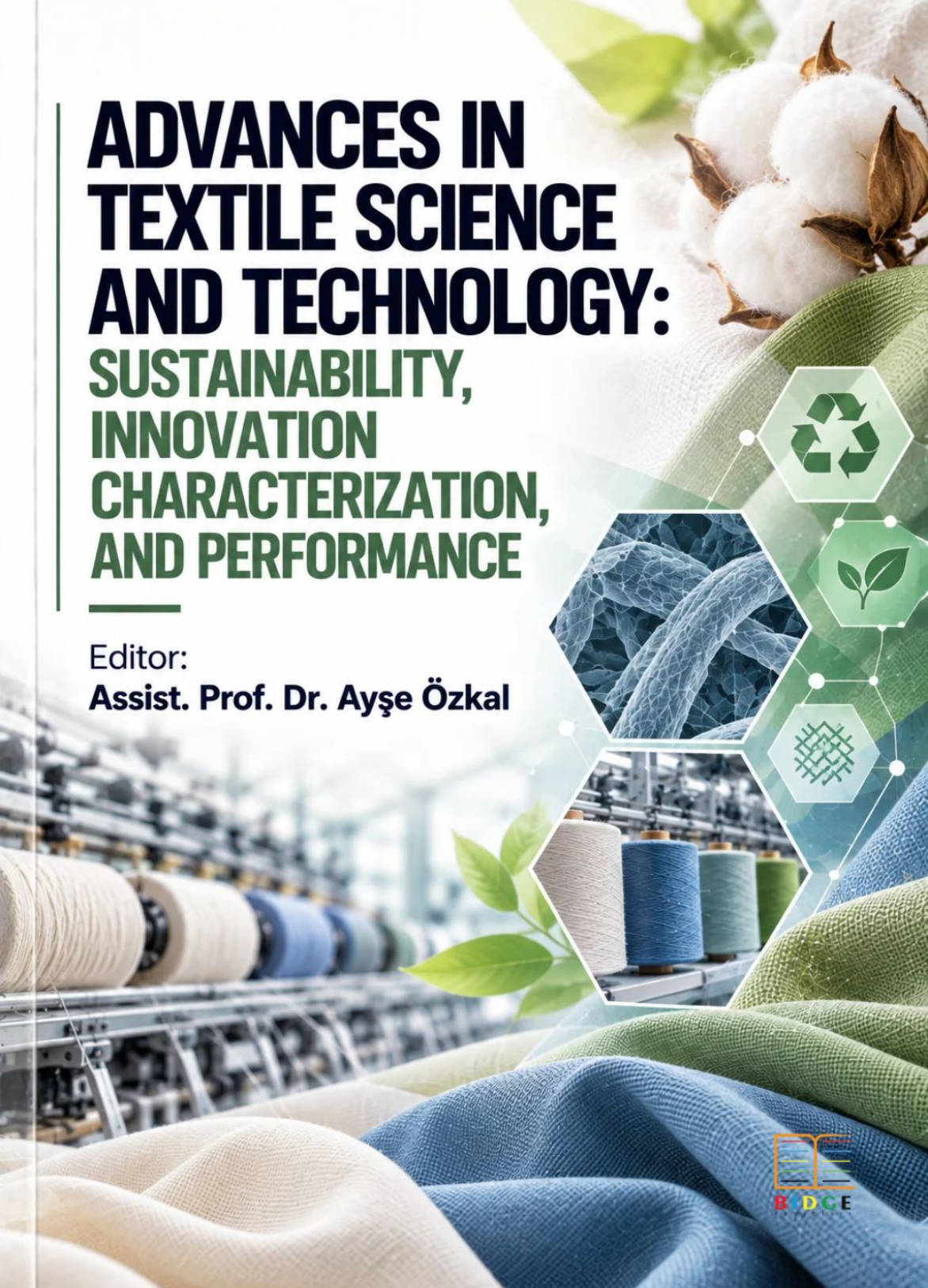
ADVANCES IN TEXTILE SCIENCE AND TECHNOLOGY:

SUSTAINABILITY, INNOVATION CHARACTERIZATION, AND PERFORMANCE

Editor:
Assist. Prof. Dr. Ayşe Özkal



BİDGE Yayınları

Advances in Textile Science and Technology: Sustainability, Innovation, Characterization, And Performance

Editor: AYŞE ÖZKAL

ISBN: 978-625-5057-24-2

1st Edition
Page Layout By: Gözde YÜCEL
Publication Date: 2026-10-25
BİDGE Yayınları

All rights reserved. No part of this work may be reproduced in any form or by any means, except for brief quotations for promotional purposes with proper source attribution, without the written permission of the publisher and the editor.

Certificate No: 71374
All rights reserved © BİDGE Yayınları
www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com
Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.
Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara

PREFACE

Textile science and technology cover a wide range of subjects, from conventional manufacturing processes to the development, characterization, and performance of textile materials. Environmental concerns, technological developments, and changing industrial requirements continue to influence research in this field. Sustainability, recycling, material properties, and new production approaches are among the important topics in textile engineering.

This book, "**Advances in Textile Science and Technology: Sustainability, Innovation, Characterization, and Performance"**, consists of six chapters addressing different subjects in textile science, engineering, and design. The first chapter examines the viscoelastic behavior of textile materials, including creep, stress relaxation, and hysteresis. It discusses viscoelastic models and their use in evaluating the mechanical behavior of textile structures, particularly spacer fabrics. The second chapter discusses sustainability and recycling in the textile industry from environmental, social, and economic perspectives. It addresses resource conservation, waste management, working conditions, consumer behavior, and the economic aspects of recycling. The third chapter focuses on analytical methods used for textile fiber characterization and their relevance to forensic examinations. It considers the characterization of recycled fibers, the differences between recycled and virgin fibers, and the challenges involved in their analysis. The fourth chapter examines technological developments in the carpet industry, from fiber and material technologies to digital production systems. It discusses developments in carpet design, manufacturing equipment, and quality control. The fifth chapter addresses the technological development of nettle fibers and their applications in textile and composite materials. It considers these developments from a sustainability perspective. The sixth chapter focuses on sustainability in fashion design, particularly the relationship between art, craftsmanship, and circular approaches. It considers how these different perspectives are connected within sustainable fashion design.

The chapters cover different aspects of textile research, including material properties, sustainable production, analytical methods, manufacturing technologies, and design. The book is intended for researchers, academics, students, and professionals interested in textile science and related fields.

I would like to thank all the chapter authors for their contributions to this book. I also thank the publisher for its support in preparing and publishing this work.

EDITOR

Dr. Ayşe Özkal

PAMUKKALE UNIVERSITY

CONTENTS

VISCOELASTIC BEHAVIOR IN TEXTILE MATERIALS 1
GONCA ALAN

INTERACTION BETWEEN SUSTAINABILITY COMPONENTS AND RECYCLING IN TEXTILE INDUSTRY FROM ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND ECONOMICAL PERSPECTIVES 14
AYŞE ŞEVKAN MACİT, GONCA ALAN, SEVCAN ÜSTÜN

EVALUATION OF ANALYTICAL APPROACHES FOR THE CHARACTERIZATION OF RECYCLED TEXTILE FIBERS IN THE CONTEXT OF FORENSIC FIBER EXAMINATION 31
NURİYE ESENCELİ

FROM FIBER TECHNOLOGIES TO AI-BASED PRODUCTION SYSTEMS IN THE CARPET INDUSTRY 55
SEVCAN ÜSTÜN

ISIRGAN LİFİNDEN TEKSTİL VE KOMPOZİT MALZEMELERE: TEKNOLOJİK GELİŞİM VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFİ 77
ELİF SULTAN AKPINAR

MODA TASARIMINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: SANAT, ZANAAT VE DÖNGÜSEL YAKLAŞIMLARIN KESİŞİMİ .. 115
TUĞBA SEFEROĞLU

CHAPTER 1

VISCOELASTIC BEHAVIOR IN TEXTILE MATERIALS

GONCA ALAN[1]

Introduction

The viscoelastic behavior of textile materials is a critical factor that directly influences their lifespan and performance during use. Since textiles are subjected to various forces in daily applications, researching this behavior requires a careful consideration of the actual mechanical loads these materials experience. These investigations are primarily conducted by analyzing stress relaxation and creep behaviors, which reflect how textiles respond to constant deformation or sustained weight over time. Furthermore, the inherently bulky and porous structure of textile materials, combined with their diverse application areas ranging from apparel to technical textiles, exposes them to complex combinations of mechanical loads. During everyday use or industrial operations, these structures do not merely experience simple tension; instead, they undergo bending, compression, and shearing forces simultaneously. Due to this structural complexity, the performance

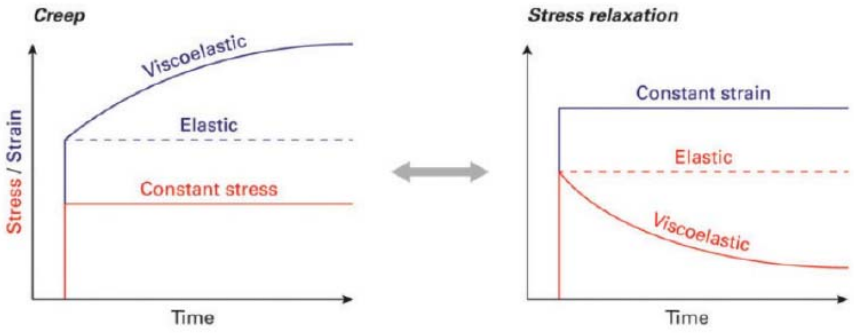
[1] Asst. Prof. Dr., Uşak University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Textile Engineering, ORCID: 0000-0002-0416-4235.

of textiles inevitably degrades over time, leading to issues like permanent deformation, sagging, or loss of structural integrity. Consequently, understanding the concept of viscoelasticity becomes essential for evaluating these time-dependent changes. By analyzing viscoelastic properties, researchers and manufacturers can accurately assess how a material will deform under sustained stress and predict its long-term behavioral shifts, ensuring that textile products maintain their functionality and quality throughout their service life. Finally, the experimental data gathered from these tests are evaluated and supported by various viscoelastic models to accurately predict long-term material deformation and durability.

Viscoelasticity and Viscoelastic Models

Viscoelasticity is a fundamental mechanical property of materials that exhibit both viscous (liquid-like) and elastic (solid-like) characteristics under deformation. Elastic materials obey Hooke's Law in which stress is directly proportional to strain and recovery is instantaneous, whereas viscoelastic materials demonstrate time-dependent behavior. Time dependency can be explained by the terms stress relaxation, creep and hysteresis. Stress relaxation can be defined as the mechanism when constant strain is applied to a textile material, the internal stress required to maintain that deformation decreases over time. Creep occurs if a constant load (stress) is applied to a fabric, the material continues to deform progressively over time rather than reaching a fixed deformation immediately. Hysteresis refers to the energy during cyclic loading and unloading, applied to deform the textile which is not fully recovered. Some energy is dissipated as heat, creating a loop in the stress-strain curve (Banks et al. 2011, Şengül 2021, Hasçelik 2015, Hosford 2010).

Figure 1. Viscoelastic behavior over stress relaxation and creep phenomenons



Reference:Zoback and Kohli, 2019

The three primary viscoelastic models widely utilized to mathematically describe and analyze the time-dependent mechanical responses of textile materials are established by combining an ideal elastic spring (representing Hookean solid behavior) and an ideal viscous dashpot (representing Newtonian fluid behavior) in various configurations.

The most common viscoelastic models employed in academic research include:

The Maxwell Model

The Maxwell Model is constructed by connecting a spring and a dashpot in series. Upon the application of an instantaneous load, the spring deforms immediately to exhibit an elastic response, whereas the dashpot begins to displace gradually over time, demonstrating viscous flow. This model is highly effective for characterizing stress relaxation behavior. It accurately simulates how internal stress within a textile material dissipates over time when held at a constant strain. However, it is generally inadequate for predicting long-term creep deformations.

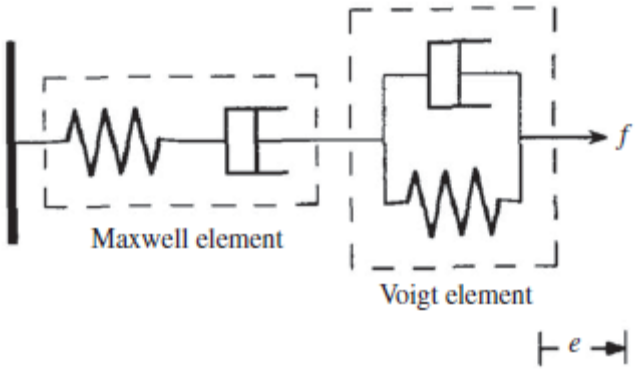
The Kelvin-Voigt Model

The Kelvin-Voigt Model features a spring and a dashpot connected in parallel. Due to the parallel alignment, both components are forced to experience the identical amount of strain. The spring suppresses the sudden movement of the dashpot, causing the material's deformation to develop progressively rather than instantaneously. This model is exceptionally well-suited for modeling creep and subsequent elastic recovery. It illustrates how a textile structure deforms under a sustained, constant load and how it reverts to its original dimensions once the load is removed.

The Burgers Model

This model is known as the four element model and a combination of two others; the Maxwell model and the Kelvin-Voigt model connected in series.

Figure 2. Four unite viscoelastic model



Reference:Terzoupulos and Fleischer, 1988 , Martins et al., 2015

Spacer Fabrics and Recent Studies on Their Viscoelastic Properties

Spacer fabrics are defined as advanced three-dimensional textile structures comprising two distinct outer layers interconnected by a spacer layer, typically composed of monofilament yarns. Spacer fabrics can be manufactured using nonwoven, weaving, weft knitting, or warp knitting techniques. Among these, warp knitting is the predominant method due to its cost-effectiveness, high production efficiency, and superior structural versatility (Wen et al., 2022, Wan et al., 2025). These fabrics are characterized by a three-dimensional architecture consisting of two distinct surface layers joined by monofilament spacer yarns. The functional performance of a spacer fabric is primarily determined by key design parameters, including the choice of raw materials, the surface geometry of the outer layers, the specific interlacing patterns, fabric thickness, and the diameter of the monofilament yarns (Qu et al., 2022, Chen et al., 2017, Vassiliadis et al., 2018). The unique tri-dimensional architecture of these textiles provides distinctive functional advantages; as superior alternatives for high-performance sports helmets Muthu Kumar et al. (2022), protective applications, (Asayesh&Amini, 2021). Beyond thermal comfort, they offer superior compressive strength and kinetic energy dissipation, which are vital for impact-related application fields (Kwan et al., 2024). Spacer fabrics represent a highly sustainable alternative to conventional polyurethane foams, characterized by waste-minimizing production processes and significant time and energy savings. Beyond their eco-friendly profile, advancements in raw material selection and structural configurations have expanded their utility far beyond traditional applications (Matsouka et al., 2020, Caronna et al., 2022). Since the cushioning effect is majorly related to the response of the textiles structure under pressure, mechanical compression behavior of spacer fabrics have been studied by the

researchers (Liu et al. 2024, Sadretinova et al. 2025, Alan 2025, Hossain et al., 2026). Viscoelastic properties of textile products have been investigated by researchers through numerous studies. Analyzing their complex structure and time-dependent behavior when utilized in usage areas specifically exposed to compressive loads, has been the main issue in the majority of the studies. Jafari Horastani et al. (2023), have studied time dependency of a kind of shape memory fabric. They investigated the stress relaxation behavior of the knitted shape memory fabric considering viscoelastic models. Finally the researchers revealed that the Kelvin-Voigt-Maxwell model demonstrated a higher and more acceptable regression coefficient among others. Marzougui et al. (2023), applied cyclic loading to knitted cotton fabric in alignment with the assumptions of the structure while in use. Following the test procedure an energy model was described by the researchers from the viscoelastic terms of Burger's model. The researchers stated that, cyclic loading significantly affected the elastic, plastic and viscoelastic responses of the knitted fabric. Since they focused on the the energy dissipation, their energy model was convenient to have a knowledge on the knitted fabric to recover. Walther et al. (2026), studied on warp-knitted spacer fabrics and nonwoven sandwich structures, considered as alternatives to polyurethane foams in terms of environmental benefit and sustainability. Quasi-static compression and vibration were applied to these structures to analyze their performances. Main objevtive of the study was to determine the potential of the warp-knitted spacer fabrics and nonwoven sandwich structures to be used as alternatives to polyurethane foams. In this context the researchers reported that the knitted spacers and the nonwoven sandwich structures exhibited significantly remarkable performance under vibration and a lower isolation frequency in comparison with the selected foams.

Mirakhorli and Asayesh (2022), emphasized the importance of managing the stress relaxation in textile structures in terms of durability. From this stand-point of view, they conducted viscoelastic analysis on weft knitted fabrics with intentionally miss stiches to determine the stress relaxaion by assessing strain levels. Considering the examined viscoelastic models, the three component Maxwell model with a nonlinear spring was found to be suitable to clearly state the stress relaxation behavior of all selected fabrics. Zadekhast and Asyesh (2023), conducted a study on the creep duration of the warp-knitted fabrics. They have analyzed Kelvin (voigt) model, Eyring three element model, Standard linear solid model, Kelvin model in series with spring, and Kelvin model in series with dashpot to determine the creep behavior of various warp knitted fabric structures. In the result, the creep behavior of the aforementioned fabrics could be accurately predicted utilizing Kelvin model in series. Sadoughi et al. (2024), manufactured different types of woven spacer fabrics to study on their compressional behavior. By changing the manufacture process and structural parameters, they aimed to have a large scale of data on the compressional bheavior of these fabics with selected properies. In conclusion, they correlated the compressional behavior of woven spacer fabric with viscoelastic models namely (Kelvin model, Maxwell model, and also the Van Wyk Theory. The researchers revealed that the three-component model with nonlinear spring well fitted with the experimental data. Jamshidi et al. (2026), stated that searching mechanical behavior of textile materials in tems of viscoelastic perspective provide deep knowledge about their endurance and dimensional stability. For this purpose they examined creep mechanism of multi-layered technical textiles utilized in insulation applications. These structures had seam zones and seamless control groups as well. They proceeded by using the Burgers model to evaluate the creep process. The researchers observed a non-linear correlation between the number of layers and viscoelastic mechanism of the materials.

As it can be observed clearly from the latest literature review, viscoelastic components, fundamentally known as stress relaxation and creep phenomenons attact great attention from the researchers to be investigated. Since these components are related to the time-dependency, they represent the response mechanisms of the textile structures under loading exposure in alignment with the usage field. Analyzing these mechanisms through viscoelastic models and evaluating the results to predict future manufacturing and usage conditions constitutes a highly significant area of study for researchers.

Conclusion

In conclusion, understanding the viscoelastic behavior of textile materials, particularly advanced three-dimensional structures like spacer fabrics, is essential for predicting their long-term performance and durability. This study highlights that time-dependent properties such as stress relaxation, creep, and hysteresis directly influence how these fabrics respond to continuous mechanical loads in daily applications. By utilizing viscoelastic configurations like the Maxwell, Kelvin-Voigt, and Burgers models, researchers can mathematically evaluate the balance between elastic recovery and viscous flow. Recent academic literature confirms that these models provide precise regression coefficients and energy dissipation analyses, which are crucial for characterizing the deformation behavior of complex knitted and shape-memory textile structures under sustained pressure.

Furthermore, warp-knitted spacer fabrics have emerged as a highly functional and sustainable alternative to conventional polyurethane foams. Owing to their unique three-dimensional structure comprising two surface layers connected by monofilament yarns, these fabrics offer excellent compressive strength, thermal comfort, and kinetic energy dissipation. Consequently, combining

these advanced structural designs with accurate viscoelastic modelling allows for the development of eco-friendly, high-performance textiles that are perfectly optimized for technical branches such as; protective equipment, sports wear, cushioning applications and medical textiles.

References

Alan, G. (2025). Viscoelastic behavior of warp-knitted spacer fabrics in iterative compression and decompression. *Textile Research Journal*, 95(7-8), 720-727. https://doi.org/10.1177/00405175241276792

Asayesh, A., & Amini, M. (2021). The effect of fabric structure on the compression behavior of weft-knitted spacer fabrics for cushioning applications. *The Journal of The Textile Institute*, 112(10), 1568-1579. https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1829330

Banks, H. T., Hu, S., & Kenz, Z. R. (2011). A brief review of elasticity and viscoelasticity for solids. *Advances in Applied* Mathematics and Mechanics, 3(1), 1-51. https://doi.org/10.4208/aamm.10-m1030

Caronna, F., Glimpel, N., Paar, G. P., Gries, T., Blaeser, A., Do, K., ... & Ronan, W. (2022). Manufacturing, characterization, and degradation of a poly (lactic acid) warp-knitted spacer fabric scaffold as a candidate for tissue engineering applications. *Biomaterials Science*, 10(14), 3793-3807. https://doi.org/10.1039/d1bm02027g

Chen, M. Y., Lai, K., Sun, R. J. et al. (2017). Compressive deformation and load of a spacer filament in a warp-knitted spacer fabric. *Textile Research Journal*, , 87(5), 631-640. https://doi.org/10.1177/0040517516636007

Hasçelik B. Investigation of viscoelastic properties of woven fabrics. PhD Thesis, *Uludag Universitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, Turkey, 2015.

Hosford, W.F. (2005) Mechanical Behavior of Materials. Cambridge University Press pp 244-259.

Hossain, E., Potluri, P., Abeykoon, C., & Fernando, A. (2026). From Material to Manufacture: A State-of-the-Art Review of Compression Garment Technologies for Medical and Sports Use. *Textiles*, 6(1), 7. https://doi.org/10.3390/textiles6010007

Jafari Horastani, S., Ghane, M., Karevan, M., & Zadhoush, A. (2023). An analytical approach to the stress relaxation behavior of a low temperature shape-memory fabric based on viscoelastic models. *Smart Materials and Structures*, 32(5), 055008. https://doi.org/10.1088/1361-665X/acc622

Jamshidi, Z., Ajeli, S., & Salmani-Tehrani, M. (2026). Modeling the viscoelastic behavior of sewn multi-layer insulation fabrics: a non-linear response and optimal number of layers. Textile Science & Research Journal, 2(1), 82-94. https://doi.org/10.63456/tsrj-2-1-39

Kwan, M. Y., Tu, Y. F., Yick, K. L., Yip, J., Li, N. W., Yu, A., & Lo, K. W. (2024). Enhancing force absorption, stress–strain and thermal properties of weft-knitted inlay spacer fabric structures for apparel applications. Polymers, 16(21), 3031. https://doi.org/10.3390/polym16213031

Liu, X., Du, Z., Lee, H. P., Zhong, Y., et al. (2024). Study on planar compression properties of multi-layered spacer fabrics. *Textile Research Journal*, , 94 (1-2), 152-165. https://doi.org/10.1177/00405175231202528

Martins, C., Pinto, V., Guedes, R. M., & Marques, A. T. (2015). Creep and stress relaxation behaviour of PLA-PCL fibres–a linear modelling approach. *Procedia Engineering*, 114, 768-775. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.024

Marzougui, S., Zaouali, R., & Shafee, W. (2023). Energy model for describing the viscoelastic behavior of knitted cotton fabric during relaxation. *Fibers and Polymers*, 24(3), 1149-1156. https://doi.org/10.1007/s12221-023-00024-y

Matsouka, D., Vassiliadis, S., Vassou, C., & Marmaralı, A. (2020). Computational modelling of hospital mattresses made from spacer fabrics. *Textile and Apparel*, 30(4), 239-250. https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.585936

Mirakhorli, S., & Asayesh, A. (2023). Evaluating the tensile stress relaxation of rib weft-knitted fabrics using viscoelastic models. *Mechanics of Time-Dependent Materials*, 27(4), 1025-1041. https://doi.org/10.1007/s11043-022-09553-0

Muthu Kumar, N., Thilagavathi, G., and Periasamy, S. (2022). Development and characterization of warp knitted spacer fabrics for helmet comfort liner application. Journal of Industrial Textiles, 51(2), 2053-2070. https://doi.org/10.1177/1528083720939215

Qu, M., Xia, F., Fang, F., Huang, L., et al. (2022). Influence of spacer filament fineness on indentation characterizations of warp-knitted spacer fabrics for mattresses. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*,17, (1-10) https://doi.org/10.1177/15589250221131884

Sadoughi, M., Asayesh, A., & Ezazshahabi, N. (2024). Evaluation of the effect of structural parameters on the compression behaviour of woven spacer fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, 115(11), 2233-2247. https://doi.org/10.1080/00405000.2023.2284020

Sadretdinova, N., Pietsch, K. and Orlik, J. (2025). Parametrized regression model and experimental validation for an effective spacer fabric compression. *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, 6(1), 108-122. https://doi.org/10.25367/cdatp.2025.6.p108-122

Şengül, Y. (2021). Nonlinear viscoelasticity of strain rate type: an overview. Proceedings. Mathematical, Physical, and Engineering Sciences, 477(2245), 20200715. https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0715

Terzopoulos, D., & Fleischer, K. (1988). Modeling inelastic deformation: viscolelasticity, plasticity, fracture. *ACM Siggraph*

Computer Graphics, 22(4), 269-278. https://doi.org/10.1145/378456.378522

Vassiliadis, S., Matsouka, D., Rešetárová, L., Bouin, L., & Marmarali, A. (2018). Stress relaxation of three-dimensional warp-knitted fabrics in compression. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*Vol. 459, No. 1, p. 012069, IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1757-899X/459/1/012069

Walther, J., Dupuis, R. L., Osselin, J. F., & Aubry, E. (2026). Compression and vibration behavior of foams, knitted spacers and nonwoven spacers: An experimental study. Mechanics of Advanced *Materials and Structures*, 33(1), 2726368. https://doi.org/10.1080/15376494.2026.2726368

Wan, A., Xu, T., Wang, X., & Hao, G. (2025). Effect of yarn characteristics on bagging recovery and comfort properties of warp-knitted fabric for sport and recreation. *Fibers and Polymers* 26(3), 1411-1421. https://doi.org/10.1007/s12221-025-00864-w

Wen, Z., & Liu, S. (2022). Process and design of jacquard warp knitted spacer fabric. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, (1 (151), 67-70. https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.6464

Zadekhast, R., & Asayesh, A. (2023). Evaluation of the tensile creep behavior of various warp knitted fabric structures using viscoelastic models. *Fibers and Polymers*, 24(7), 2479-2489. https://doi.org/10.1007/s12221-023-00213-9

Zoback MD & Kohli AH. Unconventional reservoir geomechanics, shale gas, tight oil, and mduced seismicity. New York: Cambridge University Press, pp. 65-90, 2019.

CHAPTER 2

INTERACTION BETWEEN SUSTAINABILITY COMPONENTS AND RECYCLING IN TEXTILE INDUSTRY FROM ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND ECONOMICAL PERSPECTIVES

AYŞE ŞEVKAN MACİT[1]
GONCA ALAN[2]
SEVCAN ÜSTÜN[3]

Introduction

The textile industry represents one of the most critical manufacturing sectors globally, characterized by an extensive value chain. However, the production pathway of textiles and garments lead to severe ecological degradation spanning from primary raw material cultivation to end-of-life product disposal. Key environmental burdens unavoidable in textile processing include intensive chemical loading, excessive water-energy consumption, atmospheric emissions and solid waste generation. In applying

[1] Assoc. Prof. Dr., Uşak University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Textile Engineering, ORCID: 0000-0002-0646-8582.
[2] Asst. Prof. Dr., Uşak University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Textile Engineering, ORCID: 0000-0002-0416-4235.
[3] Lecturer Dr., Uşak University, Technical Sciences Vocational School, Textile Technology, ORCID: 0000-0001-6102-5496.

corporate sustainability factors within this framework, it is essential to account for a range of interconnected variables to ensure a comprehensive approach. Crucially, formalizing these distinct variables into a cohesive model and analyzing their cross-functional interdependencies remain vital to unlocking viable corporate sustainability strategies (Jovanovic et al., 2026).

Within this network, closed-loop interventions consisting of recycling practices during both the production and post-consumption phases have emerged as a primary mechanism to mitigate resource intensity and operational costs. As manufacturers face volatile energy prices and stricter environmental regulations, mitigating textile-driven impacts and recycling textile waste is no longer optional, but a fundamental requirement for long-term industrial sustainability (Islam et al., 2022). Ultimately, navigating this industrial transition requires a comprehensive paradigm shift at the institutional, manufacturing, and consumption levels. Here, evaluating how recycling supports the environment, society, and economy is the key to understand true sustainability components in the sector (Silina et al., 2024).

Environmental Components

Textile recycling processes contribute significantly to the conservation of water, energy, and secondary resources within the broader framework of sustainability. Traditional textile manufacturing is inherently defined by intensive hydrological dependency; cotton cultivation, pre-treatment, dyeing, and printing operations serve as prime examples of processes that consume vast volumes of water. Strategically recycling a cotton product effectively eliminates the water consumption associated with both virgin fiber cultivation and the subsequent product dyeing phases. Consequently, this yield-optimized circularity offers dual benefits by conserving natural water bodies and reducing industrial wastewater treatment

expenditures. Conforming to this trajectory, a comprehensive study examining the ecological implications of large-scale textile-to-textile recycling frameworks across the EU by 2035 demonstrated that escalating the regional recycling rate to 10% yields a 92% probability of mitigating climate impacts and an almost 100% probability of reducing water scarcity stress (Sandin et al., 2025). Regarding energy conservation, recycling and reuse of textile resources inherently demands substantially lower energy inputs compared to virgin manufacturing from raw substrates. This operational efficiency holds true for both synthetic polymers and natural biomass fibers. Empirical investigations validate the net positive contribution of recycling to global energy conservation paradigms. For instance, Woolridge et al. (2006) quantified the energy savings associated with closed-loop reuse and recycling systems across the entire lifecycle encompassing resource extraction, material processing, electricity generation, garment collection, logistics, and ultimate waste disposal. Their findings indicated that substituting post-consumer garments for virgin inputs results in substantial energy savings of approximately 65 kWh per kilogram of cotton and 90 kWh per kilogram of polyester, thereby significantly diminishing the global environmental burden. Similarly, in a comparative lifecycle analysis between virgin and recycled polyester staple fibers, Li et al. (2024) determined that recycled alternatives offer definitive advantages by drastically lowering carbon emission indices, conserving thermal/electrical energy, and minimizing process water consumption. Beyond the metrics of water and energy, circular management facilitates the conservation of ecological resources. This resource preservation is achieved by reducing the total land area required for agricultural fiber cultivation, limiting the intensive application of eco-toxic agricultural chemicals, and minimizing the allocation of arable land for municipal waste disposal facilities.

In alignment with global efforts to establish a low carbon footprint, the textile industry as a major source of global pollution, faces increasing pressure to decarbonize, making recycling essential for this transformation. Incorporating systematic recycling pathways for both pre-consumer industrial waste and post-consumer end-of-life garments represents an essential strategy for reducing the overall carbon footprint of the apparel industry (Muthu et al., 2012). By bypassing the energy-intensive processing stages inherent in virgin material synthesis, recycling systematically decreases the volume of greenhouse gas (GHG) emissions generated during industrial transformation. This compression of the manufacturing lifecycle, coupled with the diversion of textile waste from open emissions sources, drives a net reduction in atmospheric carbon loading. Evaluating these dynamics, Zamani et al. (2015) reported that consolidating diverse recycling technologies into an integrated processing system for one tonne of textile waste yields significant ecological dividends compared to baseline linear practices. Depending on localized process efficiencies, their model demonstrated that an integrated recycling framework could achieve net savings of 10 tonnes of CO_2-equivalent and 169 GJ of energy per tonne of processed waste. Further reinforcing the environmental efficacy of these processes, Pérez et al. (2022) established that the systematic reuse of textile waste—by structurally avoiding virgin remanufacturing loops yields approximately 5.8 tonnes of CO_2-equivalent savings in greenhouse gas emissions for every single ton of recycled material.

Proper waste management and recycling are essential steps to reduce environmental pollution and save natural resources. Recycling textiles creates a highly positive shift in industrial waste management. By proactively repurposing discarded materials, enterprises can drastically downscale the volume of solid waste routed to municipal landfills, lower heavy transportation costs

associated with bulk waste logistics, and enhance their global market competitiveness through certified sustainable waste management compliance. In the end, setting up solid recycling frameworks creates multiple advantages for modern waste management ecosystems, most notably through the reduction of cumulative industrial waste and the suppression of regional environmental pollution (Oğuz, 2026; Awogbemi et al., 2022). Furthermore, these circular practices play a decisive role in reducing overall environmental degradation (Juanga-Labayen et al., 2022), serving as one of the most effective strategies for systematically eliminating textile waste streams (Shamsuzzaman et al., 2023). Within this hierarchical framework of circularity, the direct reuse of apparel emerges as an exceptionally sustainable approach to waste management, primarily because it preserves the essential value and structural integrity of the product far more efficiently than energy-intensive redesign or structural remanufacturing processes (Lee et al., 2025).

However, optimizing the macro-level governance of textile waste requires a sophisticated combination of regulatory and operational interventions. While systemic policy mechanisms including mandatory sustainability labeling, deposit-refund schemes, the scaling up of closed-loop recycling infrastructures, and stringent bans on the exportation of unsorted textile waste substantially improve waste management metrics, the most profound ecological dividend is derived from the absolute prevention of waste generation (Solis et al., 2024). This empirical insight underscores the critical necessity of minimizing waste footprints at both the source-manufacturing and post-consumer phases. Consequently, establishing solid pathways for continuous product reuse and systemic textile recycling acts as the primary vehicle for achieving this preventative, high-efficiency waste management.

Social Components

Beyond changing industrial processes, the transition of the textile sector to a sustainable configuration fundamentally interfaces with consumer psychology and socio-cognitive behavioral transformations. Traditionally viewed as a less important "second-hand" status, products incorporating recycled textile content are increasingly validated as core signifiers of a proactive, sustainable lifestyle. This evolution in consumer mindset has elevated the strategic visibility of manufacturers. Companies that base their corporate identity on verifiable circular practices and transparent eco-labeling systematically gain higher market prestige and competitive advantage. Modern consumers demonstrate an expanding awareness of resource scarcity and end-of-life pollution, viewing their purchasing decisions not purely as commercial exchanges, but as a tool for protecting the environment for future generations. However, empirical literature illustrates that this consciousness is highly stratified across distinct consumer demographics and behavioral archetypes. For instance, Weber et al. (2017) demonstrated that an individual’s engagement with fashion, conceptualized as the "fashion index," directly dictates post-consumer waste management behavior. Their findings revealed that high-index "fashion consumers" engage with apparel disposal through significantly more active circular pathways such as reselling, swapping, and participating in brand take-back schemes than low-index cohorts. Paradoxically, while fashion-centric consumers generate a higher gross volume of textile waste due to accelerated consumption cycles, their net disposal rate into municipal streams remains lower, driven by their preference for these alternative redistribution channels. This new socioeconomic shift is further confirmed by Ribeiro et al. (2023), who identified a profound transformation in the global consumer mindset toward ethical consumption. Their analysis underscores that contemporary

consumers are increasingly adapted to the broader social and informational dimensions of apparel production, subsequently requiring major brands to offer clear transparency and accessibility. Yet, despite this theoretical readiness to embrace circularity, a critical attitude gap persists within specific demographic sectors. Investigating the recycling perceptions of young European consumers, Grębosz-Krawczyk and Siuda (2019) observed that while empirical participation in brand-led garment collection campaigns remained statistically low, there was a clear willingness among youth to participate in future initiatives. This gap indicates that the main barrier for consumers is not a lack of intent, but rather a shortage of institutional promotion, structural accessibility, and targeted education on circular textiles.

Achieving genuine sustainability in global trade requires a fundamental commitment to social justice and worker welfare. The textile industry represents one of the most labor-intensive manufacturing sectors globally. Considering this complex network, adopting sustainable approaches throughout the production phase has become a vital necessity, particularly regarding the optimization of working conditions and occupational health standards. When working conditions are examined specifically in the context of recycling, it is known that they have both positive (e.g., employment opportunities) and negative (e.g., difficult working conditions) aspects. A strategy must be adopted that improves working conditions in the recycling industry while prioritizing the well-being of workers and societal welfare. Faced with shifting global labor dynamics and increasingly strict international social compliance regulations, manufacturers must prioritize workplace safety and fair labor practices, spanning from upstream garment assembly to downstream logistics (Muñoz-Torres et al., 2022). The regulatory frameworks and contemporary approaches established by the International Labour Organization (ILO) and the European Union

(EU) represent a critical transformation from voluntary corporate social responsibility (CSR) toward legally binding, enforceable, and strict legal scrutiny of human rights practices (Yücel et al., 2025). In this context Gankhuyag et al. (2025), investigated work-integrated learning as insights from the textile industry in alignment with EU's Corporate Sustainability Due Diligence Directive (CSDDD). It is reported that especially supporting the social sustainability, according to the empirical outcomes, cross-functional and external partnerships constitute a vital mechanism for expanding organizational capabilities, meeting regulatory mandates, and driving experiential knowledge acquisition. Shared artifacts, such as industry certifications, formalized legal mandates, and supplier protocols, serve as conceptual conduits that promote structural harmony and mutual comprehension across institutional boundaries. Consequently, integrating economic viability with ethical labor management within operational stages is a fundamental requirement for long-term industrial resilience and corporate reputation.

Economical Components

Minimizing input costs through resource efficiency constitutes the most direct way toward achieving long-term financial feasibility and industrial resilience. Given that textile manufacturing is inherently resource-intensive, effective cost management is inseparably linked to the strict optimization of raw materials, water, and energy consumption. In the current industrial landscape, operational efficiency and ecological sustainability are mutually reinforcing objectives (Luján-Ornelas et al., 2020). From a strategic standpoint, the United Nations Sustainable Development Goals serve as a comprehensive macro-framework designed to diminish long-term operational expenses and minimize resource waste by targeting the elimination of economic inefficiencies by the 2030 deadline (Thakker and Sun, 2023). By integrating resource-efficient technologies, adopting circular economy principles, and

systematically reducing waste streams, manufacturers can decrease their environmental footprint while simultaneously optimizing operational expenses (Gheorghita and Nistor, 2024). To reach these goals across the different stages of textile production, enterprises should translate waste reduction into direct savings. Maia et al. (2013), carried out a thorough study on industrial optimization considering the components of sustainable development in the textile industry. They reported that resource consumption in manufacturing is inherently driven by the choice of substrate, equipment, and processing parameters. Analyzing this correlation allows firms to achieve high resource efficiency, enabling precise operational adjustments that simultaneously curtail water and energy consumption. Applying a cost-reduction mindset to specific textile manufacturing steps, resource efficiency in spinning and weaving avoids surplus inventory and frees up tied-up capital. Similarly, prioritizing cost control in resource-intensive wet processing and dyeing cuts down on defective batches, preventing re-dyeing cycles that heavily drain water, chemicals, and energy. Ultimately, streamlining material flows and quality controls across the entire manufacturing process enables textile enterprises to turn resource efficiency into a strategic tool for enhancing profitability and global market competitiveness.

Sustainable production relies on smart systems that eliminate waste by converting it back into valuable resources. To achieve effective sustainability, industrial systems must adopt a circular economy framework that prioritizes waste valorization. The circular economy is a developing sustainable business model that shifts production from traditional linear frameworks to closed-loop systems. Instead of following a linear model, a circular system generates continuous value by maximizing resource efficiency and eliminating material and energy waste. Under this framework, implementing reduction, reuse, recycling, and resource recovery

throughout the supply chain systematically extends the lifecycle and utility of products. In this context, waste valorization through advanced recycling has become central to the circular economy, fundamentally reshaping the financial structure of textile manufacturing. Transitioning to a closed-loop system allows material recycling to reposition sustainability as a strategic economic advantage rather than a regulatory cost. (Wiegand and Wynn, 2023). Recycling pre-consumer scraps and post-consumer textile waste into high-value raw materials provides significant micro and macroeconomic benefits (Abrishami et al., 2024). On an operational level, this transition serves to reduce waste management costs and optimizes raw material expenses. Macroeconomically, this approach decouples industrial growth from resource depletion and protects supply chains from volatile raw material markets (Desore and Narula, 2018). Grover et al. (2025), studied on a thorough review regarding the valorization of textile waste within the circular economy framework to address the global waste crisis. The study reveals a comparative analysis of mechanical, chemical, and biological recycling methodologies, evaluating their operational processes, and sustainability outcomes. Ghosh et al. (2025), in another study emphasized transformative potential of chemical and biotechnological recycling methodologies in converting blended and finished textile waste into high-value secondary resources. Consequently, integrating recycling into the textile value chain moves beyond environmental necessity; it becomes a strategic tool that reduces supply chain risks, stabilizes operational costs, and strengthens long-term competitiveness.

Conclusion

The objective of this study is to highlight the critical need for evolving the global textile and clothing industry toward sustainable development, repositioning this shift as a fundamental requirement for the sectoral outlook. By examining the multi-dimensional

components of sustainability, this study demonstrates that integrating closed-loop recycling into specific manufacturing stages serves as a key driver for both environmental and economic optimization. From an environmental perspective, structured recycling pathways across fiber preparation, spinning, and dyeing provide definitive advantages by reducing water use, optimizing energy consumption, lowering carbon emissions, and minimizing landfill waste. Similarly, from an economic standpoint, these resource-efficiency strategies function as potent tools that directly translate waste elimination into cost savings. On a microeconomic level, preventing surplus inventory and optimizing production inputs protect corporate profitability. However, maximizing these financial and ecological returns requires a comprehensive, risk-based alignment of the entire value chain from raw material sourcing to final logistics. Isolated interventions are insufficient; navigating this transformation demands a comprehensive transition that harmonizes corporate optimization with macro-level legislative mandates and emerging regional policies. From a standpoint of social components, this study concludes that institutional and technological advancements must interface dynamically with behavioral and social realities. While macro-level policies are vital for supporting a circular economy, the success of textile recycling ultimately depends on closing the gap between consumer attitudes and behaviors. To turn consumer willingness into active participation, demands for brand transparency must be supported by better infrastructure and targeted awareness campaigns. Ultimately, integrating these complex connections into a clear operational framework is essential for securing the industrial long-term future, driving sustainable innovation, and achieving global development goals.

Artificial Intelligence Usage Statement

Google Gemini was used within ethical boundaries and without replacement of the authors to support the construction of the comprehensive framework of this study.

References

Abrishami, S., Shirali, A., Sharples, N., Kartal, G. E., Macintyre, L., & Doustdar, O. (2024). Textile recycling and recovery: an eco-friendly perspective on textile and garment industries challenges. *Textile Research Journal*, 94(23-24), 2815-2834. DOI:10.1177/00405175241247806

Awogbemi, O., Kallon, D. V. V., & Bello, K. A. (2022). Resource recycling with the aim of achieving zero-waste manufacturing. *Sustainability*, *14*(8), 4503. https://doi.org/10.3390/su14084503

Desore, A., & Narula, S. A. (2018). An overview on corporate response towards sustainability issues in textile industry. Environment, development and sustainability, 20(4), 1439-1459. https://doi.org/10.1007/s10668-017-9949-1

Gankhuyag, M., Norström, L., & Zetterström, J. (2025). Work-integrated learning for social sustainability: insights from the Nordic textile industry. *Current Issues in Work-Integrated Learning,* 1(2), 22-38. https://doi.org/10.64775/ciwil.2025.56997

Gheorghita, M. & Nistor, D.,(2024). Sustainability enhancing of textile industry through smart program implementation: case of republic of Moldova. *Annals of the University of Oradea. Fascicle of Textiles, Leatherwork*, 25(1), 43.

Ghosh, J., Repon, M. R., Rupanty, N. S., Asif, T. R., Tamjid, M. I., & Reukov, V. (2025). Chemical valorization of textile waste: advancing sustainable recycling for a circular economy. *ACS omega*, 10(12), 11697. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c10616

Gręboszc-Krawczyk, M., & Siuda, D. (2019). Attitudes of young European consumers toward recycling campaigns of textile companies. *Autex Research Journal*, 19(4), 394-399. DOI: 10.1515/aut-2018-0057

Grover, T., Wang, L., Nayak, R., Padhye, R., & Khandual, A. (2025). Sustainable strategies for the valorization of cotton and

cotton blended waste: pathways to circular economy. *Cellulos*e, 32(7), 4077-4100. https://doi.org/10.1007/s10570-025-06524-9
https://doi.org/10.3390/su15119111

Islam, M. T., Jahan, R., Jahan, M., Howlader, M. S., Islam, R., Islam, M. M., ... & Robin, A. H. (2022). Sustainable textile industry: An overview. *Non-Metallic Material Science*, 4(2), 15-32. https://doi.org/10.30564/nmms.v4i2.4707

Jovanović, M., Vuković, M., Uroševıć, S., & Ranısavljevıć, I. M. (2026). Modelling of factors of corporate sustainability of textile industry companies. *Industria Textila*, 77(2), 205. DOI: 10.35530/IT.077.02.202547

Juanga-Labayen, J. P., Labayen, I. V., & Yuan, Q. (2022). A review on textile recycling practices and challenges. *Textiles*, *2*(1), 174-188. https://doi.org/10.3390/textiles2010010

Lee, J., Park, C. H., Yun, C., & Lee, S. (2025). Textile waste management and its sustainability: a review. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *27*(4), 2183-2197. https://doi.org/10.1007/s10163-025-02272-x

Li, D., Feng, S., Tao, J., Yu, S., He, Y., Yu, R., ... & Zhu, M. (2024). Optimizing sustainability in textile recycling: life cycle assessment of recycled polyester staple fibers with a focus on carbon emissions, energy efficiency, and water conservation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *12*(47), 17347-17356. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c07598

Luján-Ornelas, C., Güereca, L. P., Franco-García, M. L., & Heldeweg, M. (2020). A life cycle thinking approach to analyse sustainability in the textile industry: a literature review. *Sustainability*, 12(23), 10193. doi:10.3390/su122310193

Maia, L. C., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2013). Sustainable work environment with lean production in textile and clothing industry.

International Journal of Industrial Engineering and Management, 4(3), 183-190.

Muñoz-Torres, M. J., Fernández-Izquierdo, M. Á., Ferrero-Ferrero, I., Escrig-Olmedo, E., & Rivera-Lirio, J. M. (2022). Social life cycle analysis of textile industry impacts for greater social sustainability of global supply chains. *Systems*, 11(1), 8. https://doi.org/10.3390/systems11010008

Muthu, S. S., Li, Y., Hu, J. Y., & Ze, L. (2012). Carbon footprint reduction in the textile process chain: Recycling of textile materials. *Fibers and Polymers*, *13*(8), 1065-1070. https://doi.org/10.1007/s12221-012-1065-0

Oğuz, N. S. (2026). Current trends and sustainability practices in textile waste recycling. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 9(4), 2122-2131. https://doi.org/10.34248/bsengineering.1795312

Pérez, L. A. E., Pérez, A. T. E., & Vásquez, Ó. C. (2022). Exploring an alternative to the Chilean textile waste: A carbon footprint assessment of a textile recycling process. *Science of the Total Environment*, *830*, 154542. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154542

Ribeiro, P. R., Batista, P., Mendes-Palma, F., Pintado, M., & Oliveira-Silva, P. (2023). Consumers' engagement and perspectives on sustainable textile consumption. *Sustainability*, *15*(22), 15812. https://doi.org/10.3390/su152215812

Sandin, G., Lidfeldt, M., & Nellström, M. (2025). Exploring the environmental impact of textile recycling in Europe: a consequential life cycle assessment. *Sustainability*, *17*(5), 1931. https://doi.org/10.3390/su17051931

Shamsuzzaman, M., Hossain, I., Saha, T., Roy, A., Das, D., Ahmed, M. T., & Podder, S. K. (2023). Waste management in textile industry. In *Advanced technology in textiles: fibre to apparel* (pp. 279-299). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2142-3_10

Siliņa, L., Dāboliņa, I., & Lapkovska, E. (2024). Sustainable textile industry–wishful thinking or the new norm: A review. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 19, 15589250231220359. DOI: 10.1177/15589250231220359

Solis, M., Tonini, D., Scheutz, C., Napolano, L., Biganzoli, F., & Huygens, D. (2024). Contribution of waste management to a sustainable textile sector. *Waste Management*, *189*, 389-400. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.08.037

Thakker, A. M., & Sun, D. (2023). Sustainable development goals for textiles and fashion. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(46), 101989-102009. https://doi.org/10.1007/s11356-023-29453-1

Weber, S., Lynes, J., & Young, S. B. (2017). Fashion interest as a driver for consumer textile waste management: reuse, recycle or disposal. *International Journal of Consumer Studies*, 41(2), 207-215. https://doi.org/10.1111/ijcs.12328

Wiegand, T., & Wynn, M. (2023). Sustainability, the circular economy and digitalisation in the German textile and clothing industry. *Sustainability*, 15(11), 9111. https://doi.org/10.3390/su15119111

Woolridge, A. C., Ward, G. D., Phillips, P. S., Collins, M., & Gandy, S. (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material: An UK energy saving perspective. *Resources, conservation and recycling*, *46*(1), 94-103. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.06.006

Yucel, Y., Soydemir, C. O., Candan, C., & Nergis, B. (2025). The fabric of employee well-being: a conservation of resources approach to decent work conditions in the Turkish garment industry. *Employee Relations: The International Journal*, 47(2), 237-262. DOI: 10.1108/ER-03-2024-0132

Zamani, B., Svanström, M., Peters, G., & Rydberg, T. (2015). A carbon footprint of textile recycling: A case study in Sweden. *Journal of industrial ecology*, *19*(4), 676-687. https://doi.org/10.1111/jiec.12208

CHAPTER 3

EVALUATION OF ANALYTICAL APPROACHES FOR THE CHARACTERIZATION OF RECYCLED TEXTILE FIBERS IN THE CONTEXT OF FORENSIC FIBER EXAMINATION

NURİYE ESENCELİ[1]

Introduction

The scientific examination of evidence obtained during criminal investigations is essential for resolving cases and informing judicial decisions. Fiber analysis is a widely used technique for evaluating textile-based evidence collected at crime scenes. Beyond clarifying the circumstances of an incident, fiber analysis contributes significantly to the judicial evaluation process by reducing the likelihood of wrongful accusations against suspects (Alsayed et al., 2024).

Forensic fiber analysis presents unique challenges due to the specific characteristics of the investigative material. Although various methods and techniques for fiber analysis have been developed, only a limited subset are practical in application. This limitation primarily arises because the available material for analysis

[1] Dr., Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Technology Transfer Office, Orcid: 0000-0003-2925-9078

often consists of only a few individual fibers. (Wąs-Gubała et al., 2024).

With the increasing use of recycled textile fibers in recent years, these materials are anticipated to become among the types of fibers encountered more frequently in forensic examinations in the future. A fiber's status as recycled or virgin is not, in itself, considered a direct identifying factor from a forensic perspective. However, the potential changes that recycling processes may cause in the morphological, chemical, and physical properties of fibers may be a factor to consider when interpreting analytical results used for fiber comparison. Particularly considering that existing reference databases are largely established based on the properties of virgin fibers, it is becoming increasingly important to identify the characteristic properties of recycled fibers and the potential effects of these properties on current analytical approaches.

Accordingly, in the development of methods for the analysis of recycled textile fibers, a suitable approach is considered to involve a detailed examination of the structural and chemical properties of these materials, as well as consideration of real forensic scenarios and the types of fibers commonly encountered in forensic casework. Nevertheless, the relatively limited number of studies focusing on the forensic analysis of recycled textiles suggests that there is a need to expand the current body of knowledge in this field and to conduct further research evaluating analytical approaches applicable to different fiber types.

The Role and Significance of Textile Fibers as Evidence in Forensic Examinations

Fibers, the fundamental components of textile products, are fine structures composed of either natural or synthetic materials and are characterized by a length that is significantly greater than their width (Trejos et al., 2020). Textile fibers are considered one of the

most common types of trace evidence in modern forensic science and make significant contributions to both establishing their evidentiary value and reconstructing the incident. (Siegel, 1997; Mane & Devika, 2022).

The importance of trace evidence in forensic science gained a more systematic framework in the early twentieth century with Edmond Locard's approach based on material transfer. Known as Locard's exchange principle, this approach has become a fundamental principle of forensic science, stating that contact between people, places, and objects can result in the mutual transfer of materials and that "every contact leaves a trace." (Trejos et al., 2020). In accordance with Locard's exchange principle, textile fibers are among the key types of trace evidence that can be readily transferred through physical contact. Particularly in cases involving contact between the perpetrator and the victim, fibers can be transferred in both directions: the perpetrator may leave fibers at the crime scene or on the victim, while fibers from the victim may also be transferred to the perpetrator's body or clothing. Fibers transferred through contact may provide important forensic evidence of contact between individuals. (Colella et al., 2011; Hong et al., 2014).

Characterization of Textile Fibers in Forensic Examinations

Analytical methods used in forensic science play a significant role in the evaluation of fiber evidence by enabling the differentiation of fibers with similar characteristics and the comparison of fiber samples under examination with known reference fibers (Campiglia et al., 2016). The identification of fibers is considered one of the fundamental steps in forensic analysis. The majority of fibers are composed of polymers, which are macromolecules consisting of numerous repeating atomic units, and

different fiber types exhibit distinct physical and chemical properties. (Rashed et al., 2021; Alsayed et al., 2024).

In forensic fiber analysis, the combined evaluation of morphological characteristics, molecular composition, and color parameters is a fundamental approach to distinguishing between fiber samples (Suzuki et al., 2009). The microscope is the most commonly used basic examination tool in forensic fiber analysis (Schotman et al., 2017). Microscopic examination methods are among the analytical approaches used for the characterization of fibers and are expected to remain important in the future (Palenik, 1999; Goodpaster & Liszewski, 2009). Optical microscopy was among the earliest methods used for the classification of textile fibers; the relatively easy differentiation of common fiber types, such as cotton and linen, played a key role in the adoption of this approach (Santos et al., 2026).

Forensic fiber examinations typically begin with the microscopic evaluation of the morphological and physical characteristics of fibers, such as color, surface properties, cross-sectional structure, crimp, thickness, dimensions, and luster (Matsushita et al., 2022). In the initial stage of forensic fiber analysis, visual comparisons based on the morphological characteristics of fibers are conducted using an optical microscope. Cotton fibers can be readily identified by their characteristic morphology. For synthetic and regenerated fibers, the general polymer type can be determined by evaluating their optical properties using a polarized light microscope (Dockery et al., 2009). In more advanced optical analyses, polarized light microscopy and interference microscopy enable the optical characterization of fibers by utilizing the refractive index and birefringence properties of polymers. In addition, fluorescence microscopy is one of the methods used to identify fluorescent components in the fiber structure (Matsushita et al., 2022). Stereomicroscopy allows the evaluation of the basic

characteristics of fibers, such as size, crimp, color, and luster. Color, which is considered one of the most important optical characteristics in forensic fiber analysis, is one of the characteristics most readily distinguished under a stereomicroscope, together with fiber thickness and shape, and is therefore regarded as one of the key aspects in most comparative studies. Scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS) is used to analyze the elemental composition of fibers (Goodpaster & Liszewski, 2009; Groves et al., 2018).

One of the most significant advantages of microscopic techniques is that they are non-destructive methods that preserve the physical integrity of fibers, allowing samples to be properly preserved for subsequent forensic examinations (Campiglia et al., 2016). On the other hand, the increase in the number and variety of synthetic fibers has made it more difficult to distinguish them at the microscopic level (Santos et al., 2026). While microscopic examinations allow for the rapid preliminary assessment of fibers, it is not always possible to distinguish them based solely on color and other nonspecific visual characteristics. For this reason, spectroscopic techniques are also used in the evaluation process (Zapata et al., 2022).

The growing use of spectroscopic techniques in the examination of textile fibers is attributed to the various advantages offered by these methods. These techniques are particularly preferred in forensic fiber analysis because they enable analysis without damaging the sample and provide reliable results using very small sample amounts. Furthermore, the ease of sample preparation and the ability to perform analyses within a short time are expanding their range of applications (Meleiro & García-Ruiz, 2016). The principal spectroscopic methods commonly used in forensic fiber analysis include ultraviolet–visible microspectrophotometry (UV-Vis MSP), infrared (IR) spectroscopy, and Raman spectroscopy

(Goodpaster & Liszewski, 2009). In addition, X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) can also be used in fiber analysis (Alsayed et al., 2024).

Today, UV-Vis MSP is considered one of the fundamental analytical methods widely used in forensic science for the routine examination of textile fibers and provides reliable results. It occupies an important place among spectroscopic methods, particularly because it enables the objective characterization of fiber color and offers high discriminatory power in distinguishing fibers with similar appearances (Meleiro & García-Ruiz, 2016). Among spectroscopic analytical methods, IR and Raman spectroscopy also play a significant role because they provide unique information about chemical structure. These techniques utilize the vibrational properties of molecules during analysis to generate spectral profiles specific to each sample, and these "fingerprint" characteristics enable the detailed characterization of materials (Zapata et al., 2022). Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy has emerged as a more effective method for the characterization of the polymeric structures that constitute the basis of fibers rather than for the analysis of dye components. This technique is one of the analytical approaches recommended for determining the classes and subclasses of polymeric matrices. However, high-sensitivity FTIR spectroscopy also enables the detection and analysis of small amounts of dye components present within the fiber structure (Meleiro & García-Ruiz, 2016; Matsushita et al., 2022). Raman spectroscopy, on the other hand, offers advantages in the analysis of colored fibers because it requires no sample preparation, allows analysis using small sample amounts, and provides chemical characterization. However, high-quality spectral data and appropriate reference spectra are required for reliable dye identification (Goodpaster & Liszewski, 2009). On the other hand, near-infrared (NIR) spectroscopy has become one of the alternative spectroscopic

methods increasingly used for the characterization of textile fibers because of its ability to provide rapid analysis, its non-destructive nature, and its potential for high accuracy (Santos et al., 2026). However, the low signal intensities of Raman and infrared spectroscopic techniques pose a significant limitation, particularly in the analysis of fibers dyed in light shades (Campiglia et al., 2016).

In addition to spectroscopic approaches, chromatographic techniques also play an important role in the analysis of textile fiber color and dyes (Hu, Mei, et al., 2023). Chromatographic methods are among the key analytical techniques used for the chemical identification, separation, and comparison of dyes used in textile fibers. The dye profiles obtained using these methods are considered complementary to the color information provided by microscopy or MSP. Chromatographic analyses enable the separation of dye components with similar color properties but different chemical compositions. They also contribute to the identification of additional dye components present in fibers at very low concentrations that do not produce a visible color change. Furthermore, information about the possible sources of fibers and their production processes can be obtained from dye compositions (Schotman et al., 2017).

Thin-layer chromatography (TLC) and high-performance liquid chromatography (HPLC) are among the most widely used methods in chromatographic analysis (Hu, Mei, et al., 2023). These methods enable a more detailed examination of the dye components present in fibers, particularly when non-destructive analytical techniques cannot provide sufficient differentiation. Chromatographic analyses performed on extracts obtained from fibers can provide important information for comparing samples from different sources. While differences in the physical or chromatographic properties of dyes contribute to the differentiation of fibers, the selectivity of these techniques may be limited when

distinguishing fibers dyed with dyes that have similar chemical structures and similar color properties (Campiglia et al., 2016).

Capillary electrophoresis (CE) is one of the alternative separation techniques used in the analysis of textile dyes. Owing to its advantages, such as low sample consumption, short analysis time, and high separation capacity, it is among the notable methods used for the characterization of dye components. Furthermore, compared with chromatographic methods such as TLC and HPLC, its shorter analysis times and lower sample requirements are considered significant advantages (Park et al., 2016).

Another advanced characterization method used in forensic analysis for the identification of dye components in textile fibers is mass spectrometry (MS). In traditional MS approaches, the analysis of dyes present in fibers typically requires a preliminary extraction step followed by chromatographic separation. The components obtained through this process can subsequently be structurally characterized using mass spectrometry (Cochran et al., 2013). However, the low resolution of traditional mass spectrometry, together with interference arising from complex sample matrices and fiber additives, can affect analytical results and lead to false-positive results. For this reason, the HPLC-MS approach, which combines high separation capacity with sensitive detection, is considered a powerful analytical tool for the analysis of fiber dyes (Hu, Liu, et al., 2023).

The Importance of Recycled Textile Fibers for Forensic Fiber Characterization

Among the microtraces most commonly encountered in forensic laboratories are fiber particles consisting of single fibers. These traces can be examined using appropriate analytical methods and used in forensic evaluations. The primary objective of fiber analysis is to determine the characteristic physicochemical

properties of fibers, which are typically only a few millimeters in length, and to compare the findings with fibers obtained from a known source (e.g., clothing belonging to a suspect) (Janaki & Anil Kumar, 2023). Accurate identification and classification of textile fibers are of great importance in production processes, forensic science, cultural heritage preservation, and recycling practices (Santos et al., 2026). In this context, the accuracy and reliability of analytical methods used in fiber characterization can be considered as factors of importance across different application areas. In particular, technological advancements in the textile industry and the increasing diversity of materials may contribute to growing interest in new analytical approaches for more detailed examination of fibers. The diversification of fiber types and the increasing use of next-generation textile materials may necessitate the adaptation and further development of existing characterization methods for different application conditions.

Although the textile industry has relied on traditional production processes for many years, significant changes have occurred in the fiber market and fiber technologies in recent years. Some of the new fiber types currently available on the market may be redesigned or improved versions of existing fibers, while others may be previously used fibers reintroduced through different applications and new marketing approaches (Nehse et al., 2018).

In addition to the diversification of textile fibers, the increasing interest in sustainability-oriented approaches may contribute to new developments in textile materials and the emergence of diverse material properties.

In this context, the emergence of recycled textiles has contributed to increasing attention toward sustainability-oriented approaches aimed at reducing the environmental impact of the textile industry (Galais, 2023). The European Union’s 2030 Strategy for Sustainable and Circular Textiles aims to transform the textile sector

into a more sustainable and circular system. In this context, increasing the use of textile products made from durable, recyclable, and recycled fibers is among the key objectives of the strategy (Hörner Bussolo et al., 2024).

The increasing use of recycled fibers in the textile industry suggests that, in addition to their environmental and technological aspects, these materials may also become an important consideration in future forensic fiber characterization studies. However, the complex nature of recycled textile materials is considered likely to present various analytical challenges for their forensic evaluation. Indeed, according to the European Textile and Hair Group (ETHG), recycled materials are among the material groups that may be difficult to characterize in forensic science. On the other hand, the literature indicates that most forensic fiber research still focuses on traditional fiber types such as cotton, wool, and polyester, whereas recycled textiles have received relatively limited attention. This suggests that there is a need for further research on the forensic characterization of recycled textiles (Galais, 2023). Furthermore, compared with the analysis of textile materials composed of a single fiber type, the characterization of blended structures containing different fiber types and the separate identification of their fiber components may pose greater analytical challenges (Janaki & Anil Kumar, 2023). In this context, the presence of multiple fiber components in some recycled textile materials may result in additional analytical challenges during their characterization.

However, it appears that a considerable proportion of the experimental samples reported in the literature is limited to specimens prepared under controlled conditions, consisting of single fibers or fiber blends with known compositions. In contrast, real textile materials encountered in recycling processes, forensic examinations, and quality assessments may consist of multicomponent fiber blends of unknown composition while

simultaneously exhibiting structural changes resulting from different dyeing and finishing processes, use, and environmental exposure. Therefore, there appears to be a need for the development of analytical methods and model-development approaches that take into account the complex structure of real textile samples (Santos et al., 2026). Technological advancements in textile fibers and the increasing use of new fiber types may necessitate the further development of the analytical approaches used in forensic fiber examinations to encompass current textile materials. Therefore, it is important to closely monitor current developments in the textile industry from the perspective of forensic fiber analysis (Nehse et al., 2018).

Reliably verifying whether fibers are recycled or derived from virgin sources may represent a research area of increasing importance in textile recycling. Analytical studies aimed at distinguishing between recycled and virgin fibers may be considered as an emerging area of research. Although studies in this field have not been conducted specifically for forensic purposes, the information they provide regarding fiber composition, differentiation of fiber types, and chemical structure characterization may also offer potential value for forensic textile analyses. It can be considered that there are some common aspects between the analytical techniques used in recycling processes and those employed in forensic fiber analysis, particularly regarding fiber identification and the determination of characteristic properties. In this context, the knowledge gained from recycling-focused characterization studies may contribute to the development of forensic fiber analysis when supported by appropriate validation and standardization efforts. Furthermore, the development of artificial intelligence and data analytics-based approaches in this field may provide new opportunities for future research aimed at evaluating complex fiber structures.

Current Approaches to the Characterization of Recycled Textile Fibers

The examination of studies reported in the literature suggests that research on distinguishing between recycled and virgin fibers remains relatively limited. Although a large proportion of existing studies have not been conducted directly within the field of forensic science, the analytical approaches and characterization data presented in these studies may provide valuable insights for forensic studies involving recycled textile materials.

It has been reported that reliable methods for determining the recycled cotton content of textile products are still limited. With the increasing adoption of circular economy practices in the textile industry, verifying the use of recycled fibers derived from end-of-life textile products in new products has become an important area of research. In particular, the increasing use of mechanically recycled cotton fibers has increased the need for independent analytical approaches capable of evaluating the reliability of manufacturers' claims. Multi-analytical approaches developed for this purpose combine different characterization methods to determine the presence of recycled fibers, estimate their content, and assess their source history. Since the cutting, shredding, and opening processes used during mechanical recycling cause changes in fiber structure and fiber-end morphology, microscopic examination can be used to determine the presence of recycled cotton fibers. In addition, the reduction in fiber length resulting from recycling processes enables the semi-quantitative assessment of recycled fiber content through fiber length distribution analysis. The degree of polymerization (DP), which reflects the length of cellulose chains, varies depending on the usage and processing conditions to which the fibers have been subjected. Therefore, it is considered an important indicator, particularly for determining whether recycled cotton fibers originate from pre-consumer or post-consumer sources.

The combined use of these characterization methods provides an approach that may contribute to the verification of recycled fiber content (Ten Berge et al., 2026).

On the other hand, the similar chemical structures of recycled and virgin polyester fibers make the analytical differentiation of these two fiber types difficult. In this context, the combined use of FTIR spectroscopy and machine learning approaches is considered a promising approach for the classification of recycled and virgin polyester fibers, ensuring material traceability, and verifying sustainability claims (Barbosa et al., 2026). The use of Raman spectroscopy combined with artificial intelligence-based classification approaches for distinguishing between recycled and virgin polyester fibers is also being investigated. In this context, Raman spectroscopy-assisted deep learning models have been reported to achieve high accuracy in the classification of textile materials containing recycled and virgin polyester, with characteristic spectral regions identified as key factors in differentiating these two materials. Such approaches are also considered to have the potential to improve material verification, traceability, and the reliability of recycled-content claims within the textile recycling chain (Li et al., 2025).

When the physical, mechanical, and thermal properties of virgin polyester fibers and polyester fibers obtained through the mechanical recycling of waste polyethylene terephthalate (PET) bottles are evaluated, the recycled polyester fibers are reported to exhibit lower crystallinity, melting temperature, and tensile strength than virgin polyester fibers (Majumdar et al., 2020). However, a study comparing recycled and virgin PET fibers demonstrated that, although the surface morphology and chemical structures of the two fiber types are similar, they may exhibit differences in mechanical performance, crystalline structure, and molecular orientation (He et al., 2015). It has also been reported that, in fibers produced from

recycled and virgin PET blends, the blend ratio is a determining factor for thermal and mechanical properties, and that fibers containing recycled PET may exhibit performance comparable to that of virgin PET fibers when the blend ratio is appropriate (Lee et al., 2013).

Analytical techniques such as nuclear magnetic resonance (NMR), X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), and gel permeation chromatography/inductively coupled plasma (GPC/ICP) are also utilized to obtain information on the composition, purity, and molecular properties of recycled polyester-based textile materials. These methods are among the important analytical tools used for the characterization of recycled polyester-based materials (Kumar & Suganya, 2020).

As with polyester fibers, studies on the characterization and differentiation of recycled and virgin nylon fibers have also been reported in the literature. In a study comparing recycled and virgin nylon fibers, it was reported that the recycling process did not significantly affect the chemical and crystalline structures of the fibers, and that recycled fibers exhibited performance comparable to that of virgin fibers in terms of rheological and mechanical properties (Mondragon et al., 2020). Consequently, the high similarity between recycled and virgin nylon fibers in terms of their physical and chemical properties makes it challenging to reliably distinguish between these two fiber sources using conventional analytical methods. In this context, analytical approaches based on chemical differences are being developed for the verification of recycled nylon fibers. The analysis of the chemical composition of nylon fibers by HPLC and the evaluation of the obtained data using artificial intelligence-based classification methods have been proposed as an approach for distinguishing virgin and recycled nylon fibers. The study results indicate that the distribution and quantity of caprolactam peaks serve as key discriminative markers for

distinguishing between recycled and virgin nylon fibers. It has been reported that such methods may support the reliable identification of recycled nylon fibers and verification processes related to the use of recycled fibers (Wei et al., 2026).

In studies aimed at distinguishing between recycled and virgin fibers, approaches combining NIR spectroscopy with chemometric methods have also attracted attention. In a study conducted on cashmere fibers, NIR spectroscopy was used to evaluate differences in fiber properties that may arise due to the recycling process; it was demonstrated that multivariate analysis methods, such as Principal Component Analysis (PCA) and Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA), enabled the classification of recycled and virgin cashmere fibers and the estimation of the proportion of recycled fibers within blends. Microscopic examinations were reported to be used as a supportive method for validating the obtained results (Anceschi et al., 2022).

Conclusion and Recommendations

It is anticipated that the increasing use of recycled fibers associated with the growing adoption of circular economy practices may introduce new considerations for forensic fiber analysis. While fibers in traditional textile production can generally be associated with specific raw material sources, production processes, and dyeing systems, recycling processes may involve the combination of textile materials from different origins within the same production stream. The extent to which the variability in the chemical and structural properties of fibers arising from these processes can be represented by existing analytical approaches and reference databases may be among the issues requiring further investigation in the future. Furthermore, determining how the increasing prevalence of processes such as reuse, re-dyeing, and reprocessing may influence

evaluations regarding fiber origin and production history may represent an important research area in forensic fiber analysis.

In the future, the development of more comprehensive datasets including diverse fiber types and recycled textiles, along with an increase in controlled experimental studies that reflect real-world conditions, could contribute to strengthening the relationship between research and forensic applications by enabling comparisons between laboratory findings and real-life conditions (Galais, 2023). In addition, there is a need to develop generalizable machine learning models trained on broader and more diverse datasets, with more robust validation strategies, for use in textile recycling applications (Barbosa et al., 2026).

Consequently, it is considered that the transformation of the textile industry toward sustainability and a circular economy may require the reassessment of analytical approaches used in forensic fiber analysis under these evolving conditions. The primary objective of forensic fiber analysis is not only to determine the chemical or physical properties of fibers but also to appropriately interpret the obtained characterization results within the context of the incident. From this perspective, the increasing use of recycled fibers may not only highlight the need to analyze new material groups but may also bring attention to the consideration of potential variations introduced by these materials within existing evaluation approaches.

The investigation of the potential effects of recycling processes on the structural, chemical, and spectral properties of fibers may represent an important area of research with implications for the interpretation of characterization results, the evaluation of reference database coverage, and the assessment of forensic fiber evidence. In this context, future studies focusing on the characterization of next-generation fibers, the determination of the effects of recycling processes on fiber properties, and the

investigation of how such variability may be reflected in forensic evaluations are considered to have the potential to contribute to the advancement of forensic fiber science.

Statement on the Use of Artificial Intelligence

ChatGPT was utilized to support grammar and spelling correction, linguistic editing, improvement of clarity and readability, and translation of the chapter text.

References

Alsayed, R., Altahan, R., Al-Mashhadani, M., Hazim, H., Kadhom, M., Zageer, D., Al-Obaidi, O., Yusop, R., Hameed, S., & Yousif, E. (2024). Forensic analysis of textile synthetic fibers using different spectroscopy approach. *Journal of University of Anbar for Pure Science*, *18*(1), 190–196. https://doi.org/10.37652/juaps.2024.144921.1166

Anceschi, A., Zoccola, M., Mossotti, R., Bhavsar, P., Fontana, G. D., & Patrucco, A. (2022). Identification and quantitative determination of virgin and recycled cashmere: a near-infrared spectroscopy study. *ACS Sustainable Chem. Eng., 10*(2), 738–745. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c05289

Barbosa, M. I., Teixeira, A. M., Sousa, M. L., Ribeiro, P., Sousa, C., & Rodrigues, P. M. (2026). FTIR-based machine learning identification of virgin and recycled polyester for textile recycling in industry 4.0. *Processes*, *14*(6), 964. https://doi.org/10.3390/pr14060964

Campiglia, A. D., Rex, M., Muñoz De La Peña, A., & Goicoechea, H. C. (2016). Excitation–emission matrix fluorescence spectroscopy combined with MCR-ALS as a tool for the forensic analysis of similar and dissimilar sets of textile fiber extracts. *Analytical Methods*, *8*(47), 8314–8321. https://doi.org/10.1039/C6AY02757A

Cochran, K. H., Barry, J. A., Muddiman, D. C., & Hinks, D. (2013). Direct analysis of textile fabrics and dyes using infrared matrix-assisted laser desorption electrospray ionization mass spectrometry. *Analytical Chemistry*, *85*(2), 831–836. https://doi.org/10.1021/ac302519n

Colella, M., Parkinson, A., Evans, T., Robertson, J., & Roux, C. (2011). The Effect of ionizing gamma radiation on natural and synthetic fibers and its implications for the forensic examination of fiber evidence*. *Journal of Forensic Sciences*, *56*(3), 591–605. https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01654.x

Dockery, C. R., Stefan, A. R., Nieuwland, A. A., Roberson, S. N., Baguley, B. M., Hendrix, J. E., & Morgan, S. L. (2009). Automated extraction of direct, reactive, and vat dyes from cellulosic fibers for forensic analysis by capillary electrophoresis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *394*(8), 2095–2103. https://doi.org/10.1007/s00216-009-2876-8

Galais, V. (2023). *A controlled approach to investigate the transfer and persistence of fibres encountered in forensic science*. PhD Thesis, University of Dundee. https://discovery.dundee.ac.uk/en/studentTheses/a-controlled-approach-to-investigate-the-transfer-and-persistence

Goodpaster, J. V., & Liszewski, E. A. (2009). Forensic analysis of dyed textile fibers. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *394*(8), 2009–2018. https://doi.org/10.1007/s00216-009-2885-7

Groves, E., Palenik, S., & Palenik, C. S. (2018). Reproducibility of high-performance thin-layer chromatography (HPTLC) in textile dye analysis. *Forensic Chemistry*, *8*, 104–110. https://doi.org/10.1016/j.forc.2018.03.004

He, S.-S., Wei, M.-Y., Liu, M.-H., & Xue, W.-L. (2015). Characterization of virgin and recycled poly(ethylene terephthalate) (PET) fibers. *The Journal of The Textile*

Institute, *106*(8), 800–806. https://doi.org/10.1080/00405000.2014.944820

Hong, S., Han, A., Kim, S., Son, D., & Min, H. (2014). Transfer of fibres on the hands of living subjects and their persistence during hand washing. *Science & Justice*, *54*(6), 451–458. https://doi.org/10.1016/j.scijus.2014.09.002

Hörner Bussolo, G., Bressanelli, G., Visintin, F., & Saccani, N. (2024). Toward the European Union 2030 Strategy for Textiles: A Review. In M. Thürer, R. Riedel, G. Von Cieminski, & D. Romero (Eds.), *advances in production management systems. production management systems for volatile, uncertain, complex, and ambiguous environments* (Vol. 728, pp. 382–397). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71622-5_26

Hu, C., Liu, Z., Mei, H., Guo, H., Sun, Z., Li, Y., Song, G., Huang, J., & Zhu, J. (2023). Determination of disperse dyes on polyester fibers by UHPLC–Orbitrap MS. *Science & Justice*, *63*(1), 83–89. https://doi.org/10.1016/j.scijus.2022.11.008

Hu, C., Mei, H., Guo, H., Wang, P., Li, Y., Li, H., & Zhu, J. (2023). Analyzing the color of forensic textile using smartphone-based machine vision. *Forensic Chemistry*, *34*, 100500. https://doi.org/10.1016/j.forc.2023.100500

Janaki, M., & Anil Kumar, S. (2023). Forensic comparison of textile fibre for identification using X-ray diffraction technique. *Journal of Forensic Science and Research*, *7*(1), 083–088. https://doi.org/10.29328/journal.jfsr.1001055

Kumar, P. S., & Suganya, S. (2020). Test methods and identification of recycled polyester. In P. S. Kumar & G. Janet Joshiba (Eds.), *Recycled polyester* (pp. 69–88). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9559-9_4

Lee, J. H., Lim, K. S., Hahm, W. G., & Kim, S. H. (2013). Properties of recycled and virgin poly(ethylene terephthalate) blend fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, *128*(2), 1250–1256. https://doi.org/10.1002/app.38502

Li, Z., Yan, C., Min, H., Liu, F., Liu, M., Wei, M., Yu, Y., Wu, H., & Liu, S. (2025). Interpretable one-dimensional convolutional neural network assisted 1064 nm Raman spectroscopy for identification of virgin polyester fabric and recycled polyester fabric. *Microchemical Journal*, *218*, 115160. https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.115160

Majumdar, A., Shukla, S., Singh, A. A., & Arora, S. (2020). Circular fashion: properties of fabrics made from mechanically recycled poly-ethylene terephthalate (PET) bottles. *Resources, Conservation and Recycling*, *161*, 104915. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104915

Mane, M., & Devika, G. (2022). Study on transfer and persistence of fibers: a systematic review. *Journal of Forensic Science and Medicine*, *8*(2), 68–75. https://doi.org/10.4103/jfsm.jfsm_59_21

Matsushita, R., Watanabe, S., Iwai, T., Nakanishi, T., Takatsu, M., Honda, S., Funaki, K., Ishikawa, T., & Seto, Y. (2022). Forensic discrimination of polyester fibers using gel permeation chromatography. *Forensic Chemistry*, *30*, 100428. https://doi.org/10.1016/j.forc.2022.100428

Meleiro, P. P., & García-Ruiz, C. (2016). Spectroscopic techniques for the forensic analysis of textile fibers. *Applied Spectroscopy Reviews*, *51*(4), 278–301. https://doi.org/10.1080/05704928.2015.1132720

Mondragon, G., Kortaberria, G., Mendiburu, E., González, N., Arbelaiz, A., & Peña-Rodriguez, C. (2020).

Thermomechanical recycling of polyamide 6 from fishing nets waste. *Journal of Applied Polymer Science*, *137*(10), 48442. https://doi.org/10.1002/app.48442

Nehse, K., Koch, S., Grieve, M., Houck, M. M., & Robertson, J. (2018). Future Trends for Forensic Fibre Examination. In J. Robertson, C. Roux, & K. G. Wiggins (Eds.), *Forensic examination of fibers* (3rd ed., pp. 428–429). CRC Press. https://www.softouch.on.ca/kb/data/Forensic%20Examination%20of%20Fibres%203E.pdf

Palenik, S. J. (1999). Microscopical examination of fibers. In J. Robertson & M. Grieve (Eds.), *Forensic examination of fibres* (2nd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780203484517

Park, M., Bahng, S.-H., Woo, N., & Kang, S. H. (2016). Highly sensitive wavelength-dependent nonaqueous capillary electrophoresis for simultaneous screening of various synthetic organic dyes. *Talanta*, *152*, 236–243. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.02.009

Rashed, H. S., Mishra, P., Nordon, A., Palmer, D. S., & Baker, M. J. (2021). A comparative investigation of two handheld near-IR spectrometers for direct forensic examination of fibres in-situ. *Vibrational Spectroscopy*, *113*, 103205. https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2020.103205

Santos, D., Teixeira, A. M., Sousa, M. L., Marinho, A., & Sousa, C. (2026). Exploring textile fibre characterisation: a review of vibrational spectroscopy and chemometrics. *Textiles*, *6*(1), 34. https://doi.org/10.3390/textiles6010034

Schotman, T. G., Xu, X., Rodewijk, N., & Van Der Weerd, J. (2017). Application of dye analysis in forensic fibre and textile examination: case examples. *Forensic Science International*,

278, 338–350. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.07.026

Siegel, J. A. (1997). Evidence value of textile fiber-transfer and persistence of fibers. *Forensic Science Review*, *9*(2), 81–96.

Suzuki, S., Higashikawa, Y., Sugita, R., & Suzuki, Y. (2009). Guilty by his fibers: Suspect confession versus textile fibers reconstructed simulation. *Forensic Science International*, *189*(1–3), e27–e32. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.03.035

Ten Berge, A. B. G. M., Temmink, R., Kuppen, M., Van Slagmaat, M. B., Kamphuis, S., Groeneveld, R. A. J., Luiken, A., Oelerich, J., & Mahy, J. W. G. (2026). An analytical toolbox to verify the presence, quantity and origin of recycled cotton fibres in textile garments. *Scientific Reports*, *16*(1), 8999. https://doi.org/10.1038/s41598-026-39268-y

Trejos, T., Koch, S., & Mehltretter, A. (2020). Scientific foundations and current state of trace evidence-a review. *Forensic Chemistry*, *18*, 100223. https://doi.org/10.1016/j.forc.2020.100223

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

Wei, M., Liu, C., Huang, Y., & Xue, W. (2026). Identification of virgin nylon and recycled nylon based on HPLC and ResNet. *AUTEX Research Journal*, *26*(1), 20250066. https://doi.org/10.1515/aut-2025-0066

Zapata, F., Ortega-Ojeda, F. E., & García-Ruiz, C. (2022). Forensic examination of textile fibres using Raman imaging and

multivariate analysis. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *268*, 120695. https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.120695

CHAPTER 4

FROM FIBER TECHNOLOGIES TO AI-BASED PRODUCTION SYSTEMS IN THE CARPET INDUSTRY

SEVCAN ÜSTÜN [1]

Introduction

Carpet weaving one of the oldest crafts in human history is a deep-rooted art form that originated from the fundamental human need for warmth and shelter and evolved over centuries into a symbol of aesthetics, power, and status. Traditionally reliant on manual craftsmanship, patience, and a master-apprentice relationship passed down through generations, the sector transitioned to mechanical production with the Industrial Revolution, paving the way for mass manufacturing. As one of the most deeply rooted crafts possessing significant socio-cultural depth, carpet weaving is a strategic industry that reflects the evolution of societal needs, aesthetic sensibilities, and production capabilities throughout history. However, the technological changes brought

[1]Lecturer Dr., Uşak University, Technical Sciences Vocational School, Textile Technology, ORCID: 0000-0001-6102-5496

about by the 21st century, along with the concepts of Industry 4.0 and digital transformation, have transformed the carpet industry from a mere manufacturing sector into a high-tech industry where materials science, automation, data analytics, and artificial intelligence converge.

***Figure1**. Hereke Carpet Factory - Looms / 1914*



Reference:Eskitürkiye.net

To remain competitive and meet global market demands, the industry today must integrate a wide spectrum of innovationsranging from polymer chemistry to artificial intelligence systems into its manufacturing processes. The initial and most prominent phase of this transformation has occurred within fiber and material technologies. The types of fibers preferred in carpet production have undergone significant changes over time, driven by technological advancements, economic conditions, and consumer habits (Üzümcü and Sarı, 2025). Functional synthetic fibers which either replace or complement traditional natural fibers such as wool, cotton, and silk have introduced "smart textiles" to the sector, offering features such as stain resistance, ease of cleaning, flame retardancy, and antimicrobial properties. In modern manufacturing facilities, fiber technologies are being redefined not merely based on aesthetic

considerations- but also in alignment with criteria for functional performance and environmental sustainability (McCann et al., 2005). Eco-fibers derived from recycled polymers and biodegradable materials reduce the environmental footprint and create added value within the green product segment of modern carpet design. Regenerated fibers—modified at the molecular level and fully compatible with recycling loops—are replacing polymers such as nylon and polypropylene (Ignatyev et al., 2014). The integration of circular economy models into the textile sector through this process has necessitated the recovery of carpet waste as a raw material. In this context, expectations for carpets extend beyond mere visual appeal and comfort to include environmental responsibility and long-lasting performance. Therefore, the aim should be to ensure that materials used in carpet production are free from toxicity and capable of re-entering biological or technical cycles at the end of their service life.

Figure 2. *Carpet weaving machine*



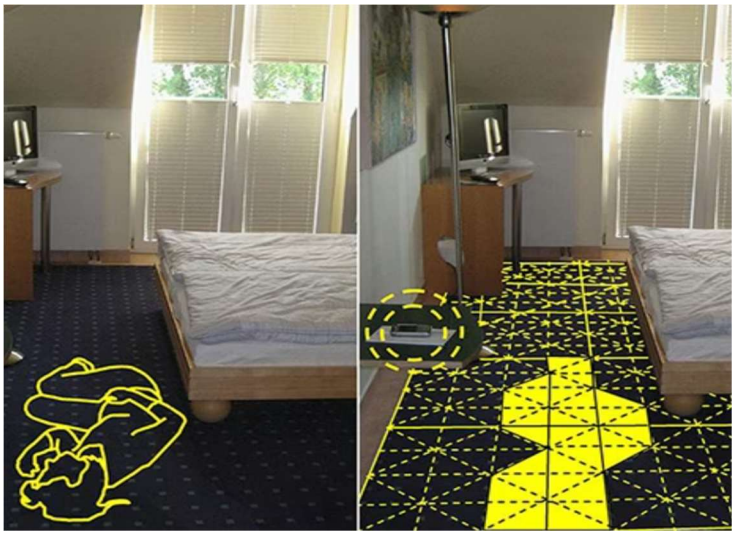
Reference: Wandewiele, 2026

On the other hand, the digitalization of production processes has ushered in a radical new era for carpet design and weaving technologies. While Computer-Aided Design (CAD) and

Manufacturing (CAM) systems have reduced design processes that once took months to mere hours, modern high-speed electronic Jacquard weaving machines and advanced tufting systems enable error-free production with infinite variations (Aykaç et al., 2017). However, the industry has now reached a new milestone with the introduction of Artificial Intelligence based production systems. Today, AI analyzes consumer trends to offer automated design alternatives that align with market demands.

Blockchain technology, utilized in logistics and supply chain management, enables the traceability of carpets from raw material to the end user. Within the framework of the "smart carpet" concept, sensors integrated into the fibers transform floors into interactive, data-generating surfaces, thereby opening up new possibilities for the health and safety sectors.

Figure 3. *Home automation with the SensFloor smart carpet system*



Reference: Digitaltrends, 2014

For instance, SensFloor can detect people walking on it by sensing changes in the electric field via specialized sensors embedded in every square meter and can transmit real-time data to designated centers using its integrated radio modules (Digitaltrends, 2014).

This study aims to analyze the innovation chain that extends from fiber Technologies to AI-driven systems from both technical and economic perspectives. The technological transformation facing the industry is not merely a process of mechanization but a vision of holistic digitalization. Ultimately, by placing innovation at its core, the carpet industry aims to maintain its position in the global market while respecting the planet's ecological limits.

Recent Developments in Fiber Technologies and Material Innovation

In carpet manufacturing, fiber selection plays a decisive role in the final product's mechanical strength, aesthetic value, and environmental sustainability. Conventionally used fibers such as Nylon (PA 6 and PA 6.6), Polypropylene (PP), and Polyester (PET) have achieved superior performance characteristics owing to chemical modification processes. In particular, regenerated nylons such as Econyl,derived from ocean waste and abandoned fishing nets via advanced recycling methods, exhibit physical properties identical to those of virgin polymers and meet industrial standards (Kim et al., 2026). Biodegradable fibers, such as PLA (derived from corn starch) and bamboo fibers, are gaining market share as sustainable alternatives that reduce reliance on fossil fuels (Çelebi and Karagöz, 2019; Koyuncu, 2024). These bio-based fibers fully decompose during industrial composting processes at the end of their service life (Henninger et al., 2020). Yarn structures developed to prevent microplastic release serve as a critical barrier in reducing environmental toxicity (Biswas et al., 2025).

Figure 4. *Nanotechnological carpet*



Reference: Özemek, 2022

Fiber dyeability is optimized during the spinning stage using solution-dyeing technologies, thereby reducing water consumption (Jahan and Islam, 2025). Advanced extrusion methods modify fiber cross-sectional geometries, enhancing their light-reflecting properties and, consequently, their soil-hiding capabilities (Liu and Wang, 2012). These technological improvements boost the stain resistance of carpet surfaces while protecting user health by minimizing the need for chemical cleaning. Plasma treatments that enhance the affinity of bio-based dyes for fibers are considered revolutionary in textile dyeing.

Modern fiber technologies enable carpets to function not merely as floor coverings but also as active filters that regulate indoor air quality. Innovations in yarn twisting technologies prevent flattening during prolonged use by maintaining the carpet's pile height and bulk (Dayiary et al., 2010). Laser processing of the fiber surface roughness strengthens the bond between the dye and the fiber, effectively eliminating color fading. The UV resistance of carpet pile yarns is maximized for outdoor and balcony carpets through the use of polymer stabilizers.

Photocatalytic coatings applied to fiber surfaces purify air by breaking down volatile organic compounds in the environment under the influence of light (Abdelkader et al., 2025). Smart fibers provide thermal comfort by regulating the ambient temperature using phase-change materials incorporated into their structure (Kuru and Aksoy, 2012). The development of conductive fibers suitable for sensor integration forms the basis of interactive flooring compatible with smart home systems (Söker and Güney Yüksel, 2024). Carbon fiber-reinforced hybrid yarns offer high conductivity and safety standards in industrial facilities (Keskin, 2020).

Fiber structures endowed with anti-allergenic properties prevent the accumulation of house dust mites, thereby creating safe environments for asthma patients (Hassan and Sunderland, 2015). Nanotechnological additives are integrated into the molecular structure of the fibers, imparting permanent antimicrobial and antistatic properties (Joshi and Bhattacharyya, 2011; Perera et al., 2022). Processing natural wool fibers with nanotechnology enables them to acquire moth-resistant and flame-retardant qualities without compromising their inherent advantages (Wang et al., 2021). The moisture absorption capacities of the fibers are balanced through specialized hydrophilic treatments, preventing the carpet from generating static electricity. Short fibers derived from recycled textile waste are used as insulation layers in carpet backings, contributing to the circular economy. Studies indicate that the use of recycled polymers reduces energy consumption during the raw material production stage (Blackburn, 2009).

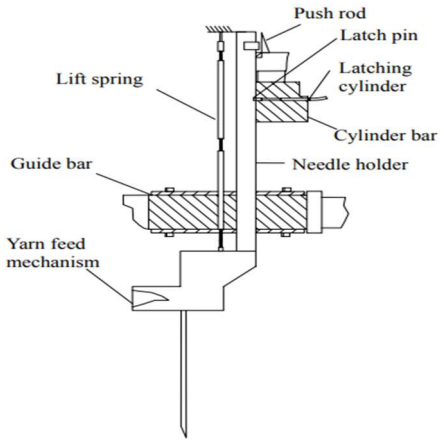
Recent developments focus on making the recycling loop for polymers used in fiber production limitless. These innovations protect the carpet industry from raw material crises while minimizing the product's total life-cycle cost. Advanced technologies such as blockchain, soft computing, and AI technologies have ushered in a new era of textile manufacturing

characterized by enhanced efficiency, optimized processes, improved product quality, and reduced resource consumption throughout the textile production life-cycle. This labor intensive industry is shifting toward a digital and automated model, presenting both significant opportunities and challenges (Amjad and Joshi, 2025).

Production Processes and Next-Generation Machine Technologies

Artificial intelligence holds the potential to drive innovation in the field of carpet design through areas such as automated collection development, creation of personalized designs based on customer preferences, and optimization of production processes (Sarıoğlu Şahin et al., 2025). Alongside material innovation, mechanical processes on production lines are giving way to digital automation systems (Cohen et al., 2019). For instance, independent needle control systems used in tufting and weaving machines offer limitless design flexibility while minimizing yarn waste (Gokerneshan, 2023).

Figure 5. *Mechanism of the individually controlled needle*



Reference: Zhao et al., 2006

On the production line, tufting and weaving machines have evolved from traditional mechanical setups to high-precision robotic and digital systems. This transformation has been driven by the replacement of cam systems and mechanical linkages with Computer Numerical Control , robotic arms, AI-linked sensors, and digital Jacquard systems integrated with CAD/CAM (Hu et al., 2026). Independent motor-driven needle control systems (INC) employed in next-generation tufting machines enable precise management of the height and density of each individual loop (Matale, 2026). This technology allows designers to render complex geometric patterns on carpet surfaces.

Tufting and digital jet printing Technologies have elevated flexible manufacturing capabilities to the highest level. The ability to produce high resolution, intricate patterns with minimal error and maximum speed exemplifies the operational dimension of this innovation. Consequently, the carpet industry is transforming into a smart factory ecosystem driven by data and optimized by artificial intelligence without losing the spirit of traditional craftsmanship

Figure 6. *Modern carpet CNC tufting machine*



.

Reference : Hu et al., 2026

When the wide variety of Jacquard designs available for tufted carpets and rugs are combined with a compact creel, a flexible system capable of rapid color changes and low-volume production runs can be created. Colortec and ICN technologies deliver higher efficiency through Individual Control Needle (ICN) capabilities. Cobble pioneered the Colortec machine, which utilizes ICN tufting needles mounted on a single sliding needle bar; it is capable of tufting full-width cut-pile carpet patterns with up to six colors (Zhao et al. 2006). Colortec technology can be integrated with an IPD system for active yarn feeding purposes. This enables superior pile control, resulting in a cleaner fabric surface and allowing a wider range of yarn types and counts to achieve distinct aesthetics, textures, and pile heights. By utilizing TexConnect software, precise individual yarn consumption can be calculated, thereby minimizing yarn waste. TexConnect is a nonprofit technology platform focused on sustainable technologies and clean practices in the textile and garment industry (Texconnect, Textilegence 2019).

Real-time defect detection and quality control are performed using cameras and deep learning algorithms integrated into production lines. Predictive maintenance scenarios allow for the early detection of machine failures, thereby minimizing downtime and waste rates.

Digital twin technology, a component of industrial automation, maximizes operational efficiency by creating virtual replicas of production lines (Angelova, 2025). Internet of Things based sensor networks enable real time monitoring and control of machine operating parameters. This technological leap has gained a new dimension through the integration of artificial intelligence into quality control processes. Deep learning algorithms and computer vision systems can detect weaving defects invisible to the human eye within milliseconds (Hariharan and Sivaraman, 2024). AI plays a critical role not only in defect detection but also in optimizing design

processes by analyzing market trends (Başar, 2025). Inkjet printing technologies—another outcome of digitalization contribute directly to sustainability by reducing water and chemical consumption in carpet dyeing (Tkalec et al., 2022). Waterless techniques, such as dyeing with supercritical CO_2, are particularly regarded as revolutionary innovations in textile finishing (Wang et al., 2025). Some studies argue that personalized production is an emerging value in the carpet industry and that digital printing is the most efficient tool for meeting this demand (George et al., 2022).

In modern weaving machines, traditional techniques such as Axminster and Wilton have been equipped with Industry 4.0 components, thereby increasing production speeds. Ultrasonic welding technologies have begun to replace traditional latex adhesives in the joining of carpet sections and backing materials (Kara, 2024). This innovation enhances recycling efficiency by enabling carpets to be easily separated into their constituent parts at the end of their service life. Digital twin technology, utilized in production processes, creates a virtual replica of the physical line to identify operational bottlenecks in advance (Kumbhar et al., 2023). Through virtual simulations, machine energy consumption and yarn waste rates are optimized before production commences (Ferro et al., 2021). The integration of robotic arms into palletizing, roll handling, and automated storage processes has eliminated heavy workloads and elevated occupational safety standards (Karaca, 2020). Internet of Things sensors monitor the operational status of individual machine components in real-time and transmit this data to a central hub. This data flow tracks wear and tear on machine parts, offering a management model that completely eliminates the risk of unplanned downtime (Ceyhan and Kasapbaşı, 2022). Advanced yarn tension control systems maximize production efficiency by minimizing breakages during the weaving process (Fyitester, 2026). Computer-aided design (CAD) and manufacturing (CAM) software

bridge the gap between design and production through digital connectivity (Gulay and Lucero, 2019). Social responsibility and environmental constraints are compelling manufacturers to adopt more transparent and accountable production models. The factories of the future are envisioned as fully autonomous, self-managing structures where human-machine interaction is optimized (İlhan, 2019).

Modern machinery enables mass customization through "flexible manufacturing" capabilities that make small-batch production economically viable. Automated pattern-changing systems prevent downtime by allowing transitions to different designs without stopping the machine. Autonomous guided vehicles used in in-plant logistics synchronize the flow of raw materials with production speeds. Machine interfaces allow operators to manage complex systems via simple touchscreens. Advanced machinery can now produce not only flat surfaces but also raised textures. Modern production lines are equipped with closed-loop control systems that minimize the margin of error. Automation in yarn distribution systems prevents color mixing, thereby maximizing pattern clarity. Sustainable thermoplastic applications used in carpet backing processes increase machine processing speeds while reducing drying times. Tension sensors in yarn winding machines ensure uniform winding of bobbins, thereby preventing tufting defects.

Autonomous color dosing systems ensure color consistency by eliminating human error in dyehouses. Digitalization fosters transparency in supply chain management, enabling the tracking of raw materials from the field or recycling center to the end user. Digitalization efforts have completely eliminated the costs associated with screen and template preparation required by traditional printing methods. Digital printing systems ensure that the dye penetrates deep into the fiber structure. Studies have demonstrated that considering fiber morphology in digital printing

applications is critical for enhancing print quality and final product performance. Furthermore, detailed analysis of the textile product's structure proves to be a decisive factor in optimizing printing parameters (Kara et al., 2026). Centralized dust extraction systems protect worker health by continuously monitoring air quality on the production floor. These technological advancements have reduced the reliance on labor-intensive systems in carpet factories. Factory managers can monitor the real-time status of production lines from anywhere in the world via mobile applications.

Quality Control and Artificial Intelligence Applications

Quality control mechanisms in carpet manufacturing have evolved from traditional, labor-intensive methods to AI-based automated inspection systems. Owing to AI integration, the margin of error stemming from human factors such as fatigue and lapses in concentration inherent in the classical approach is being minimized. Today, high-resolution line-scan camera systems analyze carpets on the production line by scanning thousands of frames per second (Kalkan, 2026). These systems can detect even the slightest loop defect, yarn breakage, or foreign matter contamination on the carpet surface within milliseconds. AI not only identifies the defect but also classifies its type and source, sending real-time alerts to machine operators. Analyzing fiber structural irregularities via digital microscopes enables quality control at the microscopic level. Sensor-based yarn tension monitoring prevents potential surface undulations during weaving before they even occur.

Systems used for color management analyze spectrophotometer data to measure color deviations with a precision beyond the capability of the human eye. This technology ensures product standardization by minimizing shade variations between dye batches. AI-driven systems implemented in smart factories automatically mark defective areas, thereby reducing waste during

the cutting and packaging stages. Production data is continuously recorded in cloud systems, facilitating long-term efficiency analyses. Owing to learning algorithms, defect detection systems improve their accuracy rates over time as they encounter new patterns and textures. Virtual reality (VR) and Augmented reality (AR) are among the technologies that enable customers to virtually experience carpets within their own spaces. This development minimizes physical sample production processes, thereby saving time and preventing raw material waste. Blockchain technology ensures the reliability and verifiability of carpet recycling certificates. Digital libraries can store thousands of antique patterns in high resolution, allowing them to be brought back to life using modern digital printing machines.

The quality control process is no longer merely a final stage of production but an inspection network active at every step, from raw materials to packaging. Modern quality control systems streamline certification processes by automatically reporting compliance with ISO and other international standards. Customer complaints and return data are integrated into AI systems to ensure that future production is improved based on this feedback. Quality control data is relayed directly to suppliers as feedback, ensuring the consistency of raw material quality.

Conclusion

This study presents a holistic view of the carpet industry's comprehensive transformation from traditional weaving to a digital and technological production ecosystem. The sector's trajectory has evolved from advanced fiber Technologies shaped by innovations in polymer chemistry toward AI-driven smart manufacturing systems that optimize production processes and enable full automation. Alongside micro-level advancements such as antibacterial, stain-resistant, and recycled hybrid fibers, the integration of machine-

assisted quality control and deep learning-based AI applications has accelerated progress in product quality, operational efficiency, and sustainability.

In the final stage of this technological evolution, the direct integration of generative AI models into weaving looms will facilitate the transition from mass production to personalized and autonomous manufacturing. Simultaneously, AI algorithms will automatically sort fiber types from end-of-life products, thereby securing a circular economy and sustainability.

Ultimately, the carpet industry will transcend its identity as a mechanical weaving trade to become a high-tech industrial sector shaped by the convergence of materials science, artificial intelligence, and green transition. Stakeholders who embrace this transformation and combine R&D investments with digitalization will secure a global competitive advantage in the smart textile ecosystem.

Artificial Intelligence Usage Statement: AI-based tools (Paperpal by Editage and Gemini by Google) were utilized to a limited extent during the preparation of this book chapter to review the text for language and expression. The scientific content, evaluations, and final responsibility for the chapter rest with the author.

References

Abdelkader, M., Assadi, A. A., Guiza, M., Elfalleh, W., Khezami, L., Tahraoui, H., & Amrane, A. (2025). Photocatalytic degradation of pollutants in air streams using luminous textiles under ultraviolet light illumination: a pilot-scale remediation study. Catalysts, 15(3),262. https://doi.org/10.3390/catal15030262

Amjad, A. I., Joshi, S. (2025). Technological advancements and the role of artificial intelligence–a review of textile material, machine manufacturing, and stakeholder experiences. International Journal of Clothing Science and Technology, 37(5), 903-932. https://doi.org/10.1108/IJCST-03-2024-0070

Angelova, R. A. (2025). Digital twins for a sustainable textile industry: a critical analysis of unexplored applications and future directions. Textiles, 5(4), 49. https://doi.org/10.3390/textiles5040049

Aykac, M., Yildiz, E., Oğuz, A. (2017). A computer-based modification solution for old type of electro-controlled mechanical Jacquard looms. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 25(1), 552-562. https://doi.org/10.3906/elk-1410-45

Başar, R. (2025) ,Yapay Zekâ Destekli Çözümler: Türkiye ve Dünya Örnekleri. Dijital Dünyanın Yeni Paradigması, 101. ISBN 978-625-8700-30-5

Biswas, M. K., Zhou, H., Peng, L., Li, W. (2025). Modelling microplastic fibre emissions from synthetic textiles: An Australian case. Journal of Hazardous Materials, 140713. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.140713

Blackburn, R. (Ed.). (2009). Sustainable textiles: life cycle and environmental impact. Elsevier. ISBN 978-1-84569-694-8

Ceyhan, H., & Kasapbaşı, M. C. (2022). Üretim Sistemlerinde Makine Öğrenmesi ile Kestirimci Bakım Uygulaması ve Modellemesi. Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 33, 167-175. https://doi.org/10.31590/ejosat.1019210

Cohen, Y., Faccio, M., Pilati, F., & Yao, X. (2019). Design and management of digital manufacturing and assembly systems in the Industry 4.0 era. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 105(9), 3565-3577. https://doi.org/10.1007/s00170-019-04595-0

Çelebi, M., & Karagöz, İ. (2019). Biyobozunur Polimerler Ve Özellikleri; Nişasta, Poli (Glikolik Asit), Poli (Laktik Asit) Ve Poli (Ɛ Kaprolakton). Gece Akademi Yayıncılık, Mühendislik Alanında Yeni Ufuklar, 249-266. ISBN • 978-605-80229-1-1

Dayiary, M., Najar, S. S., & Shamsi, M. (2010). An experimental verification of cut-pile carpet compression behavior. The Journal of The Textile Institute, 101(6), 488-494. https://doi.org/10.1080/00405000802542242

Digitaltrends, (2014), SensFloor is a smart rug that can tell when (and where) you're standing on it, https://www.digitaltrends.com/home/sensfloor-can-tell-youre-standing/#!Aw6L4?utm_campaign=DonanimHaber&utm_medium=referral&utm_source=DonanimHaber Access date : 10.07.2026

Ferro, R., Cordeiro, G. A., Ordóñez, R. E., Beydoun, G., & Shukla, N. (2021). An optimization tool for production planning: A case study in a textile industry. Applied Sciences, 11(18), 8312. https://doi.org/10.3390/app11188312

Fyitester, (2026), Controlling Yarn Tension Mechanics and Machinery, https://fyitester.com/tr/controlling-yarn-tension/) Access date : 22.08.2026

George, M., Nhi, L.K.Y., Ngoc, N.M., Tung, V.N.D., Truc, L.P.T., Nayak, R. (2022). Digital Technologies for Lean Manufacturing. In: Nayak, R. (eds) Lean Supply Chain Management in Fashion and Textile Industry. Textile Science and Clothing Technology(pp. 219-267), Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2108-7_10

Gokerneshan, N. (2023). Weaving preparation technology. Abhishek Publications. IISBN: 978-81-8247-247-1

Gulay, E., & Lucero, A. (2019). Integrated Workflow https://doi.org/10.1145/3290605.3300290

Hariharan, V., & Sivaraman, K. (2024). Machine learning techniques for quality control in textile fabric manufacturing. In 2024 2nd International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS) (pp. 902-907). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICSCSS60660.2024.10625436

Hassan, M. M., & Sunderland, M. (2015). Antimicrobial and insect-resist wool fabrics by coating with microencapsulated antimicrobial and insect-resist agents. Progress in Organic Coatings, 85,221-229. http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.04.016

Henninger, C. E., Blazquez, M., Boardman, R., Jones, C., McCormick, H., & Sahab, S. (2020). Cradle-to-cradle versus consumer preferences in the fashion industry. Encyclopedia of renewable and sustainable materials, 5, 353-357. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10893-8

Hereke Halı Fabrikası - Dokuma Tezgahları / 1914, https://www.eskiturkiye.net/3950/hereke-hali-fabrikasi_dokuma-_tezgahlari-1914 Access date : 28.06.2026

https://doi.org/10.5505/pajes.2018.69851

Hu, J., Shen, H., Legrand, X., & Wang, P. (2026). A review on tufting technology for 3D preforms: Manufacturing, process parameters and performance implications. Journal of Manufacturing Processes, 159,377-395. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2026.01.022

Ignatyev, I. A., Thielemans, W., & Vander Beke, B. (2014). Recycling of polymers: a review. ChemSusChem, 7(6), 1579-1593. https://doi.org/10.1002/cssc.201300898

İlhan, İ.(2019) ,Tekstil üretim süreçleri açısından endüstri 4.0 kavramı Concept of industry 4.0 in textile manufacturing processes. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 25(7), 810-823,

Jahan, R., & Islam, M. R. (2025). An Overview of Waterless Dyeing in Textile Industry: Advancements, Challenges, and Environmental Impact Analysis. Advancements in Textile Coloration: Techniques, Technologies, and Trends, 75-101. https://doi.org/10.1007/978-981-96-5091-0_3

Joshi, M., & Bhattacharyya, A. (2011). Nanotechnology–a new route to high-performance functional textiles. Textile progress, 43(3),155-233. https://doi.org/10.1080/00405167.2011.570027

Kalkan N., (2026), Halı sektöründe yapay zekâ kullanımı, https://nilgunkalkan.com/2026/05/31/hali-sektorunde-yapay-zeka-kullanimi/ Access date : 18.09.2026

Kara, A., Kayahan, E., & Yılmaz, D. (2026). Dijital baskı sürecinin pamuk ve viskoz kumaşların renk ve yapısal özelliklerine etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 32(5), 1104-1113. https://doi.org/10.65206/pajes.99045

Kara, S. (2024). Ultrasonic weldability of thick and heavier nonwoven fabrics. Journal of Applied Polymer Science, 141(33), e55840. https://doi.org/10.1002/app.55840

Karaca, M. M. (2020). Endüstriyel amaçlı küresel robot kolu ve tutucunun tasarımı ve kontrolü (Master's thesis, Necmettin Erbakan University (Turkey)).

Keskin, H. İ. (2020). Karbon fiber kompozit kumaşların 30 Mhz-1500 Mhz frekans aralığında elektromanyetik ekranlama etkinliğinin incelenmesi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye

Kim, Y., Kim, H. S., Choi, S., & Hwang, S. Y. (2026). Comparative Stability of Virgin and Recycled Polyamide 6 Fibers in Seawater: Roles of Amorphous Phase Hydrolysis and Crystalline Phase Transformation. Polymer Degradation and Stability, 112271. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2026.112271

Koyuncu, M. (2024). Sürdürülebilir üretim ve yaşamda "yapağı". Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik, 25(1), 23-36. https://izlik.org/JA39TP64AW

Kumbhar, M., Ng, A. H., & Bandaru, S. (2023). A digital twin based framework for detection, diagnosis, and improvement of throughput bottlenecks. Journal of manufacturing systems, 66, 92-106. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.11.016

Kuru, A., & Aksoy, S. A. (2012). Faz Değiştiren Maddeler Ve Tekstil UygulamalarI. Tekstil Ve Mühendis, 19(86), 40-48. https://doi.org/10.7216/130075992012198606

Liu, X., & Wang, F. (2012). Visible light shielding performance of fabrics with non-circular cross section fiber. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 7(3), https://doi.org/10.1177/155892501200700308

Matale, (2026), Independent Control Needle Tufting Machine, https://matale.com.cn/products/1102.html Access date : 15.08.2026

McCann, J., Hurford, R., & Martin, A. (2005,). A design process for the development of innovative smart clothing that addresses end-user needs from technical, functional, aesthetic and cultural view points. In Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'05) (pp. 70-77). IEEE. https://doi.org/10.1109/ISWC.2005.3

Özemek, (2022), Nano teknoloji, https://ozemekhalimobilya.com.tr/nano-teknoloji/ Access date : 17.09.2026

Perera, S., Wijesekara, D., Thiripuranathar, G., & Menaa, F. (2022). The use of nanoparticles to enhance performance in the textile industry-a concise review. Current Nanoscience, 18(3), 319-335, https://doi.org/10.2174/1573413717666210715121307

Sarıoğlu Şahin Z., Üzümcü M.B,Çelik H. İ., Halı Tasarımda Yapay Zeka Kullanımı, Yayın Yeri:Serüven Yayınevi, Editör:Kaynak Hatice Kübra, Basım sayısı:1, Sayfa sayısı:101, ISBN:978-625-8682-72-4, Bölüm Sayfaları:65 -84

Söker, Y., & Güney Yüksel, F. C. (2024). İnteraktif Mekân Kurgulu Akıllı Evlerin Hasta Bakımındaki Rolü. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 7(2), 114-130. https://doi.org/10.51764/smutgd.1523487

TEXconnect, Product Brochure, https://bmsvision.com/public/bmsvision/Brochures/TEXconnect_BRCH_TR_A01208.pdf Access date : 10.07.2026

Textilegence ,(2019), Halı Dokumada Entegre Dijital Üretim Sistemi Kazandırıyor, https://www.textilegence.com/vandewiele-hali-dokuma-dijital-uretimi Access date : 03.09.2026

Tkalec, M., Glogar, M. I., & Sutlovic, A. (2022). Ecological sustainability of digital textile printing. In Economic and Social Development, International Scientific Conference on Economic and

Social Development (Vol. 81, p. 105). This Version is available at: https://hdl.handle.net/11159/8727

Üzümcü M. B. & Sarı B., (2025) , Halı Üretimi ve Malzemeleri, Yayın Yeri:Serüven Yayınevi, Editör:Kaynak Hatice Kübra, Basım Sayısı:1, Sayfa Sayısı:101, Isbn:978-625-8682-72-4, Bölüm Sayfaları:1 -24

Vandewiele, (2026), Carpet weaving machine, https://vandewiele.com/textile-solutions/weaving/carpet-weaving-machines Access date : 23.09.2026

Wang, H., Guo, S., Zhang, C., Qi, Z., Li, L., & Zhu, P. (2021). Flame retardancy and thermal behavior of wool fabric treated with a phosphorus-containing polycarboxylic acid. Polymers, 13(23), 4111. https://doi.org/10.3390/polym13234111

Wang, S., Feng, T., Wang, R., Li, L., Yu, K., Sun, H., & Yin, J. (2025). Comprehensive Analysis and Modeling of Dye Diffusion within Fibers in Supercritical CO2 for Sustainable Textile Dyeing. The Journal of Supercritical Fluids, 106786. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2025.106786

Zhao, Y., Dai, Hl. Advanced tufted carpet patterning technology. J. Zhejiang Univ. - Sci. A **7**, 374–377 (2006). https://doi.org/10.1631/jzus.2006.A0374

CHAPTER 5

ISIRGAN LİFİNDEN TEKSTİL VE KOMPOZİT MALZEMELERE: TEKNOLOJİK GELİŞİM VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFİ

ELİF SULTAN AKPINAR[1]

Giriş

Tekstil endüstrisi, yüksek su ve enerji tüketimi, sera gazı emisyonları, kimyasal kullanımı ve artan atık miktarı nedeniyle sürdürülebilir üretim yaklaşımlarının en yoğun şekilde tartışıldığı sektörlerden biridir. Küresel ölçekte uygulanan politikalar, fosil kaynaklı hammaddelerden yenilenebilir ve biyoesaslı malzemelere geçişi teşvik etmektedir. Avrupa Yeşil Mutabakatı, Döngüsel Ekonomi Eylem Planı ve AB Sürdürülebilir ve Döngüsel Tekstiller Stratejisi, tekstil sektörünün iklim nötr ve kaynak verimli bir yapıya dönüştürülmesini hedeflemektedir. 2030 yılına kadar Avrupa pazarına sunulan tekstil ürünlerinin daha dayanıklı, geri dönüştürülebilir, ağırlıklı olarak geri dönüştürülmüş veya sürdürülebilir kaynaklı liflerden üretilmiş ve yaşam döngüsü boyunca çevresel etkileri önemli ölçüde azaltılmış olması beklenmektedir (European Commission., 2019; European

[1] Öğr. Gör. Dr., Giresun Üniversitesi, Bulancak MYO, Tekstil, Giyim Ayakkabı ve Deri Bölümü, Orcid: 0000-0003-1602-4923

Commission, 2020, 2022; United Nations Environment Programme (UNEP), 2023). Bu çerçevede hem akademik hem de endüstriyel çalışmalar, mevcut tekstil üretim sistemlerine kolayca entegre edilebilecek yenilenebilir lignoselülozik liflerin belirlenmesine yoğunlaşmıştır.

Bu bağlamda, günümüzde yeniden önem kazanan gövde lifleri, elverişli mekanik performansları, düşük tarımsal girdi gereksinimleri ve yüksek çevresel uyumlulukları nedeniyle özel ilgi görmektedir. Isırgan (*Urtica dioica* L.), yüksek selüloz içeriği, elverişli özgül mekanik özellikleri, hızlı biyokütle üretimi, doğal bolluğu ve minimum sulama, gübre ile pestisit ihtiyacıyla düşük girdili tarım koşullarında yetişebilme yeteneği sayesinde en umut verici alternatif gövde liflerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Di Virgilio et al., 2015; Vogl & Hartl, 2003). "Isırgan, geleneksel lif bitkilerinden farklı olarak doğal olarak yetişebilir ve tarıma elverişsiz alanlardan da hasat edilebilir. Bu özellikler, bitkiyi döngüsel biyoekonomi ve sürdürülebilir kaynak yönetimi ilkeleriyle uyumlu kılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, *Urtica dioica* L. ve diğer ısırgan türlerinin yalnızca giyim ve teknik tekstiller için değil; polimer kompozitler, otomotiv bileşenleri, inşaat malzemeleri, ev tekstilleri ve diğer biyoesaslı uygulamalar için de sürdürülebilir lif kaynağı potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (Bobade et al., 2026; Deepa ve Kumaresan, 2022; Hindi et al., 2025; Viotti et al., 2022).

Isırgan otu yüzyıllardır bitkisel ilaç ve yiyecek olarak tüketilmekte; bitkinin bilinirliği daha yaygın olarak medikal alandaki kullanımlarından kaynaklanmaktadır. Bütün olarak ısırgan otu bitkisi, içeriğindeki çok çeşitli biyoaktif bileşenlere bağlı olarak, antioksidan ve anti-inflamatuvar etki, antihiperglisemik etki, antimikrobiyal etki ve kardiyovasküler destek olarak kullanılan bir tıbbi bitki olup ilaç sanayiinde kullanılmaktadır (Öztürk & Özdemir, 2024). Isırgan (*Urtica dioica* L.), geleneksel tıpta bitki fitoterapi

uygulamaları için uzun yıllardır ishal, diyabet, böbrek ve idrar yolu hastalıkları, romatizmal rahatsızlıklar, gut, siyatik, egzama, ülser ve çeşitli inflamatuvar hastalıkların tedavisinde kullanılan önemli bir tıbbi bitki olarak bilinmektedir (Chrubasik et al., 2007; Taheri et al., 2022)

Bu özelliklerine paralel olarak ısırgan bitkisi gibi bitkisel lif kaynakları; tekstil, kompozit malzemeler, el sanatları, ambalajlama ve benzeri birçok alandaki kullanım potansiyellerinin yanı sıra, tüketicilerin çevresel açıdan sürdürülebilir ve izlenebilir üretim zincirlerine yönelik artan talepleri nedeniyle son yıllarda yeniden ilgi görmeye başlamıştır (Bacci et al., 2009; Vogl & Hartl, 2003) Isırgan (*Urtica dioica* L.) bitkisi, tarih boyunca önemli bir doğal tekstil lifi kaynağı olarak kullanılmış; özellikle İskandinav ülkeleri, Almanya, Fransa, Polonya, Rusya ve İngiltere'de tekstil üretiminde değerlendirilmiştir. Pamuk lifinin yaygınlaşmasından önce Avrupa'da keten ve kenevir ile birlikte en önemli bitkisel lif kaynaklarından biri olarak kabul edilen ısırgan, özellikle savaş dönemlerinde tekstil hammaddesi olarak stratejik önem kazanmıştır (Harwood & Edom, 2012; Viotti et al., 2022; Vogl & Hartl, 2003). Isırgan ipliği Polonya'da 12.y.y.'dan 17.y.y.'a kadar kullanılmıştır. Avrupa'da kumaş üretimi için ısırgan bitkisinin üretimine 19.y.y.'da başlanmıştır (Vogl & Hartl, 2003). Özellikle 1. Dünya Savaşı ve 2. Dünya Savaşı dönemlerinde özel savaş amaçlı tekstil elyafı olarak kullanılmıştır. Alman askerlerinin üniformalarında, kamuflaj giysilerinde, gemicilerin yelken bezlerinde, balıkçı ağlarında ısırgan elyafı kullanmıştır. Isırgan lifi keten ve kenevire çok benzediği için tekstil sektöründe sürdürülebilir doğal bir lif olarak kullanılabilecek potansiyele sahiptir (Ayan et al., 2006; Harwood & Edom, 2012; Viotti et al., 2022; Vogl & Hartl, 2003).

Isırgan liflerinin tekstil endüstrisinde başarılı şekilde kullanılabilmesi, lif eldesinden eğirme, kumaş oluşumu, boyama ve son kullanım performansına kadar uzanan tüm değer zincirinde

verimli işlenebilmesine bağlıdır. Gövde liflerinde endüstriyel kullanımın ilk ve en kritik aşaması çürütme (retting) işlemidir. Çürütme, pektin ve diğer selülozik olmayan bağlayıcı maddeleri seçici olarak uzaklaştırarak lif ayrılmasını kolaylaştırırken; lif temizliği, inceliği, esnekliği ve eğrilebilirliğini doğrudan belirler. Bu nedenle çürütme, yalnızca lif özelliklerini değil, sonraki eğirme, örme, boyama ve nihai tekstil ürününün performansını da etkiler. Kimyasal, enzimatik, mikrobiyolojik, çiy ve su ile çürütme gibi çeşitli yöntemler araştırılmış olsa da su ile çürütme, agresif kimyasallar yerine doğal mikroorganizmalara dayandığı için yeşil işleme ve döngüsel biyoekonomi ilkeleriyle en uyumlu pratik biyolojik ekstraksiyon yöntemlerinden biri olmaya devam etmektedir (Angulu & Gusovius, 2024; Bacci et al., 2010; Lee et al., 2020).

Optimize edilmiş çürütme lif kalitesini ve işlenebilirliğini önemli ölçüde iyileştirse de ısırgan liflerinin doğrudan iplik üretiminde kullanımı; nispeten yüksek rijitlik, düzensiz morfoloji, boyut değişkenliği ve çekim sırasındaki sınırlı kohezyon nedeniyle hâlâ zorludur. Bu özellikler, kararsız eğirme davranışı, artan iplik düzgünsüzlüğü ve düşük mekanik performansa yol açabilmektedir. Bu nedenle ısırgan liflerinin doğal, rejenere veya sentetik liflerle harmanlanması, eğrilebilirliği artırmak ve gövde liflerinin çevresel avantajlarını korumak için en yaygın kabul gören strateji haline gelmiştir (Hindi et al., 2025; Pandey & Pant, 2025; Samanta et al., 2023). Literatürde ısırgan/viskoz, ısırgan/akrilik, ısırgan/poliamid ve pamuk/ısırgan gibi çeşitli harman sistemleri başarıyla incelenmiş; işleme performansı, iplik kalitesi ve son kullanım işlevselliğinde iyileşmeler sağlandığı gösterilmiştir (Baite et al., 2025; Bekiroğlu, 2020; Bhardwaj & Pant, 2014; Preeti & Radhakrishnan, 2015).

Gövde (Sak/Bast) Lifleri

Bast lifleri, dikotil bitkilerin gövde kabuğunda bulunan floem dokusundan elde edilen doğal liflerdir. Bu lifler yüksek selüloz içerikleri, düşük yoğunlukları, yüksek özgül mukavemetleri ve biyobozunur özellikleri nedeniyle tekstil ve kompozit endüstrisinde önemli bir yere sahiptir (Faruk et al., 2012; Summerscales et al., 2010).

Gövde lifleri içerisinde keten, kenevir, jüt, rami, kenaf ve ısırgan tekstil endüstrisinde en yaygın araştırılan ve kullanılan lifler arasında yer almaktadır. Bu liflerin bilimsel adları ve elde edildikleri bitkiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Tekstil endüstrisinde kullanılan gövde lifleri ve bilimsel adları

Gövde lifi	*Bilimsel adı*	*Başlıca kullanım alanı*
Keten	*Linum usitatissimum L.*	*Tekstil*
Kenevir	*Cannabis sativa L.*	*Tekstil, kompozit*
Jüt	*Corchorus spp.*	*Ambalaj*
Rami	*Boehmeria nivea*	*Tekstil*
Kenaf	*Hibiscus cannabinus L.*	*Kompozit*
Isırgan	*Urtica spp / Urtica dioica L.*	*Tekstil, kompozit*

Isırgan Bitkisinin Kullanım Alanları

Isırgan otu (*Urtica dioica* L.), yüzyıllardır farklı uygarlıklar tarafından gıda, tıp, tekstil, kozmetik ve tarım gibi birçok alanda değerlendirilen çok amaçlı bir bitki olarak bilinmektedir. Bitkinin hemen hemen tüm kısımları (yaprak, gövde, kök ve tohum) içerdiği zengin biyolojik aktif bileşenler sayesinde çeşitli amaçlarla kullanılabilmekte olup, günümüzde sürdürülebilir biyoekonomi kapsamında yeniden önem kazanmaktadır (Grauso et al., 2020; Viotti et al., 2022).

Isırgan otunun tıbbi amaçlarla kullanımı antik dönemlere kadar uzanmaktadır. Tarihsel kayıtlar, Antik Yunan hekimleri Dioskorides ve Galen'in 1. yüzyılda ısırgan otunu özellikle solunum yolu hastalıkları, akciğer rahatsızlıkları ve çeşitli iltihabi hastalıkların tedavisinde kullandıklarını göstermektedir. Geleneksel halk hekimliğinde ise bitkinin yaprak, kök ve tohumları yüzyıllardır farklı şekillerde değerlendirilmiştir (Grauso et al., 2020).

Türkiye genelinde gerçekleştirilen bir araştırmada, ısırgan otunun halk arasında çok çeşitli sağlık sorunlarının tedavisinde kullanıldığı belirlenmiştir. Buna göre bitki; kanser, böbrek hastalıkları, solunum yolu rahatsızlıkları, öksürük, nefes darlığı, felç, hipertansiyon, mide ağrısı, romatizma, mantar enfeksiyonları, kemik erimesi, egzama ve egzamaya bağlı ağrıların yanı sıra kadın hastalıklarının tedavisinde, böbrek taşı düşürülmesinde, sindirimin kolaylaştırılmasında ve saç dökülmesinin önlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şimşek et al., 2004) Ayrıca, ısırgan otunun hemoroid tedavisinde de geleneksel olarak değerlendirildiği bildirilmektedir (Gürhan & Ezer, 2004). Isırgan otu bazı çeşitli ağrı kesici ilaçların üretiminde de kullanılabilmektedir (Huang, 2005). Isırgan otunun antifungal, antiviral ve antioksidan özelliklere sahip olduğu çeşitli çalışmalarla bildirilmiştir. Potasyum tuzları, histamin, asetilkolin, C vitamini ve formik asit gibi biyoaktif bileşenler içermesi nedeniyle, özellikle kanser tedavisinde tamamlayıcı ve

alternatif bitkisel ürünler arasında yaygın olarak tercih edildiği belirtilmektedir. Bazı deneysel çalışmalar, ısırgan ekstraktlarının tümör hücrelerinin proliferasyonunu baskılayıcı etki gösterebildiğini bildirmiştir (Gülçin et al., 2004; Yavuz et al., 2007)

Isırgan otu (*Urtica dioica* L.), yüksek besin değeri ve zengin biyoaktif bileşen içeriği nedeniyle tarih boyunca birçok kültürde gıda olarak tüketilmiş önemli bir bitkidir. Bitkinin özellikle 2–4 yapraklı gelişme döneminden çiçeklenmenin başlangıcına kadar olan süreçte hasat edilen genç sürgünleri, ilkbahar aylarında farklı kültürlerde sebze, çorba, salata ve çeşitli geleneksel yemeklerin hazırlanmasında kullanılmaktadır (Di Virgilio et al., 2015; Grauso et al., 2020) .Kolay sindirilebilmesi ve yüksek besin değerine sahip olması nedeniyle fonksiyonel gıda olarak da değerlendirilen ısırgan otu, özellikle yaprak ve toprak üstü kısımlarında bulunan zengin besin öğeleri sayesinde insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir.

Isırgan otunun yaprakları; demir, kalsiyum, magnezyum ve potasyum gibi minerallerin yanı sıra A, C ve K vitaminleri, esansiyel amino asitler, askorbik asit, esansiyel yağ asitleri ve çeşitli fenolik bileşikler bakımından oldukça zengindir (Aytaç et al., 2020; Guil-Guerrero et al., 2003). Ayrıca flavonoidler, klorofiller, karotenoidler, organik asitler, proteinler ve diğer fitokimyasal bileşenler bakımından zengin olması, bitkinin besleyici değerinin yüksek olmasını sağlamaktadır (Grauso et al., 2020) Özellikle yüksek demir, klorofil ve vitamin içeriği nedeniyle kansızlığın önlenmesine yönelik beslenme programlarında destekleyici bir bitki olarak önerilmektedir (Grauso et al., 2020; Guil-Guerrero et al., 2003).

Isırgan otu yalnızca taze sebze olarak değil, kurutulmuş yapraklarından hazırlanan bitki çayları, gıda takviyeleri ve fonksiyonel gıda ürünleri şeklinde de yaygın olarak tüketilmektedir. Özellikle bitki çayı olarak kullanımı birçok ülkede geleneksel bir uygulama olup, sağlık üzerine olumlu etkileri nedeniyle tüketimi teşvik edilmektedir (Aytaç et al., 2020). Günümüzde ise fonksiyonel

gıdalara olan ilginin artmasıyla birlikte, ısırgan otunun insan beslenmesinde kullanımının artırılması ve katma değerli gıda ürünlerinin geliştirilmesi çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmektedir (Di Virgilio et al., 2015; Grauso et al., 2020; Rafajlovska et al., 2002; Viotti et al., 2022).

Isırgan otu (*Urtica dioica* L.), içerdiği fenolik bileşikler, flavonoidler, vitaminler, mineraller ve antioksidan özellik gösteren fitokimyasallar sayesinde kozmetik endüstrisinde yaygın olarak değerlendirilen doğal bitkilerden biridir. Özellikle saç bakım ürünlerinde kullanılan ısırgan ekstraktı; saç derisinin temizlenmesine katkı sağlaması, sebum dengesinin korunmasına yardımcı olması, kepek oluşumunun azaltılmasını desteklemesi ve saçın daha sağlıklı görünmesine katkı sağlaması amacıyla şampuan, saç toniği, serum ve saç bakım losyonlarının formülasyonlarında yer almaktadır (Bone & Mills, 2013; Chevallier, 1996). Son yıllarda geliştirilen bitkisel kozmetik ürünlerde de ısırgan ekstraktı, biberiye, sarımsak ve çeşitli bitki ekstraktlarıyla birlikte doğal şampuan formülasyonlarının temel bileşenlerinden biri olarak kullanılmakta olup, bu tür ürünlerin fizikokimyasal ve mikrobiyolojik açıdan güvenli olduğu gösterilmiştir (Ibrahim & Kurt, 2024).

Saç bakım ürünlerinin yanı sıra, ısırgan otu ekstraktı antioksidan ve antiinflamatuvar özellikleri nedeniyle cilt bakım ürünlerinde de doğal aktif bileşen olarak kullanılmaktadır. Günümüzde krem, losyon, maske, tonik ve temizleyici ürünlerin formülasyonlarına eklenen ısırgan ekstraktının cilt bariyerinin korunmasına katkı sağladığı, oksidatif strese karşı koruyucu etki gösterdiği ve hassas ciltlerin bakımında potansiyel bir doğal içerik olarak değerlendirildiği bildirilmektedir (Alimoddin et al., 2024). Bununla birlikte, saç dökülmesine karşı geliştirilen kozmetik ürünlerde *U. dioica* yaygın olarak kullanılan bitkisel bileşenlerden biri olmasına rağmen, tek başına etkinliğini kesin olarak ortaya koyan klinik çalışmaların sınırlı olduğu, mevcut çalışmaların

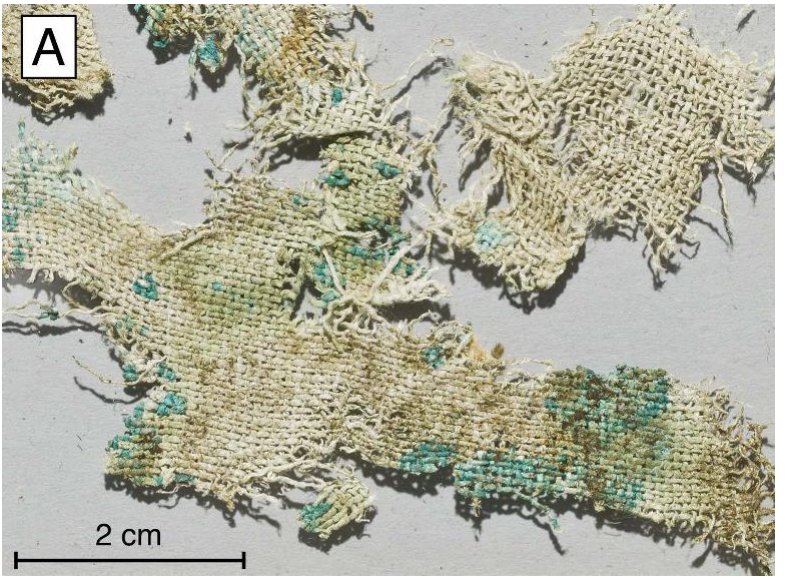
çoğunda farklı bitki ekstraktlarıyla kombine preparatlar kullanıldığı belirtilmektedir. Bu nedenle ısırgan ekstraktının kozmetik ürünlerdeki etkinliğinin daha kapsamlı klinik çalışmalarla desteklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Spiewak & Szendzielorz, 2025).

Isırgan bitkisinin kullanımı çok farklı alanlarda olup enerji bitkisi, hayvan yiyeceği, polen kaynağı, tarım alanında zararlı böceklere karşı ve gübre olarak kullanımları da mevcuttur (Aytaç et al., 2020).

Isırgan Lifinin Tekstil Alanında Tarihsel Gelişimi

Isırgan otu (*Urtica dioica* L.), tekstil tarihinde önemli bir yere sahip olan ve gövde lifi elde edilen en eski doğal lif bitkilerinden biridir. Arkeolojik ve tarihsel bulgular, ısırgan liflerinin binlerce yıldır tekstil üretiminde kullanıldığını göstermektedir (Windler et al., 1995). Eski Yunan ve Roma uygarlıklarında ısırgan liflerinden yararlanıldığı bilinmekte olup, Eski Mısır'a ait arkeolojik bulgularda da ısırgan lifinden üretilmiş tekstil örneklerine rastlanmıştır (Kurban et al., 2011). Bununla birlikte, günümüzde yapılan arkeometrik çalışmalar, Danimarka'daki Bronz Çağı'na ait Lusehøj mezar höyüğünde bulunan yaklaşık 2800 yıllık bir tekstilin tamamen ısırgan liflerinden üretildiğini ortaya koymuş ve yabani ısırganın tarih öncesi Avrupa'da önemli bir tekstil hammaddesi olarak kullanıldığını göstermiştir (Şekil 1) (Bergfjord et al., 2012).

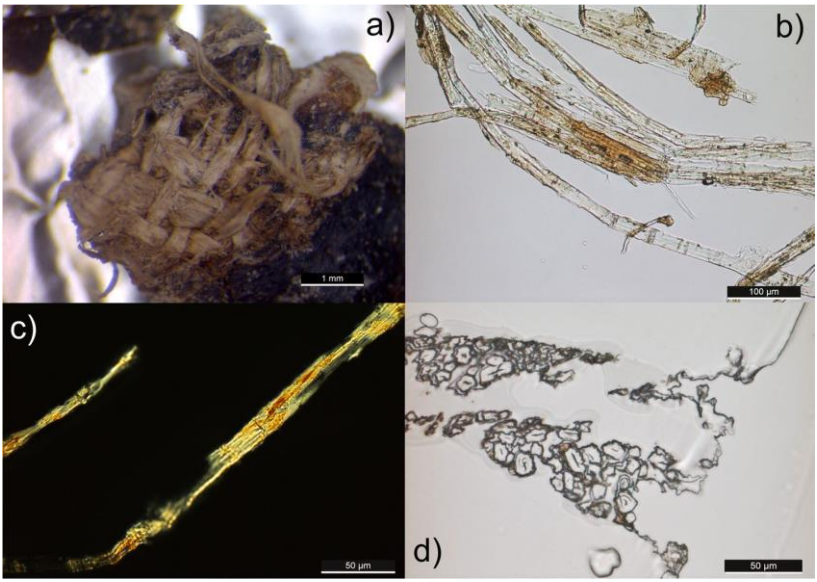
Şekil 1: Bronz Çağı Lusehøjmezar höyüğü ısırgan tekstili



Kaynak: Bergfjord et al., 2012

Benzer şekilde, Suomela vd. (2022), Geç Demir Çağı'na ait tekstiller üzerinde gerçekleştirdikleri stereomikroskopi, polarize ışık mikroskobu ve enine kesit analizleri sonucunda, oval kesit geometrisi ve yassılaşmış lümen yapısının ısırgan lifleri için ayırt edici morfolojik özellikler olduğunu belirlemişlerdir (Şekil 2). Bu bulgular, arkeolojik tekstillerde ısırgan liflerinin güvenilir biçimde tanımlanmasına olanak sağlamaktadır (Suomela et al., 2022).

Şekil 2:Geç Demir Çağı'na ait ısırgan lifi kesit görüntüleri



Kaynak: Suomela et al., 2022

Büyük Britanya'da 1391 yılına ait yazılı belgelerde "nettlecloth" (ısırgan kumaşı) ifadesinin yer alması, ısırgan lifinin Orta Çağ Avrupa'sında da tekstil üretiminde kullanılmaya devam ettiğini göstermektedir (Edom, 2025). Pamuk lifinin Avrupa'da yaygınlaşmasından önce ısırgan otu, keten (*Linum usitatissimum* L.) ve kenevir (*Cannabis sativa* L.) ile birlikte özellikle Orta ve Kuzey Avrupa'nın temel sak lifi kaynaklarından biri olarak kullanılmıştır. Dayanıklı lif yapısı sayesinde iplik, kumaş, yelken bezi, balık ağı ve çeşitli ev tekstili ürünlerinin üretiminde yaygın olarak değerlendirilmiştir. İskandinav ülkelerinde 12. yüzyılda yelken bezi ve balık ağlarının üretiminde, Polonya'da ise 12. ve 17. yüzyıllar arasında iplik üretiminde önemli bir lif kaynağı olarak kullanıldığı bildirilmektedir (Harwood & Edom, 2012). Isırgan liflerinin ticarileştirilmesine yönelik ilk girişimlerin 18. yüzyılın başlarında Almanya'da yapıldığı, 19. yüzyılda ise tarımsal üretime yönelik

daha kapsamlı araştırmalar yürütülmesine rağmen beklenen ticari başarının sağlanamadığı bildirilmektedir (Baltina et al., 2012).

I. Dünya Savaşı sırasında Almanya'da pamuk kıtlığı nedeniyle ısırgan lifi stratejik bir tekstil hammaddesi olarak önem kazanmıştır. Bu dönemde Berlin'de kurulan *Nesselanbau Gesellschaft* (Isırgan Yetiştirme Şirketi) koordinasyonunda yabani ısırganların toplanması ve lif üretimi organize edilmiş; yaklaşık 10.000 ton yabani bitkiden 1.500 ton civarında lif elde edilmiştir. Elde edilen liflerden "Nesselgarn" adı verilen iplik üretilmiş ve bununla dokunan "Nesseltuch" kumaşının ağartma işleminden sonra ketene benzer özellikler gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca ısırgan bitkisi yalnızca tekstilde değil, gıda, kâğıt ve kimya sanayilerinde de değerlendirilmiştir. Ancak yabani popülasyonlarda lif veriminin düşük olması nedeniyle, savaş sonrasında yüksek lif verimine sahip çeşitlerin geliştirilmesi ve mekanik lif ayırma teknolojilerinin iyileştirilmesine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır. Özellikle Almanya ve Avusturya'da yürütülen çalışmalar sonucunda etkin kabuk soyma (dekortikasyon) makineleri geliştirilmiş, lif veriminin yalnızca işleme yöntemine değil, aynı zamanda yetiştirme ve hasat koşullarına da bağlı olduğu ortaya konulmuştur (Harwood & Edom, 2012).

19. yüzyıldan İkinci dünya savaşına kadar Avrupa’da çok yıllık ısırgan otunun (*Urtica dioica* L.) yetiştiriciliği yapılmış ve bir lif bitkisi olarak kullanılmıştır. 1. ve 2. Dünya Savaşı arasındaki dönemde ısırgan otu lifi pamuğun yedeği olarak teşvik edilmiştir (Hartl & Vogl, 2002). Sanayileşmenin hız kazandığı 19. yüzyılda ısırgan lifi yeniden ilgi görmeye başlamış ve özellikle Almanya ile Avusturya'da endüstriyel ölçekte lif üretimine yönelik ilk sistematik çalışmalar başlatılmıştır (Viotti et al., 2022). İki dünya savaşı arasındaki dönemde pamuğun temininde yaşanan güçlükler nedeniyle ısırgan, stratejik bir tekstil hammaddesi olarak yeniden önem kazanmış; Almanya'da askerî üniforma, çadır, sırt çantası ve

çeşitli teknik tekstil ürünlerinin üretiminde kullanılmıştır. Aynı dönemde Avusturya'da ticari yetiştiriciliği desteklenmiş, Danimarka'da ise yün lifleriyle harmanlanarak tekstil üretiminde değerlendirilmiştir (Hartl & Vogl, 2002).

Modern anlamda ısırgan lifi ıslahına yönelik çalışmalar ise 1920'li yıllarda Alman botanikçi Gustav Bredemann tarafından başlatılmıştır. Bredemann, doğal popülasyonlardan topladığı çok sayıdaki genotip üzerinde yürüttüğü seleksiyon çalışmaları sonucunda yüksek biyokütle oluşturan ve lif oranı bakımından üstün özellikler gösteren klonlar geliştirmiştir. Bu klonlarda lif içeriğinin kimyasal ayırma sonrasında %17,6'ya kadar ulaşabildiği ve doğal popülasyonlara göre yaklaşık üç kat daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Dreyer, 1999). İkinci Dünya Savaşı sonrasında çalışmalar yavaşlamış olsa da geliştirilen yaklaşık 30 klon Hamburg Üniversitesi Uygulamalı Botanik Enstitüsü'nde korunmuş ve günümüzde yürütülen birçok ıslah programının temel genetik materyalini oluşturmuştur (Dreyling, 2002).

1990'lı yıllardan itibaren sürdürülebilir üretim anlayışının gelişmesi ve çevre dostu tekstil hammaddelerine olan talebin artmasıyla birlikte, ısırgan lifi yeniden araştırma konusu haline gelmiştir. Hamburg Üniversitesi'nde Dreyer ve çalışma arkadaşları tarafından yürütülen araştırmalarda Bredemann koleksiyonundaki 27 farklı klon tarla koşullarında değerlendirilmiş; kuru sap verimi, lif oranı ve morfolojik özellikler bakımından üstün performans gösteren dört klon ileri ıslah çalışmaları için seçilmiştir. Bu klonlar arasında yer alan B13 genotipi, yüksek kuru sap verimi ve lif içeriği nedeniyle sonraki araştırmalarda en yaygın kullanılan lif tipi klonlardan biri olmuştur (Harwood & Edom, 2012).

Bununla birlikte, yabani ısırgan popülasyonlarının lif veriminin düşük olması, bitkinin ticari ölçekte değerlendirilmesinin önündeki en önemli engellerden biri olmuştur. STING (Sustainable Technology in Nettle Growing) Projesi kapsamında 2004–2008

yılları arasında yürütülen çalışmalarda, Birleşik Krallık'taki yabani ısırganların lif veriminin yalnızca %4–7 arasında değiştiği, buna karşın ketende bu oranın %20–30'a ulaştığı bildirilmiştir. Bu bulgular, yüksek lif verimine sahip ısırgan klonlarının geliştirilmesine yönelik ıslah ve seleksiyon çalışmalarının gerekliliğini açıkça ortaya koymuştur (Department for Environment, 2004; Harwood & Edom, 2012). Tarla denemelerinin ilk iki yılında laboratuvar analizleri sonucunda seçilen yeni genotiplerden birinde lif oranının %16,7'ye ulaştığı belirlenmiş ve bu sonuç, seleksiyon çalışmalarının lif verimini önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir. Daha sonraki dönemde ise 2015–2018 yılları arasında yürütülen araştırma projelerinde yalnızca yeni klonların geliştirilmesine değil, aynı zamanda yetiştirme teknikleri, hasat, lif çıkarma süreçleri ve tüm değer zincirinin iyileştirilmesine yönelik kapsamlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Böylece ısırgan lifi üzerine yürütülen araştırmalar, yalnızca bitki ıslahı odaklı olmaktan çıkarak tekstil endüstrisine yönelik sürdürülebilir bir üretim sistemi geliştirme yaklaşımına dönüşmüştür (Di Virgilio et al., 2015; Viotti et al., 2022).

Hartl ve Vogl (2002), Avusturya'da organik tarım koşullarında yetiştirilen beş farklı *Urtica dioica* klonu üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, üçüncü yetiştirme yılında elde edilen kuru madde ve lif verimlerinin önceki araştırmalarda bildirilen değerlerden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılar, bu sonuçların Avusturya'da organik koşullarda lif amaçlı ısırgan yetiştiriciliğinin önemli bir potansiyele sahip olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, bu potansiyelin ekonomik olarak değerlendirilebilmesi için uygun lif işleme teknolojilerinin geliştirilmesi ve tekstil sektöründe yeterli tüketici talebinin oluşmasının gerekli olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, ısırgan liflerinin tekstil uygulamaları için uygun özelliklere sahip olduğu, ancak yüksek verimli, ekonomik ve fonksiyonel lif

ekstraksiyon yöntemlerinin geliştirilmesinin büyük önem taşıdığı ifade edilmiş; bu nedenle lif işleme süreçlerinin, ısırgan lifinin kullanım amacı dikkate alınarak optimize edilmesi gerektiği belirtilmiştir (Hartl & Vogl, 2002).

Vogl ve Hartl (2003), 1990'lı yılların ortalarından itibaren Almanya, Avusturya ve Finlandiya'da ısırgan lifi yetiştiriciliği ve işlenmesine yönelik araştırmaların hız kazandığını, özel sektör ile araştırma kuruluşlarının iş birliği içerisinde ısırgan lifini tekstil endüstrisine kazandırmaya yönelik çalışmalar yürüttüğünü bildirmişlerdir. Araştırmacılar, ısırgan lifinin doğal tekstil sektöründe önemli bir potansiyele sahip olduğunu, ancak bu potansiyelin endüstriyel ölçekte değerlendirilebilmesi için bazı teknik ve ekonomik engellerin aşılması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu kapsamda, hasat teknolojilerindeki yetersizlikler ile büyük ölçekli lif işleme ve tekstil üretim altyapısının eksikliğinin başlıca sınırlayıcı faktörler olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, mevcut keten ve kenevir işleme tesislerinin ısırgan lifinin işlenmesine uygunluğunun değerlendirilmesi ve lif işleme süreçlerinin ekonomik açıdan ayrıntılı olarak analiz edilmesinin, ısırgan lifinin ticari ölçekte yaygınlaştırılması açısından büyük önem taşıdığı ifade edilmiştir (Vogl & Hartl, 2003).

Huang (2005), Çin'de yetişen *Urtica cannabina* liflerinin tekstil ipliği üretimindeki potansiyelini değerlendiren öncü çalışmalardan birini gerçekleştirmiştir. Araştırmada öncelikle liflerin fiziksel ve eğirme özellikleri incelenmiş, ardından farklı liflerle harmanlanarak iplik üretim denemeleri yapılmıştır. Polyester ile gerçekleştirilen harmanlama çalışmalarında, 39 mm uzunluğa ve 1,1 denye inceliğe sahip polyester lifleri %50/%50 oranında *Urtica cannabina* lifi ile karıştırılmış ve 22 tex inceliğinde, metre başına 550 büküm içeren iplikler üretilmiştir. Ancak eğirme sırasında zaman zaman iplik kopuşları meydana gelmiş ve elde edilen iplik kalitesinin orta seviyenin altında kaldığı bildirilmiştir. Bu durumun,

her iki lifin de düşük lifler arası sürtünmeye sahip olması nedeniyle lif kohezyonunun yetersiz olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Pamuk ile gerçekleştirilen harmanlama çalışmalarında ise, zamkı giderilmiş *Urtica cannabina* lifleri ve pamuk lifleri ayrı ayrı taranarak şerit hâline getirilmiş, daha sonra %85 *Urtica cannabina* ve %15 pamuk oranında harmanlanarak çekim, fitil ve ring eğirme işlemlerinden geçirilmiştir. Araştırmacılar, saf (%100) *Urtica cannabina* lifinden iplik üretiminin liflerin düzgün yüzeyli, sert ve kıvrımsız yapısı nedeniyle oldukça güç olduğunu, buna karşılık kıvrımlı ve yüzey sürtünmesi yüksek liflerle harmanlandığında başarılı şekilde eğrilebildiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, lif kalitesinin hasat zamanından önemli ölçüde etkilendiği; erken hasatta liflerin tam gelişmediği ve zayıf yapıda olduğu, geç hasatta ise lignin içeriğinin artmasına bağlı olarak liflerin sertleştiği ve esnekliğini kaybettiği belirtilmiştir. Bu nedenle uygun hasat zamanının belirlenmesinin, eğrilebilirliği yüksek kaliteli ısırgan liflerinin elde edilmesi açısından kritik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır (Huang, 2005).

Bodros ve Baley (2008), *Urtica dioica* liflerinin mekanik özelliklerini ayrıntılı olarak karakterize etmiş ve doğal lif kompozitlerinde kullanılabilecek yeterli çekme dayanımına sahip olduğunu göstermiştir. Çalışma, ısırgan liflerinin yalnızca tekstil alanında değil, kompozit malzeme teknolojilerinde de değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur (Bodros & Baley, 2008).

Bacci vd. (2010), *Urtica dioica* liflerinde farklı elde etme yöntemlerinin lif kalitesi üzerindeki etkilerini karşılaştırmıştır. Çalışmada kimyasal ekstraksiyon, su ile çürütme, kontrollü mikrobiyal çürütme ve enzimatik ekstraksiyon yöntemleri değerlendirilmiş; elde edilen liflerin morfolojik, mekanik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, kontrollü mikrobiyal çürütme ile enzimatik ekstraksiyonun geleneksel su ile çürütmeye kıyasla daha ince, temiz yüzeyli ve yüksek kaliteli lifler elde

edilmesini sağladığını göstermiştir. Özellikle EDTA (etilendiamintetraasetik asit) ilaveli enzimatik işlemlerin lif kalitesini artırdığı, mekanik dekortikasyonun ise çürütme öncesinde uygulanmasıyla su ve enerji tüketiminin azaltılabileceği belirtilmiştir. Araştırmacılar, uygun ekstraksiyon yönteminin liflerin tekstil performansını belirleyen temel faktörlerden biri olduğunu vurgulamışlardır (Bacci et al., 2010).

Kurban vd. (2011), ısırgan liflerinin doğal, biyobozunabilir ve yenilenebilir bir hammadde olması, üretiminde düşük enerji gereksinimi bulunması ve çevre dostu özellikleri sayesinde sürdürülebilir tekstil üretimi açısından önemli bir alternatif oluşturduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, ısırgan lifinin pamuğa kıyasla daha düşük su tüketimiyle üretilebilmesi nedeniyle çevresel açıdan önemli avantajlar sunduğunu vurgulamışlardır. Chapagain vd. (2006), pamuk ürünlerinin üretim ve tüketiminin önemli miktarda tatlı su kullanımına neden olduğunu ve su ayak izinin yağmur kaynaklı yeşil suyu, sulama ve tekstil proseslerinde kullanılan yüzey veya yer altı kaynaklı mavi suyu ve üretim sırasında oluşan kirliliğin seyreltilmesi için gereken gri suyu kapsadığını bildirmiştir. Araştırmacılar, 1997–2001 döneminde dünya genelindeki pamuk ürünleri tüketiminin yıllık su ayak izini yaklaşık 256 milyar m^3 olarak hesaplamış; bunun %42'sinin mavi su, %39'unun yeşil su ve %19'unun gri su olduğunu belirlemiştir. Küresel ortalamada 1 kg nihai pamuklu tekstil ürünü için yaklaşık 9.359 L toplam su kullanıldığı; 250 g ağırlığındaki bir pamuklu tişörtün su ayak izinin ise yaklaşık 2.720 L olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte bu değerlerin yalnızca doğrudan sulama suyunu değil, üretimin tüm aşamalarındaki yeşil, mavi ve gri su bileşenlerini kapsadığı göz önünde bulundurulmalıdır (Chapagain et al., 2006)

Fischer vd. (2012), Avrupa'da yetiştirilen *Urtica dioica* L. liflerini kullanarak PLA (polilaktik asit) matrisli biyokompozitler üretmiş ve ısırgan lifinin biyobozunur polimerlerde takviye

malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada %20, %30 ve %40 lif içeriğine sahip kompozitler hazırlanmış ve mekanik özellikleri %30 lif takviyeli PP kompozitleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, özellikle %30 lif içeriğinde elastisite ve eğilme modülünde belirgin artış sağlandığını, ancak çekme dayanımının lif-matris ara yüzeyindeki zayıf bağlanma nedeniyle sınırlı düzeyde iyileştiğini göstermiştir. Araştırmacılar, *Urtica dioica* liflerinin PLA biyokompozitleri için önemli bir potansiyele sahip olduğunu, ancak daha yüksek mekanik performans elde edebilmek için lif-matris ara yüzey etkileşiminin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır (Fischer et al., 2012).

Paukszta vd. (2013), polipropilen (PP) esaslı kompozitlerde kısa *Urtica dioica* liflerini kullanmıştır. Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemleriyle üretilen kompozitlerin mekanik performansı incelenmiş ve ısırgan liflerinin polimer matrisini etkili şekilde güçlendirdiği belirlenmiştir (Paukszta et al., 2013).

Bajpai vd. (2013), *Urtica dioica* L. lifi ile takviye edilmiş polipropilen (PP) kompozitlerin farklı çevresel koşullar altındaki çekme davranışını incelemiştir. Geliştirilen kompozitler nehir suyu, dizel yakıt, donma koşulları, ultraviyole (UV) ışınları ve toprak ortamına 64–512 saat süreyle maruz bırakılmıştır. Sonuçlar, çevresel koşulların kompozitlerin çekme dayanımını farklı düzeylerde etkilediğini göstermiştir. Özellikle su, UV ışınları ve toprak ortamı doğal liflerin nem alma eğilimi nedeniyle mekanik özelliklerde azalmaya neden olurken, ısırgan lifi takviyeli kompozitlerin genel olarak çevresel etkilere karşı kabul edilebilir performans sergilediği belirlenmiştir. Araştırmacılar, ısırgan lifinin hafif ve çevre dostu kompozit malzemelerin geliştirilmesinde kullanılabilecek uygun bir doğal takviye malzemesi olduğunu vurgulamışlardır (Bajpai et al., 2013).

Di Virgilio vd. (2015), *Urtica dioica* L.'yi çok amaçlı endüstriyel bir bitki olarak ele alan kapsamlı bir derleme

yayımlamıştır. Çalışmada ısırganın yetiştiriciliği, lif üretimi, hasat sonrası işlemleri ve farklı endüstriyel kullanım alanları bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Lif üretiminin yanı sıra biyokompozit, kâğıt, biyokütle ve biyoenerji üretimi ile gıda, yem, kozmetik ve farmasötik sektörlerindeki potansiyel kullanım alanları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Araştırmacılar, düşük tarımsal girdi gereksinimi, çok yıllık yapısı ve çevresel sürdürülebilirliğe katkısı sayesinde ısırganın geleceğin biyobazlı ekonomisinde önemli bir endüstriyel hammadde olabileceğini vurgulamışlardır. Bununla birlikte, Avrupa'da ısırganın ticari ölçekte yaygınlaşmasının önündeki en önemli engellerin standart yetiştirme teknikleri ile hasat sonrası işleme teknolojilerinin yetersizliği olduğu belirtilmiş ve bitkinin tüm biyokütlesini değerlendirebilecek entegre üretim zincirlerinin geliştirilmesi gerektiği ifade edilmiştir (Di Virgilio et al., 2015).

Radhakrishnan ve Preeti (2015), Himalaya ısırganı (*Girardinia diversifolia*) liflerinden tekstil kumaşı geliştirilmesini amaçlamışlardır. Çalışmada Uttarakhand bölgesinden temin edilen ısırgan lifleri, enzimatik yöntemle ekstrakte ederek biyokasar ve biyoyumuşatma işlemleri uygulamış, enzimatik ön işlemler sonucunda liflerin eğilme rijitliğinde yaklaşık %11 azalma sağlanmış ve liflerin eğirme performansı iyileştirilmiştir. Ön denemeler sonucunda en uygun karışım oranı %50 ısırgan/%50 organik pamuk ve %50 ısırgan/%50 bambu olarak belirlenmiş, bu karışımlardan open-end (rotor) eğirme sistemi ile yaklaşık Ne 10 (10s) iplikler üretilmiştir. Geliştirilen karışım ipliklerden dokuma kumaşlar üretilmiş ve yapılan testler sonucunda ısırgan katkısının iplik mukavemetini artırdığı, kumaşların ise çekme ve aşınma direnci açısından kontrol numunelerine göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Araştırmacılar, enzimatik ön işlemlerin ısırgan liflerinin eğrilebilirliğini iyileştirdiğini ve bu liflerin doğal,

sürdürülebilir tekstil ürünlerinde kullanılabilecek önemli bir alternatif olduğunu belirtmişlerdir (Preeti & Radhakrishnan, 2015).

Kumar ve Das (2017), Himalaya ısırganı (*Girardinia diversifolia*) liflerini kullanarak polilaktik asit (PLA) esaslı biyokompozit paneller geliştirmiştir. Çalışmada lifler alkali işlem ile yüzey modifikasyonuna tabi tutulmuş, ardından kartlama ve sıcak presleme yöntemleri kullanılarak farklı lif oranlarına sahip kompozit paneller üretilmiştir. Elde edilen kompozitlerin mekanik, fiziksel ve morfolojik özellikleri değerlendirilmiş; alkali işlemin lif yüzeyindeki selüloz dışı bileşenleri uzaklaştırarak lif-matris ara yüzey bağlanmasını iyileştirdiği belirlenmiştir. Bu sayede çekme ve eğilme özelliklerinde artış sağlanırken, kompozitlerin yapısal bütünlüğünün de geliştiği bildirilmiştir. Araştırmacılar, *Girardinia diversifolia* liflerinin biyobozunur PLA matrisi ile uyumlu olduğunu ve otomotiv, ambalaj ile çevre dostu mühendislik uygulamalarında kullanılabilecek sürdürülebilir biyokompozitler için önemli bir takviye malzemesi potansiyeli taşıdığını vurgulamışlardır (Kumar & Das, 2017).

Şansal (2017), çalışmasında Nepal'den temin edilen ısırgan ipliklerine NaOH ile geleneksel, ultrasonik ve mikrodalga destekli alkali yüzey işlemleri uygulanmış; işlem sonrası çekme dayanımı, kopma uzaması, sürtünme dayanımı ve yüzey morfolojisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, tüm yüzey işlemlerinin ipliklerin mekanik özelliklerini iyileştirdiğini, en yüksek çekme dayanımı, uzama ve sürtünme dayanımı değerlerinin ise mikrodalga destekli işlem sonrasında elde edildiğini göstermiştir. SEM analizleri, yüzey işlemleriyle lif yüzeyinin temizlenerek pürüzlendirildiğini ve böylece kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmaya daha uygun hale geldiğini ortaya koymuştur (Şansal, 2017).

Agus Suryawan vd. (2017), doğal lif takviyeli yeşil kompozitler üzerine yaptıkları derlemede ısırgan liflerini önemli

takviye malzemeleri arasında değerlendirmiştir. Çalışmada farklı üretim yöntemleri ve kompozit uygulamaları karşılaştırılarak ısırgan liflerinin çevre dostu mühendislik malzemeleri için uygun olduğu belirtilmiştir (Agus Suryawan et al., 2017).

Sabır ve Zervent Ünal (2017), çalışmalarında doğal ve sürdürülebilir bir lif kaynağı olan ısırgan lifinin (*nettle fiber*) havlu kumaş üretiminde kullanım olanağını ve kumaşın temel performans parametrelerine etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmada, zemin çözgüsü pamuk sabit tutularak; atkı yönünde %70 Pamuk / %30 Isırgan karışımlı ipliklerin yanı sıra pamuk ve pamuk/polyester karışımları, hav çözgüsünde ise %100 pamuk ile %50 Modal / %50 Pamuk karışımları kullanılarak altı farklı havlu numunesi üretilmiştir. Numunelerin ev tipi yıkama öncesi ve sonrasındaki su emicilik, yumuşaklık, hızlı kuruma ve antibakteriyel performans değerleri analiz edilmiştir. Araştırma sonuçları; atkı ipliğinde ısırgan lifi barındıran havlu kumaşların özellikle hızlı kuruma, su emicilik ve antibakteriyel etkinlik parametrelerinde belirgin bir performans üstünlüğü sergilediğini göstermiştir. Çalışma, ısırgan lifinin havlu ve bukleli (*terry*) kumaş imalatında geleneksel liflere yenilikçi, ekolojik ve fonksiyonel bir alternatif olarak başarıyla entegre edilebileceğini ortaya koymaktadır (Sabır & Zervent Ünal, 2017).

Sood vd. (2020), Himalaya ısırgan liflerinin morfolojik ve mekanik özelliklerini ayrıntılı olarak incelemiştir. Liflerin yüksek çekme dayanımı, uzun lif yapısı ve düşük yoğunluğu sayesinde tekstil ve kompozit sektörleri için önemli bir doğal kaynak olduğu gösterilmiştir (Sood et al., 2020).

Bekiroğlu (2020), Giresun bölgesinden toplanan yabani ısırgan bitkilerinden (*Urtica dioica L.*) geleneksel (çiğde çürütme, kırma, tarama) ve endüstriyel (kaynatma, asit/baz ve enzim banyoları) yöntemlerle lif ekstraksiyonu gerçekleştirmiştir. Zamk çıkarma işlemlerinde lif kaybının fazla olduğunu bildirmiştir. Isırgan lifinin içi oyuk morfolojisinin yüksek nem emme yeteneği sağladığı,

ancak lif yüzey pürüzsüzlüğü nedeniyle tek başına iplik eğrilmesinin zor olduğu saptanmıştır. Bu kısıtı aşmak için üretilen pamuk-ısırgan karışımlı Ne 16/1 ipliklerle (%55 Isırgan/%45 Pamuk Ring ve %30 Isırgan/%70 Pamuk OE) yapılan deneysel çalışmalarda; pamuk karışımlı Ring ipliklerden elde edilen örme tekstil yüzeylerinin, dokuma yüzeylere göre daha yumuşak ve esnek bir yapı sunduğu görülmüştür. Araştırma sonucunda ısırgan lifinin medikal tekstiller, spor giyim ve ev tekstili için potansiyel bir alternatif hammadde olduğu belirtilmiştir.

Suarsana vd. (2021), silan ile yüzey modifikasyonu uygulanmış ısırgan liflerini epoksi esaslı kompozitlerin takviye elemanı olarak kullanmış ve yüzey işleminin kompozit performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada silan işleminin lif yüzeyindeki hidroksil grupları ile reaksiyona girerek lif-matris ara yüzey bağlanmasını güçlendirdiği belirlenmiştir. Bunun sonucunda kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerinde belirgin iyileşmeler elde edilirken, su alma eğiliminin de azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca SEM analizleri, silan modifikasyonu sayesinde lif ile epoksi matrisi arasında daha homojen ve güçlü bir ara yüzey oluştuğunu göstermiştir. Araştırmacılar, kimyasal yüzey modifikasyonunun ısırgan liflerinin yüksek performanslı ve çevre dostu kompozit malzemelerde kullanım potansiyelini önemli ölçüde artırdığını vurgulamışlardır (Suarsana et al., 2021).

Deepa ve Kumaresan (2022), Himalaya ısırgan liflerine NaOH ve $NaClO_2$ işlemleri uygulayarak lif ekstraksiyonunu geliştirmiştir. Kimyasal işlemler sonucunda selüloz oranının arttığı, lignin ve hemiselüloz miktarının azaldığı ve liflerin kompozit uygulamalarına daha uygun hale geldiği gösterilmiştir (Deepa & Kumaresan, 2022).

Samanta vd. (2023), çalışmalarında Himalayalar bölgesinde doğal olarak yetişen ısırgan (*Girardinia diversifolia*) liflerinin

ekstraksiyon süreçlerini, yapısal/fiziksel özelliklerini ve viskon lifleri ile karıştırılarak giyimlik tekstil ürünlerine dönüştürülme potansiyelini incelemişlerdir. Mikrobiyal çürütme (*retting*) yöntemiyle lif eldesi gerçekleştirilmiş; ardından farklı oranlarda (%100/0, %75/25, %50/50 ve %25/75) Isırgan/Viskon harmanlanarak 82–93 tex aralığında iplikler ve pamuk zeminli dokuma kumaşlar (şal vb.) üretilmiştir. Çalışma kapsamında liflerin çekme mukavemeti, inceliği ve mikrobiyal çürütme etkisi ile kumaşların boyanabilirlik ve fiziksel performans özellikleri analiz edilmiştir. Araştırma sonuçları, ısırgan lifinin rejeneratif selülozik bir lif olan viskon ile harmanlanmasıyla hem eğrilebilirliğin ve kumaş tutumunun iyileştirildiğini hem de reaktif boyalarla başarılı bir şekilde renklendirilebildiğini göstermiştir. Çalışma, yabani bir orman kaynağı olan Himalaya ısırganının sürdürülebilir, katma değerli ve fonksiyonel giyimlik kumaş üretiminde kullanılabilirliğini teknik ve ekonomik süreçleriyle ortaya koymaktadır (Samanta et al., 2023).

Deepa vd. (2023), epoksi esaslı polimer kompozitlerde Himalaya ısırgan liflerinin fiziksel, mekanik ve termal performansını değerlendirmiştir. Lif takviyesi sayesinde kompozitlerin çekme dayanımı ve termal kararlılığında önemli iyileşmeler elde edilmiştir (Deepa et al., 2023).

Adam vd. (2025), sisal ve *Urtica dioica* liflerini birlikte kullanarak hibrit epoksi kompozitler geliştirmiştir. Hibrit yapı sayesinde kompozitlerin mekanik performansının tek lif kullanılan sistemlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Adam et al., 2025). Büyükkaya (2025), farklı kaynaklardan elde edilen *Urtica dioica* liflerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Çalışma, lif özelliklerinin yetişme ortamı ve ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ve uygulama alanına göre uygun lif seçiminin kritik olduğunu ortaya koymuştur (Büyükkaya, 2025).

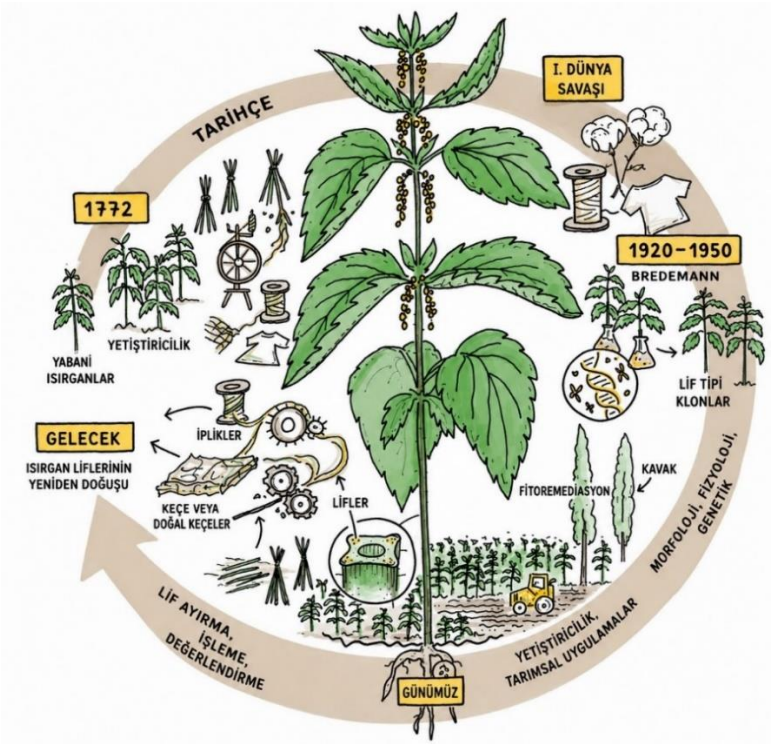
Akpınar (2026), "Isırgan Bitkisinden (*Urtica dioica* L.) Tekstil Malzemeleri Geliştirilmesi" başlıklı doktora tezinde, Giresun yöresinden temin edilen yabani ısırgan bitkisinin liften iplik ve örme kumaşa uzanan üretim zincirinde değerlendirilebilirliğini araştırmıştır. Çalışmada 10 ve 21 günlük su ile çürütme işlemlerinin liflerin kimyasal, yapısal, morfolojik, termal ve mekanik özelliklerine etkileri karşılaştırılmıştır. Daha yüksek α-selüloz içeriği ve kristallik indeksi ile daha temiz yüzey ve daha uzun lif yapısı gösteren 21 günlük işlem grubundan elde edilen lifler, endüstriyel iplik üretiminde kullanılmıştır. %10 ısırgan, %45 polyester ve %45 pamuk içeren harmandan vorteks eğirme yöntemiyle Ne 20/1 iplikler ve bu ipliklerden süprem örme kumaşlar üretilmiştir. İplik kalitesi ile ham ve boyalı kumaşların mekanik, aşınma, boncuklanma, konfor ve renk haslığı özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışma, yabani ısırgan lifinin düşük karışım oranında mevcut endüstriyel eğirme ve örme sistemlerinde işlenebilirliğini ortaya koyarak, lif karakterizasyonunu nihai tekstil ürününün performansıyla ilişkilendiren bütünleşik bir uygulama örneği sunmuştur (Akpınar, 2026).

Literatür kronolojik olarak incelendiğinde, 2005–2010 yılları arasında çalışmaların ağırlıklı olarak lif eldesi ve tekstil amaçlı kullanılabilirlik üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. 2012 sonrasında araştırmaların odağı biyokompozit uygulamalarına kaymış; özellikle PLA, polipropilen ve epoksi esaslı polimerlerde ısırgan lifinin takviye malzemesi olarak kullanımı ön plana çıkmıştır. Son yıllarda ise yüzey modifikasyonu, hibrit kompozitler ve üç boyutlu yazdırma gibi ileri üretim teknolojileri araştırmaların temel konuları hâline gelmiştir. Isırgan lifi üzerine yapılan çalışmaların önemli bir kısmı lif karakterizasyonu veya kompozit malzeme uygulamaları ile sınırlı kalırken, lifin tekstil endüstrisinde uygulanabilirliğini gerçek üretim koşullarında, liften nihai kumaşa

kadar uzanan süreç boyunca değerlendiren bütünleşik çalışmalar oldukça azdır.

Şekil 3'te ısırgan lifine ilişkin mevcut bilgi birikiminin tarihsel gelişimi, biyolojik özellikleri, yetiştiricilik ve lif işleme süreçleri ile potansiyel kullanım alanlarını bütüncül olarak özetleyen kavramsal çerçeve gösterilmiştir (Viotti et al., 2022) Şekilde; (i) ısırgan lifinin tarihsel gelişimi, (ii) *Urtica dioica* L.'nin biyolojisi, fizyolojisi ve genetik özellikleri, (iii) yetiştiricilik, hasat ve lif işleme süreçleri ile (iv) tekstil başta olmak üzere farklı değer zincirleri ve endüstriyel kullanım alanları şematik olarak gösterilmektedir. Bu çerçeve, ısırgan lifinin sürdürülebilir bir tekstil hammaddesi olarak değerlendirilmesine yönelik mevcut bilgi birikimini özetlemekte ve gelecekte ürün geliştirme ile endüstriyel uygulamalarda iyileştirme potansiyeli bulunan alanları ortaya koymaktadır (Viotti et al., 2022).

Şekil 3:Isırgan otunun gelişimindeki tarihsel ilerlemelerin gösterimi



Sürdürülebilirlik Potansiyeli ve Endüstriyel Uygulama Sınırlılıkları

Isırgan lifinin tarihsel kullanımı ve güncel malzeme uygulamaları, bu kaynağın tekstil hammaddelerinin çeşitlendirilmesi açısından önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Bitkinin çok yıllık yapısı, bölgesel üretime uygunluğu ve farklı kısımlarının değerlendirilebilmesi, bütünleşik biyokütle kullanımına dayalı üretim yaklaşımlarını desteklemektedir (Viotti et al., 2022; Vogl & Hartl, 2003). Bununla birlikte, doğal ve yenilenebilir kökenli olması, ısırgan lifinden geliştirilen her ürünün çevresel açıdan üstün olduğu anlamına gelmemektedir.

Sürdürülebilirlik değerlendirmesinin yetiştirme koşulları, lif verimi, ekstraksiyon ve sonraki işleme aşamalarını birlikte kapsaması gerekmektedir. Viotti vd. (2022), ısırgan üretimi ve kullanımının ekonomik ve çevresel sonuçlarının daha sağlam verilerle değerlendirilmesine ihtiyaç bulunduğunu belirtmektedir. Bu nedenle, ısırgan lifinin çevresel avantajları kesin bir üstünlük olarak değil, üretim sistemine ve kullanım amacına bağlı bir potansiyel olarak ele alınmalıdır.

Endüstriyel uygulamalar açısından temel sorun, lifin kullanılabilir özelliklere sahip olmasının yanında, bu özelliklerin sürekli ve ekonomik biçimde sağlanabilmesidir. Vogl ve Hartl (2003), hasat ve lif işleme altyapısının geliştirilmesi ile üretim maliyetlerinin değerlendirilmesini ticari yaygınlaşma açısından önemli gereksinimler olarak tanımlamaktadır. Viotti vd. (2022) ise çeşit seçimi, hasat ve lif işleme süreçlerinin birlikte geliştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede mühendislik çalışmalarının, lif kalitesindeki değişkenliğin azaltılmasına, kullanım amacına uygun işleme koşullarının belirlenmesine ve mevcut üretim sistemleriyle uyumluluğun artırılmasına odaklanması gerekmektedir. Isırgan lifinin tekstil ve kompozit uygulamalarındaki geleceği; teknik performansın, ekonomik uygulanabilirliğin ve çevresel etkilerin birlikte değerlendirildiği üretim yaklaşımlarının geliştirilmesine bağlıdır.

Sonuç

Isırgan lifi, tarihsel tekstil kullanımından günümüzdeki iplik, kumaş ve kompozit uygulamalarına uzanan gelişimiyle, yenilenebilir hammadde kaynaklarının çeşitlendirilmesi açısından dikkate değer bir potansiyel taşımaktadır. Bu bölümde incelenen çalışmalar, ısırganın yalnızca geleneksel bir lif bitkisi olarak değil, farklı işleme yöntemleriyle çeşitli kullanım gereksinimlerine uyarlanabilen bir malzeme kaynağı olarak değerlendirilmesi

gerektiğini göstermektedir. Bununla birlikte, farklı ısırgan türlerinden ve üretim koşullarından elde edilen sonuçların doğrudan genellenmemesi; lif özelliklerinin bitkisel kaynak, hasat zamanı ve lif elde etme yöntemiyle birlikte ele alınması önemlidir.

Tekstil ve malzeme mühendisliği açısından temel gereksinim, bitkisel hammaddenin kullanım amacına uygun ve tekrarlanabilir özelliklere sahip bir life dönüştürülmesidir. Çürütme, mekanik ayırma ve yüzey işlemleri; lif temizliğini, geometrisini ve mekanik davranışını etkileyerek sonraki üretim aşamalarının başarısını belirlemektedir. Tekstil uygulamalarında lif inceliği, esnekliği ve lifler arası kohezyon eğrilebilirlik açısından önem taşırken, kompozit uygulamalarında lif ile matris arasındaki uyum ve ara yüzey bağlanması öne çıkmaktadır. Bu nedenle işlem seçimi ve optimizasyonu, hedeflenen iplik, kumaş veya kompozitin performans gereksinimleri doğrultusunda yapılmalıdır.

Isırgan lifinin sürdürülebilirlik potansiyelinin endüstriyel bir değere dönüşebilmesi, teknik performansın yanı sıra kaynak sürekliliği, üretim maliyeti ve çevresel etkilerin birlikte değerlendirilmesine bağlıdır. Gelecek çalışmaların standart lif kalitesinin sağlanmasına, mevcut üretim hatlarıyla uyumluluğun geliştirilmesine ve laboratuvar sonuçlarının pilot ve endüstriyel ölçekte doğrulanmasına odaklanması gerekmektedir. Su, enerji ve kimyasal tüketimi ile işlem atıklarının yaşam döngüsü yaklaşımıyla incelenmesi de çevresel kazanımların ortaya konulmasını sağlayacaktır. Bu bütüncül yaklaşım, ısırgan lifinin tarihsel bir tekstil hammaddesinden, işlevsel ve kaynak verimli mühendislik malzemelerinin geliştirilmesine katkı sunan bir lif kaynağına dönüşmesini destekleyebilir.

Bilgi

Bu kitap bölümü Elif Sultan AKPINAR ‘ın ‘Isırgan Bitkisinden (*Urtica Dioica* L.) Tekstil Malzemeleri Geliştirilmesi’ isimli 2026 yılında tamamladığı doktora tezinden yararlanılarak hazırlanmış ve ilgili literatür çerçevesinde genişletilmiştir.

Yapay Zekâ Kullanım Beyanı

“Isırgan Lifinden Tekstil ve Kompozit Malzemelere: Teknolojik Gelişim ve Sürdürülebilirlik Perspektifi” başlıklı kitap bölümünün hazırlanması sürecinde, metnin dil ve anlatım yönünden düzenlenmesi, akademik ifade bütünlüğünün geliştirilmesi ve yazım kontrolü amacıyla yapay zekâ destekli araçlardan (ChatGPT, OpenAI) yararlanılmıştır. Bölümün bilimsel içeriği, literatür değerlendirmeleri, analizleri ve sonuçlarına ilişkin tüm akademik ve etik sorumluluk yazara aittir.

Kaynakça

Adam, H. M., Bogale, T. M., & Paramasivam, V. (2025). Studies on mechanical properties characterization of hybrid sisal and stinging nettle fiber reinforced epoxy composite material. *Journal of Materials Research and Technology*, *37*, 5086-5102. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.07.159

Agus Suryawan, I. G. P., Suardana, N. P. G., Suprapta Winaya, I. N., Budiarsa Suyasa, I. W., & Tirta Nindhia, T. G. (2017). Study of stinging nettle (Urtica Dioica L.) fibers reinforced green composite materials: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *201*(1), 012001. https://doi.org/10.1088/1757-899X/201/1/012001

Akpınar, E. S. (2026). *Isırgan Bitkisinden (Urtica dioica L.) Tekstil Malzemeleri Geliştirilmesi.* [Yayımlanmamış, Doktora Tezi] Pamukkale Üniversitesi

Alimoddin, M., Jayakumari, S., Fatima, B., Hasan, N., Ali, S., Sami, F., Ali, M. S., Nair, R. S., & Ansari, M. T. (2024). Pharmacological applications of Urtica dioica: a comprehensive review of its traditional use and modern scientific evidence. *Journal of Herbal Medicine*, *48*, 100935. https://doi.org/10.1016/j.hermed.2024.100935

Angulu, M., & Gusovius, H.-J. (2024). Retting of bast fiber crops like hemp and flax — A Review for classification of procedures. *Fibers*, *12*(3), 28. https://doi.org/10.3390/fib12030028

Ayan, A. K., Çalışkan, Ö., & Çırak, C. (2006). Isırganotu (Urtica spp.)'nun ekonomik önemi ve tarımı. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*,*21*(3),357-363. https://doi.org/10.7161/anajas.2006.21.3.357-363

Aytaç, S., Arslanoğlu, F., & Paslı, R. (2020). Isırgandan yararlanma. Içinde *Isırgan* (ss. 25-49). Erol Ofset Matbaacılık Yayıncılık Ambalaj San. ve Tic. Ltd. Şti.

Bacci, L., Baronti, S., Predieri, S., & di Virgilio, N. (2009). Fiber yield and quality of fiber nettle (Urtica dioica L.) cultivated in Italy. *Industrial Crops and Products*, *29*(2), 480-484. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.09.005

Bacci, L., Di Lonardo, S., Albanese, L., Mastromei, G., & Perito, B. (2010). Effect of different extraction methods on fiber quality of nettle (Urtica dioica L.). *Textile Research Journal*, *81*(8), 827-837. https://doi.org/10.1177/0040517510391698

Baite, H., Debnath, S., Ammayappan, L., Nayak, L. K., & Kundu, T. K. (2025). Blending of natural (stinging nettle) and synthetic fiber (Nylon 6,6). *International Journal For Multidisciplinary Research*, *7*(1), 37419. https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i01.37419

Bajpai, P. K., Meena, D., Vatsa, S., & Singh, I. (2013). Tensile behavior of nettle fiber composites exposed to various environments. *Journal of Natural Fibers*, *10*(3), 244-256. https://doi.org/10.1080/15440478.2013.791912

Baltina, I., Lapsa, L., Jankauskiene, Z., & Gruzdeviene, E. (2012). Nettle fibers as a potential natural raw material for textile in Latvia. *Material Science: Textile and Clothing Technology*, *7*(1), 23-27.

Bekiroğlu, E. (2020). *Isırgan bitkisinden lif elde etme yöntemleri ve tekstil yüzey çalışmaları* [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.

Bergfjord, C., Mannering, U., Frei, K. M., Gleba, M., Scharff, A. B., Skals, I., Heinemeier, J., Nosch, M.-L., & Holst, B. (2012). Nettle as a distinct Bronze Age textile plant. *Scientific Reports*, *2*(1), 664. https://doi.org/10.1038/srep00664

Bhardwaj, S., & Pant, S. (2014). Properties of nettle-acrylic blended yarn. *Journal of the Textile Association*, *75*(1), 28-31.

Bobade, P., Jaiswal, V., Jeet Singh, C., & Mukhopadhyay, S. (2026). Nettle fibre for technical applications. *Hemijska Industrija*, *80*(1), 29-49. https://doi.org/10.2298/HEMIND250609004B

Bodros, E., & Baley, C. (2008). Study of the tensile properties of stinging nettle fibres (Urtica dioica). *Materials Letters*, *62*(14), 2143-2145. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.11.034

Bone, K., & Mills, S. (2013). *Principles and practice of phytotherapy: Modern herbal medicine*. Churchill Livingstone Elsevier.

Büyükkaya, K. (2025). Examining the physical and thermal properties of nettle fibers obtained from different genetic sources and determining their usability as reinforcement materials in composites. *Journal of Natural Fibers*, *22*(1), 2519609. https://doi.org/10.1080/15440478.2025.2519609

Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H. G., & Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, *60*(1), 186-203. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.027

Chevallier, A. (1996). *The Encyclopedia of Medicinal Plants*. DK Publishing.

Chrubasik, J. E., Roufogalis, B. D., Wagner, H., & Chrubasik, S. A. (2007). A comprehensive review on nettle effect and efficacy profiles, Part I: Herba urticae. *Phytomedicine*, *14*(6), 423-435. https://doi.org/10.1016/j.phymed.2007.03.004

Deepa, R., & Kumaresan, K. (2022). Stinging nettle fibres extraction and characterization using chemical retting method and influence of tensile properties. *Industrial Crops and Products*, *188*, 115551. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115551

Deepa, R., Kumaresan, K., & Saravanan, K. (2023). Effect of surface modification of Himalayan nettle fiber and characterization of the morphology, physical and mechanical properties. *AUTEX Research Journal*, *23*(1), 126-131. https://doi.org/10.2478/aut-2022-0010

Department for Environment, F. and R. A. (Defra). (2004). *Sustainable Technology in Nettle Growing (STING), Project LK0820* (Sayı LK0802).

Di Virgilio, N., Papazoglou, E. G., Jankauskiene, Z., Di Lonardo, S., Praczyk, M., & Wielgusz, K. (2015). The potential of stinging nettle (Urtica dioica L.) as a crop with multiple uses. *Industrial Crops and Products*, *68*, 42-49. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.012

Dreyer, J. (1999). *Die Fasernessel als nachwachsender Rohstoff: Leistungsprüfung von Fasernesseln (Urtica dioica L., Große Brennessel) unter besonderer Berücksichtigung der phänotypischen Differenzierung anbauwürdiger Klone*. Verlag Dr. Kovač.

Dreyling, G. (2002). Die Fasernessel (Urtica dioica L.), eine wiederentdeckte alte Kulturpflanze. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung*, *14*(2), 125. https://doi.org/10.1007/BF03038769

Edom, G. (2024). *From sting to spin: A history of nettle fibre*. Urtica Books.

European Commission. (2019). *Communication on The European Green Deal*. https://commission.europa.eu/publications/communication-european-green-deal_en

European Commission. (2020). *A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe*. https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/

European Commission. (2022). *EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles*. https://environment.ec.europa.eu/publications/textiles-strategy_en

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H.-P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010.

Progress in Polymer Science, *37*(11), 1552-1596. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003

Fischer, H., Werwein, E., & Graupner, N. (2012). Nettle fibre (Urtica dioica L.) reinforced poly(lactic acid): A first approach. *Journal of Composite Materials*, *46*(24), 3077-3087. https://doi.org/10.1177/0021998311435676

Grauso, L., de Falco, B., Lanzotti, V., & Motti, R. (2020). Stinging nettle, Urtica dioica L.: botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochemistry Reviews*, *19*(6), 1341-1377. https://doi.org/10.1007/s11101-020-09680-x

Guil-Guerrero, J. L., Rebolloso-Fuentes, M. M., & Isasa, M. E. T. (2003). Fatty acids and carotenoids from stinging nettle (Urtica dioica L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, *16*(2), 111-119. https://doi.org/10.1016/S0889-1575(02)00172-2

Gülçin, I., Küfrevioğlu, Ö. I., Oktay, M., & Büyükokuroğlu, M. E. (2004). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (Urtica dioica L.). *Journal of Ethnopharmacology*, *90*(2-3), 205-215. https://doi.org/10.1016/j.jep.2003.09.028

Gürhan, G., & Ezer, N. (2004). Halk arasında hemoroit tedavisinde kullanılan bitkiler-I. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, *24*(1), 37-55.

Hartl, A., & Vogl, C. R. (2002). Dry matter and fiber yields, and the fiber characteristics of five nettle clones (Urtica dioica L.) organically grown in Austria for potential textile use. *American Journal of Alternative Agriculture*, *17*(4), 195-200. https://doi.org/10.1079/AJAA200226

Harwood, J., & Edom, G. (2012). Nettle Fibre: Its prospects, uses and problems in historical perspective. *Textile History*, *43*(1), 107-119. https://doi.org/10.1179/174329512X13284471321244

Hindi, J., Muralishwara, K., Heckadka, S. S., & Gurumurthy, B. M. (2025). Retting and chemical treatment of natural fibers – A

Review. *Journal of Natural Fibers*, *22*(1), 2562479. https://doi.org/10.1080/15440478.2025.2562479

Huang, G. (2005). Nettle (Urtica cannabina L.) fibre, properties and spinning practice. *Journal of the Textile Institute*, *96*(1), 11-15. https://doi.org/10.1533/joti.2004.0023

Ibrahim, B., & Kurt, A. A. (2024). Mikrobiyolojik olarak test edilmiş bitkisel ekstraktlar ve esansiyel yağlar ile saç dökülmesine karşı doğal şampuan formülasyon geliştirilmesi. *Journal of Immunology and Clinical Microbiology*, *9*(1), 12-23. https://doi.org/10.58854/jicm.1402811

Kumar, N., & Das, D. (2017). Alkali treatment on nettle fibers part II: design of experiment and desirability function approach to study enhancement of tensile properties. *The Journal of The Textile Institute*, *108*(8), 1468-1475. https://doi.org/10.1080/00405000.2016.1257347

Kurban, M., Yavaş, A., & Avinç, O. O. (2011). Isırgan otu lifi ve özellikleri. *Teknolojik Araştırmalar: Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *1*, 84-106.

Lee, C. H., Khalina, A., Lee, S. H., & Liu, M. (2020). A comprehensive review on bast fibre retting process for optimal performance in fibre-reinforced polymer composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2020*(1), 6074063. https://doi.org/10.1155/2020/6074063

Öztürk, A. İ., & Özdemir, Z. Ö. (2024). Isırgan otu biyoaktif bileşenleri ve analitik yöntemlerle incelenmesi. *Bütünleyici ve Anadolu Tıbbı Dergisi*, *5*(1), 40-50. https://doi.org/10.53445/batd.1309813

Pandey, S., & Pant, S. (2025). Development and characterization of stinging nettle and Nylon 6, 6 blends for yarn production. *International Journal of Home Science*, *11*(1), 212-218. https://doi.org/10.22271/23957476.2025.v11.i1c.1779

Paukszta, D., Mańkowski, J., Kołodziej, J., & Szostak, M. (2013). Polypropylene (PP) composites reinforced with stinging nettle

(Urtica dioica L.) fiber. *Journal of Natural Fibers*, *10*(2), 147-158. https://doi.org/10.1080/15440478.2013.789287

Preeti, A., & Radhakrishnan, S. (2015). Development of Fabric from Girardina Diversifolia Stem Fibres and its Blends. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, *4*(11), 10499-10506. https://doi.org/10.15680/ijirset.2015.0411023

Rafajlovska, V., Djarmati, Z., Najdenova, V., & Cvetkov, L. (2002). Extraction of stinging nettle (Urtica dioica L.) with supercritical carbondioxide. *Balkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *4*(2), 49-52.

Sabır, E. C., & Zervent Ünal, B. (2017). The using of nettle fiber in towel production and investigation of the performance properties. *Journal of Natural Fibers*, *14*(6), 781-787. https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1279102

Samanta, K. K., Roy, A. N., Baite, H., Debnath, S., Ammayappan, L., Nayak, L. K., & Kundu, T. K. (2023). Properties of Himalayan nettle fiber and development of nettle/viscose blended apparel textiles. *Journal of Natural Fibers*, *20*(1), 2183924. https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2183924

Sood, S., Bhardwaj, S., & Kavita, S. (2020). Morphology and properties of the stinging nettle fibre (Bisshu Ghass) in Himalayan foot hills. *International Journal of Textile and Fashion Technology*, *10*(3), 1-10.

Spiewak, R., & Szendzielorz, E. (2025). Ingredients of trichological shampoos with alleged beneficial effects on hair—What is really known about their efficacy? A scoping review of an area with more unknowns than knowns. *Cosmetics*, *12*(6). https://doi.org/10.3390/cosmetics12060262

Suarsana, I., Suryawan, I., Suardana, N. P. G., Winaya, S., Soenoko, R., Suyasa, B., Sunu, W., & Rasta, M. (2021). Flexural strength of hybrid composite resin epoxy reinforced stinging nettle fiber

with silane chemical treatment. *AIMS Materials Science*, *8*(2), 185-199. https://doi.org/10.3934/matersci.2021013

Summerscales, J., Dissanayake, N. P. J., Virk, A. S., & Hall, W. (2010). A review of bast fibres and their composites. Part 1 – Fibres as reinforcements. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *41*(10), 1329-1335. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.06.001

Suomela, J. A., Suhonen, H., Räisänen, R., & Wright, K. (2022). Identifying Late Iron Age textile plant fibre materials with microscopy and X-ray methods — a study on finds from Ravattula Ristimäki (Kaarina, Finland). *Archaeological and Anthropological Sciences*, *14*(3), 40. https://doi.org/10.1007/s12520-022-01507-4

Şansal, S. (2017). *Ekolojik yüzey işlemlerinin ısırgan ipliğinin fiziksel ve morfolojik özelliklerine etkisinin araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Bartın Üniversitesi.

Şimşek, I., Aytekin, F., Yesilada, E., & Yıldırımlı, S. (2004). An ethnobotanical survey of the Beypazarı, Ayas, and Gudul district towns of Ankara province (Turkey). *Economic Botany*, *58*, 705-720. https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0705:AESOTB]2.0.CO;2

Taheri, Y., Quispe, C., Herrera-Bravo, J., Sharifi-Rad, J., Ezzat, S. M., Merghany, R. M., Shaheen, S., Azmi, L., Prakash Mishra, A., Sener, B., Kılıç, M., Sen, S., Acharya, K., Nasiri, A., Cruz-Martins, N., Tsouh Fokou, P. V., Ydyrys, A., Bassygarayev, Z., Daştan, S. D., … Cho, W. C. (2022). Urtica dioica-derived phytochemicals for pharmacological and therapeutic applications. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2022*(1), 4024331. https://doi.org/10.1155/2022/4024331

United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). *Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain: A*

Global Roadmap. https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/4258

Viotti, C., Albrecht, K., Amaducci, S., Bardos, P., Bertheau, C., Blaudez, D., Bothe, L., Cazaux, D., Ferrarini, A., Govilas, J., Gusovius, H.-J., Jeannin, T., Lühr, C., Müssig, J., Pilla, M., Placet, V., Puschenreiter, M., Tognacchini, A., Yung, L., & Chalot, M. (2022). Nettle, a long-known fiber plant with new perspectives. *Materials*, *15*(12), 4288. https://doi.org/10.3390/ma15124288

Vogl, C. R., & Hartl, A. (2003). Production and processing of organically grown fiber nettle (Urtica dioica L.) and its potential use in the natural textile industry. *American Journal of Alternative Agriculture*, *18*(3), 119-128. https://doi.org/10.1079/AJAA200242

Windler, R., Rast-Eicher, A., & Mannering, U. (1995). Nessel und Flachs: Textilfunde aus einem frühmittelalterlichen Mädchengrab in Flurlingen (Kanton Zürich). *Archäologie der Schweiz*, *18*(4), 155-161. https://doi.org/10.5169/seals-15357

Yavuz, M., İlçe, A. Ö., Kaymakçı, Ş., Bildik, G., & Dıramalı, A. (2007). Meme kanserli hastaların tamamlayıcı ve alternatif tedavi yöntemlerini kullanma durumlarının incelenmesi. *Turkiye Klinikleri J Med Sci*, *27*, 680-686.

CHAPTER 6

MODA TASARIMINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: SANAT, ZANAAT VE DÖNGÜSEL YAKLAŞIMLARIN KESİŞİMİ

TUĞBA SEFEROĞLU[1]

Giriş ve Çalışmanın Amacı

Moda tasarımı, yalnızca estetik ve işlevsel ürünlerin geliştirilmesine yönelik yaratıcı bir faaliyet değil (Claxton & Kent, 2020); aynı zamanda moda ürün geliştirme süreci, tüketici talepleri, teslimat esnekliği, üretim miktarı, stok riskleri, çevresel performans ve toplam maliyet gibi birbirine bağlı kararları kapsamaktadır (De Brito et al., 2008). Ayrıca tasarım değişiklikleri, malzeme teminini, envanter düzeylerini, çalışanların çalışma saatlerini, üretim ve teslimat planlarını etkileyebilmektedir (Özkan, 2019). Moda sisteminin hızlanan üretim ve tüketim döngüsü, ürünlerin kullanım ömrünün kısalmasına (Hardabkhadze et al., 2023) ve tekstil atıklarının artmasına yol açarken (Er Bıyıklı et al., 2024), tasarımın çevresel sorumluluklarının yeniden değerlendirilmesini gerekli hâle getirmiştir (Ma et al., 2024) Bu doğrultuda sürdürülebilir moda tasarımı, yalnızca daha az zararlı malzemelerin tercih edilmesini

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Giresun Üniversitesi Şebinkarahisar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, Orcid: 0000-0002-2366-4278

değil; ürünün üretiminden kullanımına ve kullanım sonrasına kadar uzanan bütün yaşam döngüsünün yeniden düşünülmesini gerektirmektedir (Niinimäki, 2014).

Küresel moda ve tekstil endüstrisi, Sanayi Devrimi'nden bu yana giderek hızlanan üretim ve tüketim döngülerinin etkisiyle, günümüzde küresel kirliliğe en fazla katkıda bulunan sektörlerden biri hâline gelmiştir (Peleg Mizrachi, 2023). Günümüzde her yıl milyarlarca giysi üretilmekte olup bu durum, moda endüstrisinde önemli bir atık sorununa yol açmaktadır (Pucci et al., 2022). "Avrupa'da kişi başına ortalama 26 kilogram tekstil tüketilirken bunun 11 kilogramı âtıl duruma geçmekte; atılan giysilerin yüzde 87'si ise yakılmakta ya da çöpe gömülmektedir" (Alves et al., 2024, s. 2). Bu tablo, doğrusal "al–kullan–at" ekonomik modelin ekosistem üzerindeki yıkıcı baskısını somutlaştırmaktadır (Barrie et al., 2017). Sektör bu olumsuz koşullar karşısında geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı, enerji verimliliği, su tasarrufu ve atık yönetimi gibi stratejilere yönelmekte; (Islam et al., 2021) ancak bu stratejiler tek başına, sistemin yapısal dönüşümünü sağlamaya yetmemektedir (Burnstine & Ghattas, 2025).

20. yüzyılın sonlarından itibaren belirginleşen hızlı moda iş modeli (Er Bıyıklı et al., 2024; Metlioğlu & Yilmaz, 2025), düşük maliyetli üretim ve kısa trend döngüleri aracılığıyla ürünlerin yaşam sürelerini kısaltmış (Batur, 2023; Claxton & Kent, 2020; Özkan Kuş & Erben, 2024); bu gelişmeler, moda tasarımı disiplininin eleştirel, sistemsel ve dönüştürücü bir yaklaşımla yeniden düşünülmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Broach et al., 2023). Bunun sonucunda döngüsel ekonomi, yavaş moda, sıfır atık tasarımı ve modüler tasarım gibi alternatif çerçeveler geliştirilmiş; upcycling, geri kazanım ve yeniden kullanım pratikleri endüstriyel tasarımın gündemine taşınmıştır (Ayanoğlu & Ağaç, 2017; Lopez, 2024). Bu yaklaşımlar, üretim ve tüketim pratiklerini kapsayan bütüncül bir dönüşümü zorunlu kılmakta (Brown & Vacca, 2022) yalnızca

çevresel etkiyi azaltmaya yönelik teknik stratejiler, kültürel sürdürülebilirliği ve toplumsal eşitliği desteklemediği sürece kalıcı bir değişime dönüşememektedir. Bu nedenle sürdürülebilirlik, moda tasarımı bağlamında çevresel, toplumsal, kültürel ve ekonomik boyutlarıyla birlikte ele alınması gereken çok katmanlı bir kavram olarak konumlanmaktadır (Casciani et al., 2022). Sürdürülebilir moda; tasarım, üretim, dağıtım, kullanım ve kullanım sonrasını kapsayan bütüncül bir yaşam döngüsü yaklaşımına dayanır. Bu yaklaşım, çevresel etkilerin azaltılmasının yanı sıra sosyal ve ekonomik boyutların gözetilmesini, doğal kaynakların verimli kullanılmasını, atığın önlenmesini ve uzun ömürlü, dayanıklı ürünlerin tasarlanmasını gerektirir (Niinimäki, 2014). Tasarım aşamasında alınan kararlar, ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel ve toplumsal etkisini belirlemekte (Alves et al., 2024); bu kararların merkezine yenilikçi tasarım yaklaşımlarının, kullanıcı katılımına dayalı birlikte yaratım süreçlerinin ve uzun ömürlülük ilkesinin yerleştirilmesi gerekmektedir (Niinimäki & Hassi, 2011).

Bu çerçevede sanat, sürdürülebilir sanat pratiğinin ekosisteme sağladığı kolektif kültürel destek ve çevresel duyarlılık işleviyle (Berber & Önlü, 2021); zanaat, geleneksel değerlerin sanat ve teknik bilginin birlikteliğiyle üretim süreçlerine taşınması işleviyle (Çetiner, 2023); ve döngüsellik, kapalı döngü sistemini esas alan sürdürülebilir tasarım stratejilerinin benimsenmesi işleviyle (Atalay Onur, 2020b) olmak üzere, sürdürülebilir moda tasarımının kesişim noktasında konumlanan üç sacayağı olarak öne çıkmaktadır.

Zanaat; malzeme bilgisi, el becerisi, geleneksel teknikler ve kültürel süreklilikle ilişkili bir üretim yaklaşımını temsil etmekte (Huang et al., 2026; Brown & Vacca, 2022); yoğun emek ve el işçiliğine dayanan zanaat pratikleri, hızlı modanın hız, hacim ve kusursuz standartlaşmış üretim anlayışına karşıt olarak küçük ölçekli üretimle sınırlı olmaları nedeniyle yavaş moda yaklaşımıyla daha uyumlu kabul edilmektedir (Sandhu, 2020). Döngüsellik ise

malzeme seçiminden ürünün uzun ömürlülüğüne, yeniden kullanımından geri dönüşümüne kadar yaşam döngüsünün farklı aşamalarını kapsayan ve beşikten beşiğe ilkelerine dayanan kapalı döngüsel bir tasarım anlayışını ifade etmektedir (Claxton & Kent, 2020); bu yaklaşım modüler yapılar, sökülebilir dikişler ve onarılabilir parçalar gibi somut tasarım stratejileriyle desteklenmektedir (Choudhry et al., 2026). Üç sacayağının kesişim noktası, sürdürülebilir moda tasarımının hem eleştirel hem de yapıcı çerçevesini oluşturmaktadır. Zanaatın nostaljik bir geçmiş özlemi olmaktan çıkarak döngüsel moda tasarımına katkı sağlayabilecek çağdaş bir bilgi sistemi olarak yeniden konumlandırılabileceğini göstermektedir (Puri & Gaba Adlakha, 2025).

Bu bölümün amacı, moda tasarımında sürdürülebilirlik kavramını sanat, zanaat ve döngüsellik kesişiminde bütüncül bir çerçeveyle incelemektir. Çalışma, hızlı modanın yapısal tahribatı karşısında, geleneksel bilgi birikimi ile döngüsel tasarım stratejilerinin nasıl bütünleşebileceğini; sanat ve zanaatın tasarım sürecinde nasıl işlevsel bir ittifak oluşturabileceğini ve yavaş üretim, onarım kültürü ile modüler tasarımın sürdürülebilirliği nasıl destekleyebileceğini tartışmaktadır. Bu amaç doğrultusunda bölümde öncelikle sürdürülebilirliğin kavramsal temelleri, moda endüstrisinin çevresel etkisi ve sürdürülebilir tasarım stratejileri ele alınmakta; ardından sanatın ve zanaatın moda tasarımındaki rolleri, kültürel sürdürülebilirlik ve yerel üretim pratikleri incelenmektedir. Döngüsel ekonomi ilkeleri, malzeme seçimi ve tasarımda yaşam döngüsü tartışılmakta; sanat, zanaat ve döngüselliğin kesişim noktasında disiplilerarası tasarım yaklaşımları ve hibrit üretim modelleri örnek olay incelemeleriyle desteklenmektedir. Son olarak, yeşil yıkama sorunu, çalışmanın sınırlılıkları ve gelecek perspektifleri tartışılarak zanaat bilgisinin döngüsel moda tasarımındaki güncelliği ortaya konmaktadır.

Moda Tasarımında Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilir Moda Kavramı

Moda bağlamında sürdürülebilirlik, sosyal, ekonomik ve ekolojik süreçleri içine alan kompleks bir yapı arz ederek, "geleneksel sahip olması iyi durumundan çıkarak sektörel bir zorunluluk haline gelmiştir" (Şevkay & Bayburtlu, 2020, s. 153). Bu yaklaşım, endüstriyel büyüme hedeflerini çevresel taşıma kapasitesiyle dengelemeyi amaçlayan bütüncül bir stratejik dönüşümü temsil etmektedir (Hardabkhadze et al., 2023). Özellikle tekstil ve moda endüstrisinin, "ilk endüstri devriminden bu yana ekolojik dengeye en çok zarar veren ikinci büyük sanayi kolu olduğu gerçeği" (Yetmen, 2022, s. 1321), bu dönüşümün aciliyetini ortaya koymaktadır. Endüstriyel atık oranlarının artışı ve doğal kaynakların aşırı tüketimi (Er Bıyıklı et al., 2024), sektörün mevcut doğrusal üretim modellerinin yarattığı çevresel tahribatı gözler önüne sermekte ve bu durumun sürdürülebilir bir iş modeline geçişin önemini vurgulamaktadır (Ceylan & Tunç, 2021). Söz konusu ekolojik ayak izinin minimize edilmesi, sadece üretim tekniklerinin iyileştirilmesini değil, aynı zamanda tasarımcıların hammadde seçiminden tüketici sonrası geri kazanım süreçlerine kadar uzanan geniş bir yelpazede stratejik kararlar almasını gerektirmektedir (Enes, 2024). Bu bağlamda moda tasarımcıları, liften nihai ürüne kadar uzanan tüm tedarik zincirinde çevre ve insan sağlığını gözeten ekolojik tekstil ürünlerinin üretimi konusunda kritik sorumluluklar üstlenmektedir (Kaya, 2023). Bu süreç, sadece kaynak tüketimini sınırlamakla kalmayıp, aynı zamanda emek sömürüsünü minimize eden ve etik çalışma koşullarını benimseyen adil bir üretim anlayışını da beraberinde getirmektedir (Siddhartha, 2024). Moda endüstrisinin yarattığı atık sorunlarını aşmak adına, tasarımcıların "beşikten beşiğe" yaklaşımını benimseyerek üretim süreçlerindeki çıktıları birer hammadde kaynağı olarak yeniden tanımlamaları stratejik bir gereklilik haline gelmiştir (Kır & Çaşkurlu, 2024). Bu

bağlamda, sorumsuz üretimin çevresel ve toplumsal zararlarının görünür hâle gelmesi ve toplumsal ve çevresel bilinç düzeyinin yükselmesi, "yeşil moda ve yeşil üretim/tüketim kavramlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır" (Halaçeli Metlioğlu & Yakın, 2021, s. 1901). Bu yaklaşım, moda sektörünün ekoloji, ekonomi ve sosyal etik olmak üzere üç temel boyutta dengelenerek, mevcut "kullan–at" odaklı üretim biçimlerinin yarattığı tahribatın yavaşlatılmasını hedeflemektedir (Gürcüm & Yüksel, 2011). Bu bağlamda moda tasarımcıları, hızlı tüketim döngüsü yerine uzun ömürlü, ekolojik ve etik değerlere dayalı tasarımlara yönelerek endüstrinin toplumsal ve çevresel sorumluluğunu üstlenmektedir (Şahin & Odabaşı, 2018).

Moda Endüstrisinin Çevresel Etkisi

Tekstil üretimi, özellikle boyama ve bitim işlemlerinde yoğun su tüketimi ve tehlikeli kimyasal salınımıyla su kaynaklarını kısıtlayıp ekosistemleri kirleterek çevresel bozulmada kritik bir rol oynamaktadır (Younus, 2024). Ayrıca, moda sektöründeki hızlı üretim döngüleri ve kısa kullanım ömürleri, milyonlarca ton giysinin yıllık bazda atık sahalarına gönderilmesine yol açarak küresel atık krizini derinleştirmektedir (Younus, 2024). Hızlı moda modeli, ekonomik büyümeyi hızlandırmak amacıyla benimsenen düşük maliyetli malzeme kullanımı, kısa tedarik süreleri ve yüksek hacimli üretim pratikleriyle doğal kaynakların tükenişini tetiklerken; karbon emisyonlarını ve üretim süreçlerinden kaynaklanan endüstriyel kirlilik yükünü çevresel taşıma kapasitesinin ötesine taşımaktadır (Niinimäki, 2014). Hızlı modaya dayalı üretim ve tüketim sistemi, çevresel etkilerinin yanı sıra düşük maliyetli işgücüne dayalı üretim uygulamaları, işçi sömürüsü ve ücret eşitsizlikleri gibi sosyal ve etik sorunları da beraberinde getirmektedir (Bauerová, 2025). Söz konusu sistemin bir sonucu olarak, moda endüstrisi hem kaynak kullanımında aşırılığa kaçmakta hem de yoksulluğu derinleştirerek sosyal adaletsizliği tetikleyen bir yapıya dönüşmektedir (Burnstine

& Ghattas, 2025). Bu yıkıcı döngüye alternatif olarak geliştirilen "yavaş moda" yaklaşımları, üretim hızını düşürerek kaynak verimliliğini artırmayı ve tasarım sürecinde etik standartları merkeze alarak sektörün ekolojik ayak izini daraltmayı hedeflemektedir (Fletcher, 2010). Bu doğrultuda, döngüsel ekonomi prensipleriyle entegre edilen tasarım stratejileri, atık oluşumunu "sıfır atık" hedefleriyle minimize etmeyi ve kullanılan malzemelerin yeniden kazanım döngüsüne dahil edilmesini zorunlu kılmaktadır (D'Itria & Vacca, 2024). Ayrıca, tasarımcıların dijital prototipleme ve simülasyon teknolojilerinden yararlanarak üretim öncesi süreçleri optimize etmesi, tekstil israfının azaltılması, malzeme tüketiminin iyileştirilmesi ve kaynak verimliliğinin artırılması açısından önemli bir uygulama alanı oluşturmaktadır (Pešić et al., 2025). Bununla birlikte, dijital simülasyonlar ve üç boyutlu tasarım araçları, prototipleme aşamasındaki materyal kaybını önemli ölçüde azaltarak sektörün ekolojik verimliliğini artırmaktadır (Casciani et al., 2022). Sürdürülebilir moda tasarımının haritalanması kapsamında, geri dönüşüm ve ileri dönüşüm gibi döngüsel stratejilerin yanı sıra modüler tasarım teknikleri de ürünlerin yaşam döngüsünü uzatarak atık yönetiminde etkin rol oynamaktadır (Varol & Onur, 2025). Ayrıca, biyolojik olarak parçalanabilir doğal liflerin kullanımı teşvik edilerek, tekstil hammaddelerinin doğaya geri kazandırılması süreçleri tasarımın temel bir bileşeni haline getirilmektedir (Kurtuldu & Öğüt, 2023).

Sürdürülebilir Tasarım Stratejileri

Sürdürülebilir tasarım stratejileri, çevresel etkinin büyük bölümünün ürünün daha üretilmeden belirlendiği tasarım aşamasına odaklanır (Bouyarmane et al., 2023). Avrupa Komisyonu'nun çevresel tasarım ilkeleri bu yaklaşımın çerçevesini çizer: "mümkün olduğunca düşük etkili malzeme kullanımı, kaynak verimliliğine odaklanma, yüksek kalite ve dayanıklılığa yatırım ile yeniden kullanım, geri dönüşüm ve yenileme" (Niinimäki, 2014, s. 17). Bu

ilkelerin ortak paydası yaşam döngüsü düşüncesidir; sürdürülebilir moda, tasarım, üretim, lojistik, perakende, kullanım ve bertaraf aşamalarının tamamını kapsayan bir yaşam döngüsü perspektifi gerektirir ve "ürünlerden çok yaşam döngüleri tasarlamak esas alınır" (Niinimäki, 2014, s. 17). Nitekim "sürdürülebilir moda tasarımı, tasarımcıların ve diğer paydaşların çevresel etkileri azaltmak için beş R stratejisini uygulamalarını gerektiren bir yaklaşımdır" (Batur, 2023, s. 88); "bu stratejiler reddetmek, azaltmak, tekrar kullanmak, yeniden amaçlamak ve geri dönüştürmek başlıklarını kapsamaktadır" (Batur, 2023, s. 83).

Bu çerçevede moda ve tekstil tasarımcılarına özel geliştirilmiş araçlardan biri, 1996'dan bu yana çalışan TED grubunun 10 stratejisidir; stratejiler, ürün tasarım sürecinin her aşamasında sürdürülebilir olmayı hedefleyerek tasarımcıya çok yönlü bir bakış açısı sunmaktadır (Ceylan & Tunç, 2021). Ürün Yaşam Döngüsü Analizi ve Ürün–Hizmet Sistemi ile sürdürülebilir ürün tasarım araçları arasında sayılan TED'in stratejileri; atıkları en aza indirmek için tasarım, temiz ve daha iyi teknolojileri keşfeden tasarım, doğadan ve tarihten ilham alan tasarım, etik üretim için tasarım ve tüketim ihtiyacını azaltmak için tasarım gibi yaklaşımları kapsar (Ceylan & Tunç, 2021). Benzer şekilde D'Itria ve Vacca, sürdürülebilir moda tasarımı için dört stratejik boyut tanımlamaktadır: düşük etkili tasarım, düşük atıklı tasarım, uzun ömürlülük için tasarım ve süreklilik (perennity) için tasarım; bu boyutlar sıfır atık, ileri dönüşüm, duygusal veya fiziksel dayanıklılık, sökülebilirlik, tek malzemelilik, geri dönüştürülebilirlik ve dinamik yükseltme gibi sekiz farklı yaklaşımla uygulanabilmektedir (D'Itria & Vacca, 2024).

Stratejilerin ürün düzeyindeki karşılıklarından biri modüler giyim tasarımıdır; "birden çok şekilde giyilebilme olanağı sunan modüler giysiler, daha az sayıda modelle işlevsel ve görsel çeşitlilik yaratarak atık tekstil miktarını azaltmakta ve çevresel

sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır" (Şevkay & Bayburtlu, 2020, ss. 170–171). "Aşınmış giysilerin tamamını gözden çıkarmak yerine uygun parçaların değiştirilerek ürünün yeniden hayata döndürülmesi de bu yaklaşımın temel kazanımlarındandır" (Şevkay & Bayburtlu, 2020, s. 162). Uzun ömürlülük stratejisi ise iki boyutta ele alınır: fiziksel dayanıklılık (konstrüksiyon, elyaf karışımı, renk haslığı gibi teknik özellikler) ve duygusal dayanıklılık (kullanıcının ürünle kurduğu bağ, ürünün yaşlanmasıyla birlikte estetik anlamını koruması) (D'Itria & Vacca, 2024). Kişi–ürün bağını güçlendirmek üzere paylaşım, kişiselleştirme, kullanıcıyla birlikte tasarım gibi stratejiler ürünün atılmasını yavaşlatabilmekte ve kaynakların hızlı tüketimini azaltabilmektedir (Niinimäki, 2014). Seri üretimde yeni kumaşların yaklaşık %18'inin kesim sonrası tüketim öncesi atığa dönüştüğü göz önüne alındığında, düşük atıklı tasarımın bu kayıpları yeniden üretim döngüsüne kazandırma potansiyeli belirginleşmektedir (D'Itria & Vacca, 2024). Tasarım için geri dönüşüm stratejisi de kullanımdan sonra kaynakların değerini vurgulayarak döngüsel ekonomiye katkı sunması beklenmektedir (Batur, 2023).

Ürünün ömrünü uzatmaya yönelik bir diğer strateji, ürün–hizmet sistemleridir; ürün odaklı, kullanım odaklı ve sonuç odaklı olmak üzere üç kategoride sınıflandırılan bu sistemler, bakım, onarım, yükseltme ve yaşam sonunda geri alma hizmetleriyle ürünün kullanım süresini genişletmeyi hedefler (Niinimäki, 2014). Dayanıklılık ve uzun süreli kullanım, sürdürülebilir tüketimin ön koşulu olarak görülmektedir; nitekim İngiltere'deki bir araştırmada insanların giysilerinin yaklaşık yarısının son on iki ayda hiç kullanılmadan dolapta beklediği, Hollanda'da ise ortalama bir giysinin üç yıl beş ay boyunca sahip olunup yalnızca 44 gün giyildiği ortaya konmuştur (Niinimäki, 2014). Bu veriler, sürdürülebilirlik stratejilerinin yalnızca malzeme seçimine değil, kullanıcı davranışını ve tüketim alışkanlıklarını da gözeten bütüncül bir tasarım anlayışına

dayanması gerektiğini göstermektedir (Niinimäki, 2014). Sonuç olarak sürdürülebilir tasarım stratejileri tek bir reçete sunmaz; tasarımcının sürdürülebilirlik amacına göre farklı strateji ve yaklaşımlar arasından seçim yapılabilir ve bunlardan bazıları birbirini tamamlayacak biçimde bir arada kullanılabilir (D'Itria & Vacca, 2024).

Sanat ve Sürdürülebilir Moda Tasarımı

Sanatın Moda Tasarımındaki Rolü

Moda ve sanat arasındaki bağ, çağdaş dönemde giderek derinleşen bir nitelik kazanmıştır (Chen, 2025). Günümüzde tasarımcılar, modayı bir sanat taşıyıcısı ya da sanatsal ifadenin bir aracı olarak kullanarak bireysel sanatsal arayışlarını sergileme eğilimi gösterirken; sanatçılar da modayı yaratıcı bir pratiğe dönüştürmenin olanaklarını benimsemişlerdir (Chen, 2025). Moda ile sanat arasındaki bu iç içe geçme yalnızca görsel bir etkileşimle sınırlı değildir; işlevsel bir nesnenin sanat eseri olarak temsil edilmesi, nesneye ek bir sembolik değer kazandıran kuramsal ve stratejik bir yaklaşıma dayanmaktadır (Ermilova et al., 2020). Sanat ile moda endüstrisi arasındaki çeşitli bağlar, moda tasarımında "sanat tasarımı" (*art design*) kavramının oluşumuna temel oluşturmakta; bir tasarım nesnesinin sanat eseri olarak sunulması, ona ek sembolik değer kazandırırken yaratıcısının toplumsal statüsünü de yükseltmektedir (Ermilova et al., 2020). Tarihsel açıdan bakıldığında ise sanat akımlarına verilen tepkiler ile moda tarihindeki siyasi ve ekonomik koşullara yönelik tepkiler yeni fikirler doğurmakta; bu durum tasarıma ilişkin fikir ve problemlerin de dönüşmesine yol açmaktadır (Ayanoğlu & Ağaç, 2017).

Sürdürülebilir moda bağlamında giyilebilir sanatın rolü salt estetik bir katkıyla sınırlı değildir; giyilebilir sanat, ekolojik bilinci görünür kılan, çevresel sorunlara dikkat çeken ve tüketim kültürünü sorgulayan bir ifade alanı olarak da işlev görmektedir (Jaiswar &

Naseem, 2026). Güzel sanatlar, moda ve tasarımı bir araya getiren "giyilebilir sanatın kökenleri 20. yüzyıl avangard sanat hareketleriyle ilişkilendirilmekte; "günümüzde atılmış, ileri dönüştürülmüş veya geri dönüştürülmüş malzemelerden yaratıcı giyilebilir biçimlerin üretilmesiyle, atık malzemelerin anlamlı ve düşündürücü eserlere dönüştürüldüğü çöp sanatından giyilebilir sanata yaklaşımı gelişmektedir" (Jaiswar & Naseem, 2026, s. 1). Bu dönüşüm, modayı bilinçli bir pratik ve sanatı sürdürülebilirliğin yaşayan bir ajanı olarak yeniden tanımlarken; giyilebilir sanat, estetiğin ötesinde ekolojik bir aktivizm aracına dönüşmektedir (Jaiswar & Naseem, 2026). Benzer biçimde "moda, son yıllarda çağdaş görsel ve performans sanatının eğilimlerini bünyesine katarak, kapsayıcılık ve toplumsal adaletin tartışıldığı, direniş ve toplumsal protesto pratiklerinin dile getirildiği kamusal bir alan rolü üstlenmekte"; sanat bu çerçevede etik ve sürdürülebilir moda anlayışının güçlenmesine katkı sağlamaktadır (Luchetti, 2025, s. 1). Sürdürülebilir sanat pratikleri ise "1960'lardan itibaren değişen çevre düşüncesi ve algısının, ekosistemi içeren ve çevre sorunlarını kapsayan kaygılara evrilen çok farklı sanat oluşumlarını doğurmasıyla biçimlenmiştir" (Berber & Önlü, 2021, s. 491). Sanatın tasarıma kazandırdığı estetik değer ayrıca uzun ömürlülük stratejisinin duygusal dayanıklılık boyutuyla da ilişkilenmekte; ürünün kullanıcıda uyandırdığı estetik duygular, ürünün kullanım ömrünü uzatabilmektedir (Wang et al., 2022). Sürdürülebilir modanın felsefi yönünün kavranabilmesi için sanat ve tasarım fakültelerinin birlikte çalışması gerektiğini savunan yaklaşımlar da sanatkâr bir bakış açısının tasarım süreçlerinin merkezine yerleştirilmesine dikkat çekmektedir (Odabaşı & Şahin, 2019).

Sanatsal Uygulamalar ve Estetik

İleri dönüşüm odaklı moda tasarımında sanatsal uygulamalar, yalnızca ürünün estetik görünümünü biçimlendirmekle kalmayıp atık malzemenin görsel ve dokusal özelliklerini

dönüştürerek sürdürülebilirliğin sanatsal form içinde görünür kılınmasına da katkı sağlamakta (Gencal Öztürk, 2025, s. 83); malzeme anlayışını, üretim yöntemlerini ve tüketim davranışlarını yeniden düşünmeyi sağlayan yaratıcı ve dönüştürücü bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. (Oyefeso, 2025) Yirminci yüzyılın ortalarından itibaren sanat ile moda arasındaki etkileşimler disipliner sınırları belirsizleştirmiş; güzel sanatlar ile moda tasarımcıları arasındaki iş birliklerinin artması, sanatın özellikle popüler kültürle ilişkisi bağlamında algılanışındaki değişimi yansıtmıştır (McCartney & Tynan, 2021). McCartney ve Tynan (2021), sanat ve tasarımın güç, gösteri ve bedensellik etrafında kesişen ortak kaygılarının yeni bir disiplinlerarası estetiğin ortaya çıkışına işaret edip etmediğini tartışmaktadır. (McCartney & Tynan, 2021). Benzer biçimde, ortak tasarım pratiklerinde sanatın moda için bir kaynak olarak kullanıldığı görülmekte; tasarımcıların birlikte yürüttüğü kapsül koleksiyon çalışmaları, tasarımda kullanılan öğeleri zenginleştirerek yeni ve özgün fikirlerin ortaya çıkmasına olanak tanımaktadır (Sari & Elibol, 2022).

"Estetik boyut, sürdürülebilir moda tartışmalarında ürünün ayrılmaz bir özelliği olarak konumlanmaktadır. Sürdürülebilirlik döngüsüne eklenen estetik boyut ürünle yakından ilişkilidir ve ürüne ait bir özelliktir; kültürel boyut ise daha geniş bir perspektiften, sistem düzeyinde ele alınmayı gerektirmektedir" (Çetiner, 2023, s. 345). Bu çerçevede sürdürülebilir moda tasarımının estetik ve kültürel yönü, tasarımcılar için fark yaratma ve özgünlük konularında fırsatlar sunmaktadır (Çetiner, 2023). Öte yandan moda tasarımı, endüstri ürünü, grafik ve medya gibi diğer tasarım alanlarıyla karşılaştırıldığında estetik kaygıların daha baskın olduğu, temel ihtiyaçlar ve insan hayatını kolaylaştırmak gibi kaygıların geri planda kaldığı bir alandır (Ayanoğlu & Ağaç, 2017). Bu durum, sürdürülebilirlik ilkelerinin moda tasarımında yalnızca teknik bir çerçeveyle sınırlı kalmayıp estetik değerle birlikte ele alınması

gerektiğini göstermektedir. Nitekim bir giysi ürününün alıcılar için çekici olabilmesi, yalnızca sürdürülebilir olmasına değil, aynı zamanda pratik ve estetik gereksinimleri karşılayabilmesine bağlıdır (Hîrțescu, 2024). Estetiğin bu merkezî konumu, Aakko'nun (2011) "bağlanma ve değer verme" (attachment and appreciation) olarak tanımladığı kategoriyle de ilişkilidir; söz konusu kategori, tasarım pratiğindeki duygusal boyutun ve bu bağlamda estetiğin önemini yansıtmaktadır (Aakko, 2011).

Sanatsal uygulamalar ile sürdürülebilir moda arasındaki ilişki, tüketim öncesi ve tüketim sonrası atıkların yeniden değerlendirilerek sanat ürünlerine yansıtılmasında somutlaşmaktadır (Akdemir & Korkmaz, 2021). Moda ve tekstil sektöründe üretim öncesi ve tüketim sonrası oluşan atıkların çeşitli yollarla geri kazanılarak tekrar kullanılması, atıkların çevre üzerindeki olumsuz etkisini en aza indirmeyi ve ürünlerin kullanım ömrünü artırmayı hedeflemekte; sürdürülebilirliğin bu sektörlere etkisi ve bunun sanat ürünlerine yansımaları örnekler üzerinden incelenmektedir (Akdemir & Korkmaz, 2021). Sanatçıların estetik bir bilinçle ortaya koydukları eserlerin izleyici üzerinde farkındalık yarattığı ve sürdürülebilirliğe katkı sağladığı vurgulanmakta; sektörde oluşan üretim ve tüketim atıklarının kullanımıyla üretilen sanat eserleri bu bağlamda değerlendirilmektedir (Akdemir & Korkmaz, 2021). Giyilebilir sanat (wearable art) kavramı, güzel sanatlar, moda ve tasarımı bir araya getiren bir ifade alanı olarak, yaratıcılığın ifade edilmesinin yanı sıra ekolojik bilincin geliştirilmesini de destekleyen bir araç hâline gelmiştir (Jaiswar & Naseem, 2026). Atılmış, ileri dönüştürülmüş (upcycled) ya da geri dönüştürülmüş malzemelerden yaratıcı giyilebilir formlar üreten çağdaş sanatçı ve tasarımcılar, malzeme kullanımını kökten biçimde yeniden yorumlamaktadır (Jaiswar & Naseem, 2026). Bu dönüşüm, "çöp sanatının giyilebilir sanata dönüşmesi" fikriyle simgeleşmekte; atılmış malzemeler ifade gücü yüksek ve düşündürücü eserlere dönüştürülmektedir (Jaiswar

& Naseem, 2026). Söz konusu yaklaşımın estetiğin ötesine geçerek ekolojik aktivizmin bir aracı hâline geldiği; inovasyon, etik ve kültürü birleştirerek modayı bilinçli bir pratiğe, sanatı ise sürdürülebilirliğin yaşayan bir temsilcisine dönüştürdüğü ileri sürülmektedir (Jaiswar & Naseem, 2026).

Sürdürülebilir modada estetik tek bir anlayışla sınırlı olmayıp, tasarım sürecinde farklı estetik kodlar bir arada etkili olmaktadır. Bu bağlamda, tasarım pratiğinin kendi içinden gelen malzeme ve ifadeye ilişkin estetik kodlar ile moda dergileri gibi medya mecralarının oluşturduğu estetizasyon çerçevesi arasında bir gerilim bulunmaktadır. Riisberg ve Folkmann (2015), sürdürülebilir moda için yeni tasarım ifadeleri geliştirme arayışını ise 'yeniyi arayan avangart bir estetik' anlayışına yaklaştırmaktadır (Riisberg & Folkmann, 2015). Sanatsal uygulamaların sürdürülebilir modaya katkısı, tasarımın yalnızca giysi nesnesine değil, deneysel ve değişim odaklı uygulamalara da yönelmesiyle belirginleşmektedir. Bu potansiyel, üniversite ortamında sanatçıların, sanat ve moda eğitimcilerinin ve öğrencilerin birlikte yürüttüğü, malzemelerin kullanım ömrünü uzatmaya yönelik iş birlikçi enstalasyon projelerinde somutlaşmaktadır. Anderson et al. (2020) tarafından aktarılan örnekte sanat, moda ve topluluk katılımının bir araya getirilmesi; yeniden kullanım, iş birlikçi öğrenme ve sürdürülebilirlik uygulamalarının eğitim sürecine dâhil edilmesine olanak sağlamıştır (Anderson et al., 2020).

Sonuç olarak, sanatsal uygulamalar sürdürülebilir moda tasarımının yalnızca teknik standartlara indirgenmesini engelleyerek ürüne estetik anlam ve duygusal değer kazandırmakta; sanatçı ve tasarımcıların iş birliği, hem disiplinler arası yeni estetik anlayışların gelişmesine hem de tüketim alışkanlıklarının sorgulanmasına zemin hazırlamaktadır. Bu nedenle estetik, sürdürülebilir moda tartışmasında sonradan eklenen bir unsur değil; tasarım sürecinin

merkezinde yer alan ve sürdürülebilirliğin anlamlı biçimde yaşama geçirilmesini sağlayan temel bir boyut olarak değerlendirilmelidir.

Yaratıcı Sürdürülebilirlik Yaklaşımları

Sürdürülebilirlik, moda tasarımında yalnızca üretim süreçleri ve tedarik zincirleri üzerinde gerçekleştirilen operasyonel iyileştirmeler olarak değil, tasarıma ve insanın dünyadaki rolüne ilişkin bakış açısının değişmesini gerektiren bir paradigma dönüşümü olarak ele alınmaktadır (Fletcher, 2014). Moda yaratıcılığı geleneksel olarak yenilik, estetik farklılık ve özgünlükle ilişkilendirilen, giysi nesnesine odaklı bir anlayışla tanımlanmakla birlikte; daha keşfedici ve deneysel moda etkinliğine odaklanan ikinci bir yaratıcılık anlayışı, değişim odaklı eylemlerin olanak alanını genişletmektedir (Robinson, 2010). Yaratıcı sürdürülebilirlik yaklaşımları tam da bu ikinci anlayışın olgunlaştığı alan olarak; sıfır atık kalıp tasarımı, ileri dönüşüm, yeniden tasarım ve çok işlevli giysi sistemleri (Hîrțescu, 2024) ile duygusal dayanıklılık (Fletcher, 2012; Niinimäki & Armstrong, 2013) gibi stratejileri bünyesinde barındırmaktadır. Bu stratejilerin ortak noktası, malzeme ve üretim süreçlerine ilişkin yerleşik kabulleri sorgulayarak sürdürülebilirlik ile estetik değeri aynı tasarım eyleminde buluşturmalarıdır; nitekim bir giysi ürününün alıcılar için çekici olabilmesi yalnızca sürdürülebilir olmasına değil, pratik ve estetik gereksinimleri birlikte karşılayabilmesine bağlıdır (Hîrțescu, 2024).

Yaratıcı sürdürülebilirlik yaklaşımlarının en bilinen karşılıklarından biri, atık oluşumunu daha tasarım aşamasında önlemeyi hedefleyen sıfır atık moda anlayışıdır (Rissanen & McQuillan, 2016). Sıfır atık ve sıfıra yakın atık kalıp yerleşimleri, yaratıcı kumaş manipülasyonu ve tasarım optimizasyonu yoluyla tekstil artıklarının katma değerli sürdürülebilir moda ürünlerine dönüştürülmesi; giysinin estetik çekiciliği, dayanıklılığı ve işlevsel performansından ödün vermeden gerçekleştirilebilmektedir (Sahoo

et al., 2026). Bu yaklaşım, sıfır atık kalıp tasarımının benimsenmesiyle moda endüstrisinin israf odaklı uygulamalarını azaltmayı olanaklı kılmakta; bu dönüşüm, tasarım ve üretim sürecinin bütününe yayılan, yaratıcılık ve sürdürülebilirlik kültürünü teşvik eden temel bir zihniyet değişimini gerektirmektedir (Hameed et al., 2023). Yenilikçi tasarım stratejileriyle kumaş israfını azaltmak ve üretim süreçlerinde geri dönüşümü teşvik etmek, sürdürülebilir moda yaklaşımının önemli bileşenleri arasında yer almaktadır (Batur, 2023). Kalıp tasarımında malzeme verimliliğinin gözetilmesi ve kumaş atığının tasarım aşamasında önlenmesi ise sıfır atık moda tasarımının temel ilkelerindendir (Rissanen & McQuillan, 2016).

Yaratıcı sürdürülebilirliğin bir diğer temel stratejisi olan ileri dönüşüm (upcycling), "atıkların daha yüksek değere sahip ürünlere veya malzemelere dönüştürülmesini içermekte" (Batur, 2023, s. 82); ileri dönüşüm, geri dönüşümden farklı olarak eski bir tekstil veya moda ürününü fiziksel ya da kimyasal işleme tabi tutmadan yaratıcı bir yaklaşımla yeniden değerlendirerek ona yeni bir işlev ve daha uzun bir kullanım ömrü kazandırmaktadır (Saatçıoğlu & Venkatraman, 2024). İkinci el, yıpranmış veya lekelenmiş giysi ve kumaşların yeniden biçimlendirme, süsleme ve baskı gibi tasarım ve zanaat teknikleriyle dönüştürülmesi, bu ürünlere yeni bir değer ve kullanım ömrü kazandırırken atık hâline gelmelerini de geciktirmektedir (Fletcher, 2014). İleri dönüşüm sürecinde yeniden tasarım (redesign) belirleyici bir aşama olarak öne çıkmakta; fikir geliştirme, yeniden yapılandırma ve uyumlandırma süreçlerini kapsamaktadır. Beden ve kalıp değişkenliğinden kaynaklanan sınırlılıklar ise zanaatkârlık, zaman, yenilik, köken, arzu ve anlatı gibi çeşitli tasarım yaklaşımlarıyla aşılabilmektedir (Paras & Curteza, 2018).

İleri dönüşüm, atık malzemeleri depolama ve yakma süreçlerinden uzaklaştırarak yeniden değer zincirine kazandırmakta; birincil hammadde ve enerji kullanımını azaltması sayesinde doğal

kaynakların ve ekolojik sistemlerin korunmasına katkı sağlamaktadır (Pandit et al., 2019). Bununla birlikte, tüketici sonrası tekstil atıklarında değer yaratabilmek için yüksek nitelikli çağdaş tasarım sonuçlarına ulaşmayı gerektirmekte; gelişigüzel süreçler yerine, kumaş manipülasyonu tekniklerinin yaratıcı potansiyelini harekete geçiren özgün yaklaşımlarla uygulanmaktadır (Burns, 2024). Sökme, kolaj, yabancılaştırma, aşılama, dokuma ve yırtma gibi ifade yöntemleri etrafında örgütlenen ileri dönüşüm tasarımı, atık denim kumaşı bile yeni biçim arayışlarının malzemesi hâline getirerek sürdürülebilir moda ürünlerinin tasarım değerini ve kullanım alanını genişletmektedir (Chen et al., 2021).

Yaratıcı sürdürülebilirlik yaklaşımlarının bir diğer önemli ekseni, ürünün kullanım ömrünü uzatmayı hedefleyen tasarım stratejileridir. Tek kullanıcılı ömürlerin uzatılması; işlevsel olarak dayanıklı malzemeler, trendlere bağlı kalmayan zamansız tasarım anlayışı ile bakım ve onarım hizmetleri aracılığıyla gerçekleştirilmekte, ürünlerin ilk yaşamlarında mümkün olduğunca uzun süre kullanımda kalması amaçlanmaktadır (Goldsworthy et al., 2018). Giysilerin sökülerek aşınmış parçaların değiştirilmesine olanak tanıyacak biçimde tasarlanması, tekstil atıklarının tasarım yoluyla ileri dönüştürülüp yeniden biçimlendirilmesi ve ürünlerin fiziksel dayanıklılığının yanı sıra tüketici ile ürün arasında duygusal bağ kurulmasına yönelik tasarım, giysinin yaşam döngüsünün kullanım aşamasında daha uzun süre aktif kalmasını sağlayan yaklaşımlar arasındadır (Claxton & Kent, 2020). Bu bağlamda duygusal dayanıklılık (emotional durability), ürün ile kullanıcı arasındaki duygusal bağlılığı güçlendirerek moda ürünlerinin kullanım ömrünü uzatmayı amaçlayan bir tasarım yaklaşımı olarak ele alınmaktadır (Niinimäki & Hassi, 2011). Duygusal dayanıklılık için geliştirilen tasarım temaları arasında “anlatı tasarımı”, “kişisel kimlik”, “değişkenlik ve modülerlik”, “bilinçli tasarım”, “samimiyet” ve “olumlu yaşlanma” yer almakta (Suh & Yoo, 2023);

giysilerin değişen bedene, güncel trendlere ve bireysel üsluba uyum sağlayabilmesi, uzun süreli kullanımdan doğan tatmini ve bakım isteğini artırarak duygusal bağlılığı güçlendirmektedir (Oxborrow & Claxton, 2016). Estetik tercihlerin ve maddi nesnelerin kişisel kimliğin ayrılmaz parçaları olduğu anlayışına dayanan bu model, modanın estetik çekiciliği ile çevresel sorumluluğu uzlaştırma olanağı sunmakta; pazarlama stratejilerinin yeniye tapınma kültüründen uzun süreli kullanım, anlatısal süreklilik ve birikmiş deneyim değerine doğru kaydığı bir tüketim anlayışını işaret etmektedir (Struminska et al., 2026).

Yaratıcı sürdürülebilirlik yaklaşımları, giysinin biçimsel ve işlevsel kullanım olanaklarını genişleten dönüştürülebilir ve modüler tasarım anlayışlarını da kapsamaktadır. Dönüştürülebilir giysiler; ters yüz etme, katlama ve bağlama gibi yöntemlerle farklı renk, biçim, uyum ve giysi türleri elde edilmesine olanak tanırken modüler tasarımlar, birbirinden ayrılabilen veya değiştirilebilen parçalar aracılığıyla farklı kullanım seçenekleri sunmaktadır (Koo et al., 2014). Benzer biçimde, tekstil artıklarını modüler aksesuarların üretiminde değerlendirmek (Sá, 2023) ve çıkarılabilir ya da değiştirilebilir bileşenlerden yararlanmak, giysilerin uyarlanabilirliğini ve kullanım ömrünü artıran sürdürülebilir tasarım yaklaşımları olarak gösterilmekte (Choudhry et al., 2026); kullanılmış denim giysilerin beden veya terzi mankeni üzerinde drapaj (*moulage*) yöntemiyle yeniden biçimlendirilmesi ise tekstil atıklarını azaltırken özgün giysiler oluşturmanın yaratıcı yollarından biri olarak sunulmaktadır (Pavlova & Atanasova, 2020). Bununla birlikte, bu tür döngüsel ve yaratıcı tasarım stratejilerinin ölçeklenme ve ticarileşme açısından önemli sınırlılıklarla karşılaştığı da görülmektedir. Tüketici sonrası atıklara dayanan ileri dönüşüm koleksiyonları, tüketicilerin ürünle yüksek duygusal bağ kurduğu durumlarda kalıp ve estetik beklentiler nedeniyle tasarımcılar için güçlük oluşturabilmekte; sökülebilir (disassembly)

tasarım gibi girişimler ise ürünü yaşam sonunda ayırıp yeniden kullanıma sokacak toplama altyapısının eksikliği nedeniyle ticari olarak sürdürülebilir olamamaktadır (Claxton & Kent, 2020).

Tüm bu yaklaşımlar, yaratıcı sürdürülebilirliğin yalnızca belirli tekniklerin uygulanmasından ibaret olmadığını; "tasarımcının sürdürülebilir sonuçlar yaratmak için geleneksel tasarım uygulamalarını sorgulamasını ve tüketiciye en iyi hizmet etmenin yollarını yeniden değerlendirmesini gerektiren bütüncül bir tasarım anlayışı olduğunu göstermektedir" (Batur, 2023, s. 87). Bu kapsamda tasarımcılar, malzeme seçiminde azaltma ilkesini benimseyerek doğal kaynaklardan daha verimli yararlanmakta ve böylece çevresel etkileri sınırlandırmaktadır. Yeniden kullanım ve geri dönüşüm uygulamalarıyla sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunmakta; yeni ürün geliştirme sürecinde ise yeniden düşünme ilkesinden hareketle özgün çözümler üretmektedirler. Tasarımcılar ayrıca ürünlerin onarılabilir olmasını bir tasarım ölçütü hâline getirerek kullanıcıların ürünü daha uzun süre kullanmasını desteklemektedir (Batur, 2023). Çevresel etkileri azaltmak için beş R stratejisinin uygulanmasını gerektiren bu çerçeve, moda endüstrisinde sürdürülebilir bir dönüşümün tasarım pratiği içinden örgütlenmesine olanak tanımaktadır (Batur, 2023). Sonuç olarak yaratıcı sürdürülebilirlik yaklaşımları; estetiği, işlevi ve çevresel sorumluluğu aynı tasarım eyleminde birleştirerek moda endüstrisinin israf odaklı mantığına karşı güçlü alternatifler sunmakta ve bölümün sonraki başlıklarında ele alınacak sanat ve zanaatla kesişen yaratıcı pratiklere de zemin hazırlamaktadır.

Zanaat ve Kültürel Sürdürülebilirlik

Geleneksel Zanaatların Yeniden Keşfi

Küresel moda endüstrisinin hız, yüksek hacimli üretim ve endüstriyel standardizasyon üzerine kurulu yapısı, geleneksel üretim pratikleri ile yerel bilgi ve becerilerin çeşitliliği ve özgünlüğü

üzerinde baskı oluşturmuştur (Brown & Vacca, 2022; Twigger Holroyd et al., 2017). Küreselleşme, modernleşme ve seri üretim, geleneksel zanaatların devamlılığı üzerinde baskı oluşturan etkenler arasında yer alırken, aynı süreçlerin yarattığı tekdüzelik ve özgünlük arayışı geleneksel zanaat ve uygulamalarına yönelik ilgiyi yeniden artırmaktadır (Twigger Holroyd et al., 2017). Hızlı moda modeline bir tepki olarak gelişen yavaş moda hareketi ise dokuma, nakış, örgü, keçeleştirme ve doğal boyama gibi geleneksel teknikleri çağdaş moda tasarımı ve üretimi içinde yeniden konumlandırmaktadır (Koutsou et al., 2025). Bu yeniden keşif, yalnızca estetik bir arayışın değil; çevresel kaygılar, kültürel aidiyet ve etik üretim talebinin kesişiminde şekillenen çok boyutlu bir dönüşümün parçasıdır (Goyal & Choudhury, 2024).

"Zanaat, sanat ve teknik bilginin birlikteliğiyle oluşan ve materyal bilgisinin üretim süreçleri içinde en doğru biçimde uygulanmasını gerektiren bir üretim pratiği olarak, kültürün en sağlam aktarıcıları arasında yer almakta; bu özelliğiyle sürdürülebilir moda tasarımcılarına açık ve yaratıcı bir yol sunmaktadır" (Çetiner, 2023, s. 349). Geleneksel zanaat pratiklerinin korunması, yalnızca tekniklerin sürdürülmesi anlamına gelmemekte; "bu süreçlerin içinde gömülü olan kültürel inançların ve sembolik anlamların da korunmasını ve yeniden üretilmesini gerektirmektedir" (Brown & Vacca, 2022, s. 590). Yere bağlı anlamlar ve zaman içinde gelişen bilgi, tutum ve pratiklerle birlikte ele alındığında, "geleneksel el sanatlarına ilişkin yerel bilgi kültürün sürdürülebilir bir deposu olarak değerlendirilebilir" (Brown & Vacca, 2022, s. 590). Bu çerçevede geleneksel tekniklerin ve kültürel dokuma malzemelerinin kullanımı, günümüz insanının hikâyesinin yeniden yazılmasına ve toplumsal değerlerin kuşaklar boyunca aktarılmasına katkı sunmaktadır (Yıldız & Mermerci, 2024). Nitekim moda tasarımında geleneğin yorumlanması, bölgesel ve ulusal aidiyet oluşturmanın bir yolu olarak da kullanılmakta

(Çetiner, 2023); “Anadolu gibi medeniyetler beşiği bir coğrafyada, henüz coğrafi işaret başvurusu yapılmamış binlerce sürdürülebilir moda ürünü ve üretim tekniği bulunmaktadır” (Çetiner, 2023, s. 362).

Geleneksel zanaatlara olan artan talep aynı zamanda önemli bir ekonomik boyut taşımakta; zanaat üretimi yerel ekonomik kalkınmaya, zanaatkârların gelir elde etmesine ve yerel topluluklara katma değer sağlanmasına katkıda bulunabilmektedir (Zbuchea, 2022). El dokuma tekniklerinin yeniden canlandırılması, doğal lif ve boyaların kullanımı sayesinde tekstil üretiminin çevresel etkisinin azaltılmasına katkı sağlamakta; üretimin merkeziyetsiz yapısı ise enerji yoğun makine ve taşımaya olan bağımlılığı azaltarak daha tasarruflu ve sürdürülebilir üretim anlayışıyla uyum göstermektedir (Goyal & Choudhury, 2024). Bunun ötesinde, kuşaklar boyunca önemli bir geçim kaynağı oluşturan geleneksel zanaatların yeniden canlandırılması; yerel zanaatkârların geçim olanaklarının desteklenmesi, adil ücret ve çalışma haklarının güçlendirilmesi ve kırsal bölgelerde yeni ekonomik fırsatların yaratılması açısından önem taşımaktadır (Goyal & Choudhury, 2024).

Türkiye’den bir örnek olarak, “Anadolu çeyiz kültürünün vazgeçilmezi olan el işçiliği yorganları ve yorgancılık zanaatını ele alan bir tasarım projesi, gelir gücü tehlike altındaki halk sanatını ve zanaat ustalarını desteklemek amacıyla kültürel mirası çağdaş bir el işi çanta koleksiyonunda canlandırmıştır” (Nas, 2022, s. 93). Geleneksel malzeme ve tekniklerle zanaatkârlar tarafından hazırlanan bu tasarımlarda “mavi, yeşil, sarı ve kırmızı saten ipek kumaş üzerine yonca yaprağı, yıldız ve gökkuşağı gibi yorgan motifleri kullanılmış; çantalar gerçek Türk yorganlarından kesitleri çağrıştıracak biçimde kurgulanmıştır” (Nas, 2022, s. 93).

Zanaatların yeniden keşfi sürecinde tasarımcı ile zanaatkâr arasındaki iş birliği belirleyici bir rol oynamaktadır (Brown & Vacca, 2022). Kore’nin geleneksel tekstil pratiği nubi örneğinde, tasarım

odaklı bir yaklaşımla geleneksel zanaat bilgisinin çözümlenerek çağdaş bağlamda yeniden ele alındığı; bu sürecin zanaat kültürünü yeniden düşünme, zanaatın köklerini çözümleme ve gelecekteki gelişimini etkileme potansiyeli taşıdığı gösterilmiştir (Ma, 2024). Benzer biçimde, nakış zanaatının canlandırılması üzerine yürütülen ve 2004–2024 yılları arasında yayımlanan 4.379 çalışmayı inceleyen sistematik bir derleme, çağdaş yöntemlerin geleneksel tekniklerle bütünleştirilmesinin ve uygulama odaklı araştırmaların önemine işaret etmektedir (Singh & Singh, 2025). Bu noktada tasarımın, geleneksel zanaatı yenilikçi süreçlerle desteklerken zanaatın içsel kodlarını koruyan bir aracı rolü üstlenmesi gerekmekte; böylece kültürel ödünç alma pratiklerinden uzaklaşılarak kültürel sürdürülebilirlik temelinde bir model geliştirilebilmektedir (Brown & Vacca, 2022).

Öte yandan, zanaatların yeniden keşfinin önünde ekonomik ve zamansal engeller bulunmaktadır. Geleneksel tekniklerin uygulanması, hızlı moda döngülerine kıyasla önemli ölçüde zaman ve emek gerektirmekte, bu da üretim maliyetlerini yükseltmektedir; dolayısıyla söz konusu teknikler moda endüstrisinin hâkim ekonomik büyüme modeliyle çelişmekte ve alternatif bir ekonomik modele dayanan bütünleşme stratejilerine ihtiyaç duymaktadır (Koutsou et al., 2025). Buna karşın elde üretim; dayanıklılığı, özgünlüğü ve bölgeselliği bir kimlik meselesi olarak değerlendiren, daha az ama daha anlamlı tüketmeyi tercih eden tüketici gruplarında karşılık bulmaktadır (Araújo et al., 2022). Zanaata yeniden dönüş, bir anlamda kafa ile el arasındaki bağın yeniden kurulmasını ve çalışmanın araçsal sonucundan ziyade, işin iyi ve doğru biçimde yapılmasına değer veren bir üretim anlayışını da beraberinde getirmektedir (Pucci et al., 2022). Zanaatkârlığın yeniden değerlenişi, tüketicilerin kişiselleştirme ve münhasırlığa yönelik artan arzusuyla da güçlenmekte; bu talep, benzersizlik ve bireysellik

sunabilen geleneksel iş ve tekniklere ilgiyi yeniden yöneltmektedir (Denaro & Pruiti, 2024).

Kültürel Miras ve Kimlik

Kültürel miras ile kimlik arasındaki ilişki, sürdürülebilir moda tasarımının çevresel ve teknik uygulamaların ötesinde kültürel süreklilik, toplumsal aidiyet ve geleneksel bilginin korunması gibi boyutları da içerdiğini göstermektedir (Sadhna et al., 2025). "Somut olmayan kültürel miras; gelenekler, görenekler, kültürel değerler ve sanat gibi toplumsal kimliğin şekillenmesinde önemli rol oynayan ve toplumun belleğini yansıtan unsurları kapsayan bir gösterge olarak ele alınmaktadır" (Bayburtlu, 2023, s. 1). Bu nedenle kültürel mirasın sürdürülebilirliği, söz konusu değerlerin gelecek kuşaklar tarafından anlaşılması, benimsenmesi, geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması açısından belirleyicidir (Bayburtlu, 2023). Yerel kültürel mirasın değerinin korunması ve geliştirilmesi, kültürel kimlik ve mirasın kaybının önlenmesine katkı sağlayan bir unsur olarak görülmektedir. Bu süreçte miras eğitimi, mirasın yerel değeri, kültürel katılım ve kültürel kimlik birbiriyle ilişkili boyutlar olarak öne çıkmaktadır (Yan & Li, 2023). Giysilerin kültürel belleğin ve toplumsal kimliğin korunması ile aktarılmasında görünür bir araç olarak işlev görmesi, moda tasarımını kültürel mirasın sürdürülmesi ve kültürel sürdürülebilirliğin desteklenmesi açısından önemli bir alan hâline getirmektedir (Sadhna et al., 2025).

Bu çerçevede "sürdürülebilir moda tasarım süreci, bölgenin kültürel ve kimlik kodlarını kullanarak yaratıcı bir dil sunmakta" ve bu dil, tasarımcıların öncülüğünde sürdürülebilir modanın tanınırlığının artırılmasının en etkili yollarından biri olarak değerlendirilmektedir (Çetiner, 2023, s. 349). Kimlik kodlarının tasarım diline dönüşmesi, yalnızca görsel bir aktarım değil; kültürün farklı katmanlarının birlikte çalıştığı çok katmanlı bir yorumlama sürecidir. Núñez Barranco ve Song'un geleneksel kültürün çağdaş

moda tasarımı üzerindeki etkisini kavramsallaştıran çalışması, bu süreci somut olmayan, davranışsal ve somut olmak üzere üç düzeyde ele almaktadır (Núñez Barranco & Song, 2025). Somut olmayan düzeyde duygular, semboller ve anlatılar kültürel değer ve hikâyeleri taşıyarak mirasın korunmasına ve yenilenmesine olanak tanırken; davranışsal düzey kültürel kimliği, yaşam biçimlerini, zanaatkârlığı ve kullanım pratiklerini yansıtmakta; somut düzey ise renk, siluet, tekstil ve süsleme aracılığıyla kültürel anlamı ifade etmektedir (Núñez Barranco & Song, 2025). Bu yaklaşımda moda, geleneğin çağdaş değerler, toplumsal davranışlar ve çevresel sorunlarla ilişkili olarak dinamik biçimde yeniden yorumlandığı yaşayan bir kültürel sistem olarak kavranmaktadır. Kültürel kimlik ise geleneksel mirasın çağdaş yaşam biçimleri ve yenilikle ilişkilendirilmesinde önemli bir bağlayıcı unsur olarak öne çıkmaktadır (Núñez Barranco & Song, 2025).

Moda tasarımında kimliğin inşası, görsel ve biçimsel unsurların yanı sıra kolektif bellek ve yerel kültürel değerlerle de ilişkilidir. Geleneksel tekstiller; zanaat değeri, kolektif bellek üretimi, toplumsal sorumluluk ve kuşaklar arası eşitlik bağlamlarında bir bölgenin yerel kimliğine katkıda bulunan malzemeler olarak değerlendirilmektedir (Kipöz & Himam, 2014). Benzer biçimde, "kültürel özelliklerin özgün tasarım kalıplarına dönüşmesi halk sanatı ürünlerine kimlik kazandırmakta ve geleneğin geleceğe aktarımı olarak da kabul edilebilecek bu davranış biçimi, geçmiş, güncel ve gelecek ilişkisi ekseninde kültürel öğelerin sürdürülebilirliğini denetleyen canlı bir mekanizma olarak işlemektedir" (Nas, 2022, s. 87). Bu mekanizmanın tasarım pratiğindeki karşılıklarından biri, geleneksel kıyafetlerde yer alan form, desen ve süsleme öğelerinin tanıtılması, korunması ve geleceğe taşınması amacıyla koleksiyonlar hazırlayan tasarımcıların çalışmalarında görülmektedir. Geleneksel kimlikten beslenen bu koleksiyonlar, toplumların kendine özgü sanat, tasarım ve uygulama

anlayışlarının güncel moda dilinde sürdürülmesine örnek oluşturmaktadır (Yıldız & Mermerci, 2024).

Kimlik temelli tasarımın en kritik sınırlarından biri, kültürel öğelerin bağlamından koparılarak yüzeysel biçimde kullanılma riskidir. Brown ve Vacca (2022), moda sisteminde kültürel sürdürülebilirliğin kültürel temellük pratiklerinden uzaklaşmayı gerektirdiğini; geleneksel zanaat üzerinden geliştirdikleri yorumlayıcı modelin ise tasarımın, zanaatın içerdiği kültürel kodları korurken yenilikçi süreçleri destekleyen ve geleneksel bilgi ile uygulamaların sürekliliğine katkıda bulunan bir rol üstlenmesini önerdiğini belirtmektedir (Brown & Vacca, 2022). Bu kaygıyı yapıcı bir çerçeveye taşıyan yaklaşımlardan biri, geleneksel kültürel malzemelerin birlikte tasarım (co–design) etkinlikleri aracılığıyla moda tasarımına aktarılmasını öneren modeldir. Nguyen Hanedanlığı dönemine (1802–1945) ait soylu kadın giysisi Nhat Binh örneğinde geliştirilen bu model, tasarımcı, zanaatkâr ve tüketici arasındaki yakın iş birliğini temel almakta; geleneksel kültürel değerlerin korunmasını desteklerken tüketicilerin ürünle sahiplik ve duygusal bağ geliştirmesine de olanak sağlayabilecek bir yaklaşım sunmaktadır (Le et al., 2024). Böylelikle kimlik, yalnızca geçmişten devralınan bir veri olmaktan çıkarak tasarım sürecinin tüm paydaşlarını kapsayan ortak bir üretim zemini hâline gelmektedir.

Kimlik ve kültürel mirasın sürdürülebilir moda tasarımıyla ilişkilendirildiği somut örneklerden biri, Ormana Gılamıklı dokuma kumaşlarının sıfır atık tasarım yaklaşımıyla yeniden değerlendirildiği çalışmadır. Bölgenin tarihini, coğrafyasını ve toplumsal değerlerini yansıtan kültürel miras unsurlarını taşıyan bu kumaşlar, ev tekstili amacıyla farklı renk ve boyutlarda üretilen dokumaların bir üst giyim koleksiyonuna dönüştürülmesi yoluyla değerlendirilmiş; yazarın 5–15 Haziran 2023 tarihleri arasında gerçekleştirdiği sergiden seçilen altı ürün çalışmanın örneklemini oluşturmuştur (Bayburtlu, 2023). Çalışma, kültürel mirası koruma ve

yerel üreticileri destekleme amacını özellikle kadın giyimine yönelik güncel tasarım önerileriyle birleştirerek kimlik temelli sürdürülebilir tasarımın uygulanabilir bir örneğini sunmaktadır (Bayburtlu, 2023).

Özetle kültürel miras, moda tasarımında yalnızca bir ilham kaynağı olarak değil; kimliğin görünürlük kazandığı, mirasın güncel değerlerle yeniden yorumlanarak geleceğe taşındığı bir anlam sistemi olarak işlev görmektedir. Kimlik kodlarıyla kurulan bu ilişki, tasarımcıların sürdürülebilir modayı yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda kültürel bir sorumluluk olarak üstlenmelerini gerektirmekte ve bir sonraki başlıkta ele alınan yerel üretim pratiklerinin kavramsal zeminini hazırlamaktadır.

Yerel Üretim Pratikleri

Moda endüstrisi, karbon emisyonları, yüksek su tüketimi ve atık oluşumu gibi çevresel sorunların yanı sıra, üretimin düşük işgücü maliyetlerine ve güvensiz çalışma koşullarına sahip ülkelerdeki dış kaynaklı birimlere kaydırılması sonucunda ortaya çıkan emek sömürüsü gibi toplumsal sorunlarla da karşı karşıyadır (Abbate et al., 2024). Buna karşılık, sürdürülebilir moda kapsamında yerel üretim; yerel kaynakların kullanılması, giysilerin yerel ve küçük ölçekli tasarımcılar ile zanaatkârlar tarafından üretilmesi ve tedarikçi, üretici ve tüketici arasındaki mesafelerin kısaltılmasıyla karakterize edilen, giysiye sürdürülebilir nitelik kazandıran beş temel üretim yaklaşımından biri olarak değerlendirilmektedir (Schiaroli et al., 2025). Yerel üretim; sınırlı hacimler ve geleneksel üretim biçimleriyle ilişkilendirilmesinin yanı sıra yerel kimliğin korunmasına da katkı sağlar; ulaşım ve lojistik kaynaklı çevresel etkileri azaltırken yerel ekonominin gelişimini ve toplumsal refahı destekler (Schiaroli et al., 2025).

Yerel üretim pratiklerinin sürdürülebilirlik açısından değeri ekonomik, toplumsal ve ekolojik olmak üzere üç boyut üzerinden ele alınabilir (Koutsou et al., 2025). Ekonomik boyutta yerel üretim,

yerel ekonomileri ve istihdamı desteklemekte (Koutsou et al., 2025) ve el emeğine dayalı üretim, tüketicilerin ürünü zanaatkârın emeğini ve sevgisini taşıyan bir nesne olarak algılamasını sağlayarak ürünün çekiciliğini ve algılanan değerini artırmaktadır (Fuchs et al., 2015). Bunun yanı sıra yerel üretimin desteklenmesi, bölgesel ekonomik büyümeye ve istihdamın artırılmasına katkı sağlamaktadır (Sirilertsuwan et al., 2018). Yakın üretim (proximity manufacturing) uygulamaları; pazara çıkış süresinin kısaltılması, hızlı yanıt kapasitesinin artırılması ve ürün kalitesinin geliştirilmesi gibi işletme avantajlarının yanı sıra üçlü alt çizgi (triple bottom line) bağlamında sürdürülebilirliği güçlendirme potansiyeli taşımaktadır (Sirilertsuwan et al., 2018). Öte yandan, geçmişte üretim faaliyetlerini işgücü maliyetlerinin düşük olduğu ülkelere kaydıran bazı Batılı moda şirketleri; uzak ülkelerde gerçekleştirilen üretimin yol açtığı yüksek kalite kontrol maliyetleri, hatalı ürünlerin değiştirilmesinde yaşanan gecikmeler ve yüksek taşıma maliyetleri nedeniyle üretimi ana ülkeye geri taşıma (backshoring) eğilimi göstermektedir. (Macchion et al., 2015). Bu pratikler, yerel üretimin yalnızca kültürel bir tercih değil, aynı zamanda rasyonel bir tedarik zinciri stratejisi olarak yeniden değerlendirildiğini göstermektedir.

Yerel üretimin kültürel sürdürülebilirlikle kurduğu ilişki, bu bölümün temel argümanını oluşturur. Yer ile bağlantılı anlamlar taşıyan geleneksel el sanatlarına ilişkin yerel bilgi, kültürün sürdürülebilir bir deposu olarak değerlendirilmekte; bu bilginin moda tasarımında değerlendirilmesi, maddi kültürün korunmasına ve yeniden üretilmesine olanak tanımaktadır (Brown & Vacca, 2022). Nitekim "yavaş moda bağlamında yerel üretim olanaklarının araştırılması ve tasarımcılara öneriler sunan zanaat atölyelerinin devamlılığının sağlanması, moda tasarımında sürdürülebilirlik açısından önemli görülmekte; yerel hammaddelerden üretilen, tasarım yönü yüksek ürünlerin potansiyeli sürdürülebilirlik eğitiminin bir parçası olarak ele alınmaktadır" (Odabaşı & Şahin,

2019, s. 20). “Endüstriyel üretim öncesi dönemde yerel ve emek yoğun üretim biçimlerinde benimsenen sürdürülebilir yöntemlerde hem üreticinin hem de tüketicinin ürünle bir bağ kurduğu, ürünlerin nesilden nesile aktarılan bir miras olarak değer gördüğü gözlemlenmektedir” (Kurtuldu & Öğüt, 2023, s. 116).

Yerel üretim pratiklerinin güncel örnekleri, bu yaklaşımın hem olanaklarını hem de karşılaştığı güçlükleri sergilemektedir. Norveç’te dört moda firması üzerine yürütülen bir araştırma, yerel tedarik zincirlerinin teslim sürelerini kısalttığını, gümrük ve aracı kaynaklı maliyetleri düşürdüğünü ve ulaşım koordinasyonunu kolaylaştırdığını ortaya koymuş; ancak ülkede kalan üretim tesislerinin azlığı ve istenen kalitede yerel yün arzının yetersizliği nedeniyle hiçbir firmanın tamamen yerel bir tedarik zinciri kuramadığı belirtilmiştir (Dybdahl, 2019). Benzer şekilde, yerel ve sürdürülebilir üretimi belirli coğrafi sınırlar içinde örgütleyen Fibershed gibi girişimler, eko–yerelcilik (eco–localism) perspektifiyle tedarik zinciri faaliyetlerinin yerel çevre, emek ve ekonomi üzerindeki etkisine odaklanan alternatif modeller olarak incelenmekte; bu modellerin başarısı yerel yönetim, politika yapıcılar ve tüketicilerin ortak çabalarına bağlanmaktadır (Swamy et al., 2024).

Türkiye bağlamında, Anadolu’nun güçlü tekstil altyapısı yerel üretim pratikleri için önemli bir zemin sunmaktadır. Coğrafi işaret tescili veya başvurusuna sahip “81 adet tekstil ve moda ürününün; doğa dostu yöntemler, yerel işgücü, geleneksel üretim yöntemleri, kadın istihdamı ve kültürel değerlerin yaşatılması gibi sürdürülebilir modanın ilkelerinden en az birkaçını karşıladığı, dolayısıyla bu ürünlerin bölgesel markalama yoluyla sürdürülebilir moda pazarlamasına uygun aday değerler olduğu vurgulanmaktadır” (Çetiner, 2023, s. 361). Bununla birlikte, yerel üretim pratikleri çeşitli yapısal sorunlarla karşı karşıyadır. Erzurum’a özgü ehram dokumacılığı üzerine yapılan bir çalışma; tanıtım yetersizliği, ürün

çeşitliliğinin sınırlılığı, hammadde teminindeki güçlükler, yeni çırakların yetiştirilememesi ve pazarlama sorunlarını geleneksel üretimin sürdürülebilirliğini tehdit eden başlıca engeller olarak sıralamaktadır (Çavuş & Kırmacı, 2025). Aynı çalışma, geleneğin korunması ve yerel topluluğa sosyal ve ekonomik fayda sağlanması için farkındalığın artırılması, üretim tekniklerinin gelecek kuşaklara aktarılması amacıyla çırak yetiştirilmesi ve kamu desteğinin güçlendirilmesi gerektiğini; paydaşlar arası iş birliğini ise kritik önemde görmektedir (Çavuş & Kırmacı, 2025). Ormana Gılamıklı dokuma kumaşları örneğinde olduğu gibi, yerel dokumaların güncel tasarım önerileriyle kadın giyiminde değerlendirilmesi, kültürel mirasın korunması ve yerel üreticilerin desteklenmesi yönünde somut bir uygulama alanı sunmaktadır (Bayburtlu, 2023).

Son olarak, yerel üretim pratiklerinin sürdürülebilirlik potansiyelinin sınırlarına da dikkat çekmek gerekir. Geleneksel tekniklerin çağdaş moda tasarımı ve üretimine entegrasyonu sürdürülebilirlikle ilişkilendirilse de bu teknikler, hızlı moda döngülerine kıyasla önemli ölçüde zaman yatırımı gerektirmekte ve dolayısıyla daha yüksek üretim maliyetlerine yol açmaktadır (Koutsou et al., 2025). Bu durum, geleneksel tekniklere dayalı üretimin moda endüstrisinde hâkim olan ekonomik gelişme modeliyle çeliştiğine işaret etmektedir. Bu nedenle söz konusu pratiklerin alternatif bir ekonomik model çerçevesinde moda endüstrisine entegre edilmesi gerektiği savunulmaktadır (Koutsou et al., 2025). Yerli üretilen giysilere ayrıcalık tanıyan kamu politikalarının ekonomi ve istihdamı yönlendirme, yerel giyim bilgisini ve çevreyi koruma potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda (Sirilertsuwan et al., 2018), yerel üretim pratikleri, yalnızca geçmişin korunması değil, sürdürülebilir moda tasarımının geleceğine yön veren bir strateji olarak değerlendirilmelidir.

Döngüsel Moda Tasarımı

Döngüsel Ekonomi İlkeleri

Döngüsel ekonomi düşüncesinin kökenleri, doğrusal kaynak akışının karşısına döngüsel bir modeli yerleştiren Kenneth Boulding'in 1966 tarihli çalışmasına kadar uzanmaktadır. Boulding'in "uzay gemisi ekonomisi" yaklaşımı, sınırlı kaynakların yeniden kullanılmasını ve geri dönüştürülmesini sürdürülebilir yaşam destek sistemlerinin ön koşulu olarak değerlendirmektedir (Weerakoon et al., 2023). Kavram, 20. yüzyılın sonlarında azaltma (reduce), yeniden kullanma (reuse) ve geri dönüşüm (recycle) ilkelerinden oluşan 3R modeliyle ifade edilmiştir (Weerakoon et al., 2023). Ancak günümüzde döngüsel ekonomi, yalnızca atık yönetimine odaklanan dar bir çerçevenin ötesinde; ürünlerin, malzemelerin ve kaynakların değerinin mümkün olduğu kadar uzun süre korunduğu ve atık oluşumunun en aza indirildiği bütüncül bir ekonomi modeli olarak tanımlanmaktadır (Yetmen, 2022). Bu model, "sürdürülebilir tasarım stratejileri, sıfır atığa dayalı tasarım, ürün ömrünün uzatılması, kaynak yenileme ile tamir ve yeniden üretim servislerini içeren stratejileri benimsemektedir" (Atalay Onur, 2020b, s. 26). Başka bir deyişle, İkinci Bölüm 'de sürdürülebilirlik stratejileri ağırlıklı olarak tasarım kararları düzeyinde ele alınırken döngüsel ekonomi sistem düzeyinde bir dönüşüm önermektedir. Döngüsel ekonomi, doğrusal "al–üret–at" (take–make–dispose) modelinin yerini alacak; ekonomik ve toplumsal büyümeyi malzeme tüketiminden ayrıştırarak gezegen sınırları içinde kalmayı mümkün kılacak, onarıcı (restorative) ve yenileyici (regenerative) sistem temelli bir model olarak kavramsallaştırılmaktadır (Barrie et al., 2017).

Moda bağlamında bu yaklaşım, döngüsel ekonomi ilkelerinin sektöre uyarlanmış biçimi olan "döngüsel moda" (circular fashion) kavramı etrafında örgütlenmekte ve ürünün üretim, dağıtım ve

tüketimine ilişkin her türlü faaliyeti kapsamaktadır (Jimenez–Fernandez et al., 2023). Ellen MacArthur Vakfının *A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future* başlıklı raporunda ortaya konan döngüsel moda vizyonu; giysi, kumaş ve liflerin kullanım süresince en yüksek değerlerinde tutulmasını, kullanım sonrasında yeniden ekonomiye kazandırılmasını ve hiçbir zaman atığa dönüşmemesini öngörmektedir (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Bu çerçevede, kaynakların bertaraf edilmekten kurtarılarak üretim veya tüketim süreçlerine yeniden dâhil edilmesi, döngüsel ekonominin dört temel ilkesiyle açıklanmaktadır: "ürünlerin dayanıklı ve uzun ömürlü olacak biçimde tasarlanmasını ifade eden ürün ömrünün uzatılması; üründeki katma değerin tamamının korunmasına dayanan yeniden kullanım"; ürünün kullanım ömrü sonunda buna uygun bir garantiyle yeniye yakın bir duruma veya daha iyi bir performans düzeyine getirilmesini ifade eden yeniden üretim (*remanufacturing*); ve kullanılmış malzemelerin yeniden kullanıma uygun hâle getirilmesi amacıyla işlenmesini kapsayan geri dönüşüm (Colucci & Vecchi, 2021). Söz konusu dört ilkenin ortak paydası, atığın nihai bir sistem çıktısı olmaktan çıkarılarak yeni üretim ve kullanım döngülerine girdi sağlayan bir kaynak olarak yeniden konumlandırılmasıdır. Bu doğrultuda döngüsel ekonomi, malzemelerin döngüselliğine ve geri dönüşümüne odaklanarak malzeme kaynaklarının sürdürülebilir biçimde kullanılmasını ve atık miktarının azaltılmasını hedeflemektedir (Batur, 2023).

Döngüsel ekonomi ilkelerinin uygulamaya aktarılması, literatürde farklı "R" çerçeveleri aracılığıyla sistematikleştirilmiştir. Azaltma, yeniden kullanma ve geri dönüşümden oluşan 3R çerçevesi en yaygın yaklaşım olmakla birlikte, günümüzdeki sürdürülemez kirlilik düzeyi karşısında 9R çerçevesine kıyasla çevresel açıdan daha sınırlı bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Jimenez–Fernandez et al. (2023), Potting et al.'ye dayanarak ele aldıkları 9R çerçevesini; azaltma, onarma, yeniden kullanma, yenileme

(refurbish), geri dönüşüm, enerji geri kazanımı (recover), yeniden düşünme, tasarım yoluyla onarıcı ve yenileyici olma ile yeniden tasarım (redesign) ilkelerinden oluşan daha kapsamlı ve çevre dostu bir uygulama modeli olarak sunmaktadır (Jimenez–Fernandez et al., 2023). Bu doğrultuda Bag et al. (2021), döngüsel ekonomi yaklaşımını; reddetme (refuse), yeniden düşünme (rethink), azaltma (reduce), yeniden kullanma (reuse), onarma (repair), yenileme (refurbish), yeniden imal etme (remanufacture), farklı bir amaçla yeniden kullanma (repurpose), geri dönüştürme (recycle) ve geri kazanma (recover) süreçlerinden oluşan 10R modeliyle ele almıştır (Bag et al., 2021). R çerçevelerindeki bu genişleme, önceki bölümde ele alınan reddetmek, azaltmak, tekrar kullanmak, yeniden amaçlamak ve geri dönüştürmek ilkelerinden oluşan 5R modelinin ötesine geçmektedir (Batur, 2023). Daha kapsamlı R çerçeveleri, malzemelerin etkin biçimde kullanılması ve yeniden dolaşıma sokulması yoluyla değerlerinin en üst düzeye çıkarılmasını, atıkların ve çevresel zararın ise en aza indirilmesini amaçlayan bir stratejiler bütünü sunmaktadır (Jimenez–Fernandez et al., 2023). Bu stratejilerin genel çerçevesini Ellen MacArthur Vakfı'nın üç temel ilkesi oluşturmaktadır: "atık ve kirliliği tasarım yoluyla ortadan kaldırmak, ürün ve malzemeleri dolaşımda tutmak ve doğal sistemleri yenilemek" (Claxton & Kent, 2020, s. 2). Bu ilkelerin tasarım sürecine dâhil edilmesinin önemi, moda endüstrisinde kullanılan hammaddelerin %1'den azının kapalı döngü süreçleriyle tamamen geri dönüştürülebildiği dikkate alındığında daha açık biçimde ortaya çıkmaktadır (Claxton & Kent, 2020).

Döngüsel ekonomi ilkeleri, işletmelerin kâr elde etme biçimlerini de etkilediğinden, döngüselliğe geçiş çoğu zaman mevcut iş modellerinin uyarlanmasını veya yeni iş modellerinin geliştirilmesini gerektirmektedir (Colucci & Vecchi, 2021). Döngüsel iş modeli, kullanım sonrasında ürünlerde korunan ekonomik değerin yeni sunumların üretilmesinde

değerlendirilmesine dayanan bir değer yaratma mantığı olarak tanımlanmaktadır (Linder & Williander, 2017). Bu doğrultuda, moda sektöründe planlı eskime yaklaşımının yerine "tasarımla hedeflenen uzun ömürlülük" (*longevity by intention*) düşüncesinin işletmeler arasında giderek önem kazandığı belirtilmektedir (Colucci & Vecchi, 2021).

Uygulama düzeyinde bu dönüşüm, tüketicilerin kullanılmış ürünlerini ikinci el satış, geri dönüşüm veya yenileme amacıyla işletmelere iade etmelerini teşvik eden geri alma programları (take–back), ürünün mülkiyetinin sağlayıcıda kaldığı ve tüketicinin yalnızca kullanım için ödeme yaptığı kiralama temelli ürün–hizmet sistemleri (product–as–a–service) ile onarım ve yeniden satış hizmetleri aracılığıyla somutlaşmaktadır. Özellikle ürün–hizmet sistemlerinin daha düşük çevresel etki, artan rekabet gücü ve kullanıcı açısından yaratılan değerin yükselmesiyle ilişkilendirildiği belirtilmektedir (Abdelmeguid et al., 2024). Sonuç olarak döngüsel ekonomi, doğrusal moda sisteminin kısa ömürlü üretim ve tüketim döngüleri yerine, ürün ve malzemelerin değerini mümkün olduğunca uzun süre koruyan kapalı döngülü bir yapı kurmayı amaçlamaktadır (Atalay Onur, 2020a). Bu ilkeler, izleyen başlıklarda sırasıyla ele alınacak malzeme seçimi ve yeniden kullanım stratejilerinin (5.2) ve tasarımda yaşam döngüsü yaklaşımının (5.3) kavramsal zeminini hazırlamaktadır.

Malzeme Seçimi ve Yeniden Kullanım

Döngüsel moda tasarımında malzeme seçimi, tasarım aşamasında alınan ve giysinin bütün yaşam döngüsünü etkileyen stratejik kararlardan biridir (Abdelmeguid et al., 2024). "Bir ürünün üretiminde kullanılan tüm malzemeler onun çevresel etkisini belirlediğinden, sürdürülebilir lif, kumaş ve bileşenlerin seçimi, ürün yaşam döngüsünün malzeme aşamasındaki çevresel yükün azaltılmasına yardımcı olmaktadır" (Claxton & Kent, 2020, s. 6).

Moda ve tekstil endüstrisinde bir ürünün dayanıklılığını, kullanım ve aşınma sürelerini, yeniden kullanıma uygunluğunu ya da ömrünü tamamladığında geri dönüştürülebilir olup olmadığını belirleyen en önemli etkenlerden biri materyaldir. "Tekstil materyalinin ham maddesi olan lif; tarımsal üretimden endüstriyel üretime ve tasarım alanından insan, çevre ve hayvan sağlığına kadar uzanan geniş bir etki alanına sahiptir" (Şevkay & Bayburtlu, 2020, ss. 153–154). Nitekim liflerin üretim ve kullanım süreçleri; pestisit ve su kullanımı, fosil kaynaklara bağımlılık, toksik salımlar ve mikroplastik oluşumu üzerinden çevre, ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde farklı etkilere yol açabilmektedir (Sandin et al., 2019). Bu nedenle malzeme seçimi, yalnızca teknik bir tasarım girdisi değil; su ve kimyasal kullanımından üretimde istihdam edilen insanlara ve tedarik zincirine uzanan kaynak yönetimi sorununun da merkezinde yer alır (Claxton & Kent, 2020).

"Malzeme seçiminde sürdürülebilirlik kriterleri karar sürecinin temelini oluşturmalı; alternatif liflerin kullanımı teşvik edilmelidir" (Batur, 2023, s. 89). Bununla birlikte, her lifin kendine özgü avantajları ve sınırlılıkları bulunduğundan, malzeme seçimi bilimsel yöntemlere ve kapsamlı analizlere dayandırılmalıdır (Batur, 2023). "Giyimde ilkçağlardan itibaren yün, keten, pamuk ve ipek gibi doğal lifler kullanılmış, kimya endüstrisindeki gelişmelerle birlikte polyester, akrilik ve poliamid gibi sentetik lifler yaygınlaşmıştır; günümüzde en yaygın kullanılan iki lif ise doğal liflerden pamuk ile mukavemet artırma amacıyla kullanılan sentetik liflerden polyesterdir" (Şevkay & Bayburtlu, 2020, s. 154). Günümüzde küresel lif üretiminde polyester %59'luk payla ilk sırada yer almaktadır (Väänänen–Lauterbach et al., 2026). Bununla birlikte, bir lifin doğal kaynaklı olması tek başına sürdürülebilir olduğu anlamına gelmemektedir (Mazzitelli et al., 2024). Geleneksel pamuk üretiminde kullanılan yüksek miktardaki pestisit ve gübre; toprak verimliliğinin azalması, biyoçeşitlilik kaybı, su kirliliği ve

insan sağlığı üzerinde ortaya çıkan olumsuz etkilerle ilişkilidir. Pamuk tarımında uygulanan yoğun sulama ise su dengesini ve suya erişimi olumsuz etkileyebilmektedir (Fletcher, 2014). Farklı tekstil liflerinin üretim süreçlerinde ortaya çıkan çevresel etkilerin bilinmesi, tasarımcıların ve tüketicilerin malzeme tercihleri konusunda bilinçlenmesine katkı sağlamaktadır (Gürcüm & Yüksel, 2011). Bu bağlamda malzeme seçimi faaliyetinin, tekstil kullanımı ve yeniden dolaşıma girmesine ilişkin tasarım stratejileriyle birlikte ele alınması, moda tasarımı pratiğinde malzeme bilincinin güçlendirilmesi açısından önem taşımaktadır (Mazzitelli et al., 2024).

Döngüsel moda tasarımında lif karışımları, tekstil geri dönüşümünün gelişimini sınırlayan başlıca malzeme sorunlarından biridir (Sahimaa et al., 2024). Sahimaa et al. (2024), tekstil geri dönüşümünün yaygınlaşmasının önündeki en önemli zorluklardan birini, ayrıştırılamayan pamuk–sentetik lif karışımları ile diğer kompozit malzemelerin yarattığı geri kazanım güçlüğü olarak tanımlamaktadır (Sahimaa et al., 2024). Biyolojik veya teknik döngülerdeki geri kazanım süreçleri, farklı döngülere ait kaynaklarla karıştırılmamış tek tür malzemeyi işlediğinde daha etkili olmakta; bu nedenle doğal ve sentetik lifleri bir araya getiren karışımların geri kazanılması ve geri dönüştürülmesi güçleşmektedir (Sahimaa et al., 2024). Elastan içeren karışımlar, mekanik elyaftan elyafa geri dönüşümde kullanılan parçalama ve çekme makinelerinin verimini düşürürken (Boschmeier et al., 2024) çok katmanlı veya lamine tekstiller, kullanım sonrası giysilerin lif bileşimlerine göre doğru biçimde sınıflandırılmasını engelleyebilmektedir (Tischberger–Aldrian et al., 2024). Farklı liflerin ve diğer malzeme bileşenlerinin ayrıştırılabilirlik gözetilmeden aynı tekstil ürünü içinde birleştirilmesi, kullanım ömrü sonunda malzemelerin ayrılmasını ve geri dönüştürülmesini güçleştirerek yeniden dolaşıma kazandırılmalarının önünde önemli bir engel oluşturmaktadır

(Sahimaa et al., 2024). Sorunun ölçeği sektörel verilerde de görülmektedir: küresel tekstil atığının yüzde 1'inden azı yeni tekstil liflerine dönüştürülürken Avrupa'da her yıl yaklaşık 7,5 milyon ton tekstil atığı oluşmakta ve bunun yüzde 35'inden azı ayrı olarak toplanmaktadır (Hammar et al., 2024).

Bu tablo karşısında, geri dönüştürülebilirlik için tasarım (design for recyclability) yaklaşımı, malzeme seçimini döngüsel mantıkla yeniden kurgulayan stratejilerden biri olarak öne çıkmaktadır. Literatürde ürün tasarım stratejileri; geri dönüştürülebilirlik için tasarım, biyolojik olarak parçalanabilirlik için tasarım, dayanıklılık için tasarım, çok yönlülük için tasarım ve katılımcı tasarım olarak beş başlık altında sınıflandırılmakta; geri dönüştürülebilirlik için tasarım, ürünün kumaş, fermuar, düğme ve bağcık gibi bileşenlerine kolayca ayrıştırılmasını ya da tek malzemelilik (mono–materiality) ilkesini gerektiren yapıların tercih edilmesi yoluyla uygulanabilmektedir (Schiaroli et al., 2025). Bu yaklaşımın temel uygulamalarından biri olan tek malzemelilik, 1990'lı yıllardaki araştırmalarda yaygın biçimde teşvik edilmiş ve McDonough ile Braungart'ın beşikten beşiğe (cradle–to–cradle) tasarım yaklaşımıyla ana akıma taşınmıştır. "Tek malzemeli tasarımla malzeme saflığının korunması, lif karışımlarından kaynaklanan ayrıştırma güçlüklerini azaltarak malzemelerin uygun lif geri dönüşüm sistemlerine yönlendirilmesini kolaylaştırmaktadır" (Hall et al., 2023, s. 11). Schumacher ve Forster'a göre geri dönüşüm için tasarımın (design for recycling–DfR) ideal ölçütleri; ürünün yüzde 100 saf, başka bir ifadeyle karışımsız bir lif bileşimine sahip olması, geri dönüşüm sistemini kirletmeyecek polimer, kimyasal, katkı maddesi, boya ve apreler içermesi ve düğme ile fermuar gibi bileşenlerinin kolayca ayrılabilecek biçimde tasarlanmasıdır. Bununla birlikte özellikle dış giyimde dayanıklılık ve teknik performans sağlamak amacıyla kullanılan lif karışımları, katkı maddeleri ve apreler, ürünün geri dönüştürülebilirliğiyle

çelişebilmektedir. Dayanıklılık için tasarım ile geri dönüşüm için tasarım arasındaki bu gerilim nedeniyle döngüsel ürün tasarımında kalite, dayanıklılık ve geri dönüştürülebilirliğin kullanıcı beklentileri ve maliyetle birlikte dengelenmesi gerekmektedir (Schumacher & Forster, 2022). Tek malzemeliliğin yarattığı sınırlılıklar dayanıklılık ve teknik performansla sınırlı değildir. Tek malzemeli tasarım, lif karışımlarının geri dönüşümde neden olduğu sorunlara çözüm sunabilmekle birlikte endüstride kullanılabilecek malzeme çeşitliliğini sınırlandırma eğilimi taşımakta ve sürdürülebilir tasarımın çeşitliliği desteklemesi gerektiği anlayışıyla gerilim oluşturabilmektedir. Forst, farklı malzemeleri bir araya getiren yaratıcı olanakları korurken bu malzemelerin kullanım ömrü sonunda ayrı ayrı geri kazanılmasını sağlayabilecek bir çözüm yaklaşımı olarak sökülebilirlik için tasarımı (design for disassembly–DfD) önermektedir. Bu yaklaşım, tekstil malzemelerinin veya ürünlerin kullanım ömrü sonunda kolay ve ekonomik biçimde bileşenlerine ayrılabilecek şekilde tasarlanmasına dayanmaktadır (Forst, 2020). Tek malzemelilik ilkesinin tasarım düzeyindeki uygulanabilirliği, Rosato et al.' un örme ve dokuma yapılarını aynı malzeme içinde birleştiren, dikişsiz ve tamamen geri dönüştürülebilir olacak şekilde tasarlanmış deneysel pantolon prototipinde somutlaştırılmıştır (Rosato et al., 2023).

Türkçe literatürdeki bir çalışmada geri dönüşüm için tasarım; geri dönüştürülebilir malzemelerin seçilmesi, bu malzemelerin bitmiş ürünün geri dönüşümünü kolaylaştıracak biçimde bir araya getirilmesi ve giysinin kullanım sonrasında uygun geri dönüşüm kanalına yönlendirilmesine ilişkin bilgilerin ürüne eklenmesi olmak üzere üç temel ilke üzerinden açıklanmaktadır. Bu çerçevede tek malzemeli yapıların tercih edilmesi ve aksesuar kullanımının en aza indirilmesi, ürünün ayrıştırılmasını ve geri dönüşümünü kolaylaştıran tasarım kararları olarak değerlendirilmektedir (Enes,

2024). Bununla birlikte, geri dönüştürülmüş içerik kullanılması tek başına ürünün kullanım ömrü sonunda geri dönüştürülebilir olmasını güvence altına almamakta; üründe birleştirilen liflerin farklı geri dönüşüm süreçleri gerektirmesi, ürünün geri dönüşüm potansiyelini ortadan kaldırabilmektedir (Forst & Goldsworthy, 2025). Özellikle lif karışımlarında, ayrı ayrı geri dönüştürülebilen PET ve selüloz gibi bileşenler birlikte kullanıldıklarında mevcut geri dönüşüm süreçleriyle uyumsuz hâle gelebilmekte; bu durum, malzeme seçiminde geri dönüştürülmüş içerik kullanımının yanı sıra liflerin kullanım ömrü sonundaki ayrıştırılabilirliğinin ve geri dönüşüm süreçleriyle uyumluluğunun da gözetilmesi gerektiğini göstermektedir (Boschmeier et al., 2024).

Malzeme seçiminin ürünün dayanıklılığı ve kullanım ömrü üzerindeki etkisi, yeniden kullanım stratejisi açısından da önem taşımaktadır. Yaşam döngüsü çalışmaları, ikinci el giysilerin yeni ürün satın alımının yerini aldığı koşullarda, yeniden kullanımın geri dönüşüm ve yakma seçeneklerine kıyasla genellikle daha fazla çevresel yarar sağlayabildiğini göstermektedir (Sandin & Peters, 2018). "WRAP'e göre giysilerin ortalama kullanım ömrünün dokuz ay uzatılması, karbon, su ve atık ayak izlerinin her birinde yaklaşık %30 oranında azalma sağlayabilmektedir" (Coscieme et al., 2022, s. 455). Farrant et al. ise 100 ikinci el giysinin satın alınmasının, yeniden kullanımın gerçekleştiği yere bağlı olarak 60–85 yeni giysinin satın alınmasının yerini alabileceğini tahmin etmiştir (Farrant et al., 2010). Aynı yaşam döngüsü değerlendirmesinde, yeniden kullanımın pamuklu tişörtün küresel ısınma etkisini %14, %65 polyester ve %35 pamuktan oluşan pantolonun insan toksisitesi etkisini ise %45 oranında azaltabildiği belirlenmiştir (Farrant et al., 2010). Buna karşın giysilerin teknik hizmet ömürleri sona ermeden elden çıkarılması, yeniden kullanım açısından henüz değerlendirilemeyen önemli bir potansiyel bulunduğunu göstermektedir. Sandin ve Peters'in (2018) aktardığı daha eski ulusal

verilere göre, Almanya'da elden çıkarılan tekstillerin yaklaşık %70'i yeniden kullanım ve geri dönüşüm için toplanmakta, ancak bunların bir bölümü yakmaya yönlendirilmekteydi. Danimarka'da ise tekstillerin yaklaşık %50'si toplanmakta ve toplanan ürünler ağırlıklı olarak ülke içinde veya dışında yeniden kullanıma yönlendirilmekteydi (Sandin & Peters, 2018). Bu nedenle bir giysinin yeniden kullanım potansiyeli ürün geliştirme sürecinde öngörülmeli; yeniden kullanım, yeniden imalat veya geri dönüşümü kolaylaştıran malzemeler tercih edilmelidir (Battesini Teixeira et al., 2023). Bu doğrultuda giysiler, aşınmış veya hasar görmüş bileşenlerinin değiştirilebilmesi amacıyla sökülebilir biçimde tasarlanabilir (Claxton & Kent, 2020); giysi geri alma hizmetleri ile bağış sistemleri de tüketicilerin istemedikleri ürünleri geri dönüşüm veya yeniden satış kanallarına yönlendirmelerini sağlayabilir (Claxton & Kent, 2020). Tekstil atıkları ayrıca tasarım yoluyla ileri dönüştürülerek daha yüksek değer taşıyan yeni ürünlere dönüştürülebilir (Claxton & Kent, 2020). Eski bir giysinin bazı panellerinin yeni kumaşlarla değiştirilmesi ise yeniden üretim (remanufacturing) yoluyla giysiye yeni ve güncellenmiş bir görünüm kazandırılmasına örnek oluşturmaktadır (Dissanayake & Sinha, 2015). Sürdürülebilir moda tasarımcıları açısından yeni bir iş fırsatı sunan bu yaklaşımın hâlen niş pazar düzeyinde kaldığı belirtilmektedir (Dissanayake & Sinha, 2015). AB Sürdürülebilir ve Döngüsel Tekstil Stratejisi'nin öngördüğü dönüşümü değerlendiren Centobelli et al. (2022), doğal ve geri dönüştürülmüş tekstillerin teşvikini, yeniden kullanım ve geri dönüşüm için tasarımı, ikinci el perakende ve onarım hizmetlerini ve özellikle devir hızı yüksek ürünlerde ürün–hizmet modellerini moda endüstrisinin çevresel etkilerinin azaltılmasında kritik unsurlar arasında göstermektedir (Centobelli et al., 2022).

Döngünün üretim tarafında ise elyaftan elyafa geri dönüşüm (*fibre–to–fibre recycling*) teknolojileri, kullanım ömrünü

tamamlayan giysileri yeni liflerin ve nihayetinde yeni giysilerin üretiminde kullanılabilecek girdilere dönüştürmeyi amaçlamaktadır (Boschmeier et al., 2024). Örneğin Worn Again, saf ve karışımlı tekstillerden polyester ve selülozu geri kazanmayı; tüketici sonrası tekstil hammaddesinden yeniden lif üretiminde kullanılabilecek PET çipleri ve selülozik çıktılar elde etmeyi amaçlayan döngüsel bir tekstil girişimi olarak aktarılmıştır. Nordik tekstil sektöründe H&M, Houdini ve Lindex gibi markaların çeşitli ürünlerinde geri dönüştürülmüş liflerden yararlandıkları; Houdini gibi bazı markaların ise kullanılmış ürünleri geri alma ve toplama sistemleri uyguladıkları bildirilmiştir (Leal Filho et al., 2019). Bununla birlikte, İskandinav moda endüstrisinde tekstilden tekstile geri dönüşüm sistemlerinin önündeki başlıca engeller; malzemelerin ayrıştırılmasını güçleştiren teknolojik yetersizlikler, araştırma–geliştirme çalışmaları ile destekleyici lojistik altyapının kurulmasına ilişkin yüksek maliyetler ve ürün geliştirme süreçlerine çok sayıda paydaşın katılmasından kaynaklanan tedarik zinciri karmaşıklığıdır. Yeni malzemelerin tasarlanması ve kullanılması, giysi toplama oranlarının artırılması ve paydaşlar arası iş birliği ise bu sistemlerin gelişimini kolaylaştıran başlıca etkenlerdir (Sandvik & Stubbs, 2019). Polimer, oligomer ve monomer düzeyinde geri dönüşüm, malzemelerin yeterince saf fraksiyonlara ayrıştırılmasına yönelik teknolojilerin eksikliği nedeniyle sınırlı kalsa da pamuk/polyester karışımlarının ayrıştırılmasında kayda değer ilerlemeler kaydedilmiştir (Sandin & Peters, 2018). Geri dönüştürülmüş liflere yönelik pazar talebinin gelecekte artacağı öngörülmekle birlikte, bu teknolojilerin yaygınlaştırılması için araştırma–geliştirme yatırımlarının yanı sıra tekstil geri dönüşümünü teşvik eden yasal düzenlemelere ve zorunlu sertifikasyon mekanizmalarına da ihtiyaç duyulmaktadır (Boschmeier et al., 2024).

Sonuç olarak, düşük çevresel etkiye sahip malzemelerin seçimi ile onarılabilirliği, uzun ömürlülüğü ve yeniden

kullanılabilirliği destekleyen tasarım kararları, döngüsel moda tasarımının birbiriyle ilişkili boyutları olarak ele alınmalıdır (Abdelmeguid et al., 2024). Ürünün geri dönüştürülebilirliği ve yeniden kullanım potansiyeli, tasarım sürecinde lif, kumaş ve diğer bileşenlere ilişkin alınan kararlarla şekillenmekte; bu seçimler aynı zamanda yaşam döngüsünün malzeme aşamasındaki çevresel etkilerin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (Battesini Teixeira et al., 2023; Claxton & Kent, 2020). Bu çerçevede malzeme seçimi, salt form ve estetik kaygıların değil, ürünün ikinci yaşamını — yeniden kullanım, onarım, yeniden üretim ya da geri dönüşüm yoluyla — öngören döngüsel bir tasarım kararının parçası olarak değerlendirilmelidir.

Tasarımda Yaşam Döngüsü

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), bir giysinin çevresel etkilerini hammadde temininden üretim ve kullanım aşamalarına, oradan kullanım sonu ve atık yönetimine uzanan bütünlüklü bir süreç içinde ele alır (Nayak et al., 2019). Tasarım aşaması ise giysinin bütün yaşam döngüsünü etkileyen kararların alındığı kritik bir noktadır; malzeme ve yapı seçimleri bu aşamada yapıldığından sürdürülebilirlik ve döngüsellik öncelikle tasarım sürecinde şekillenir (Abdelmeguid et al., 2024). Bu bağlamda yaşam döngüsü değerlendirmesi, moda tedarik zincirinin tamamını haritalayarak tasarımcılara sürdürülebilir tasarım stratejilerini değerlendirme ve seçmede kullanabilecekleri ölçütler ve kanıtlar sunar (Claxton & Kent, 2020). Munasinghe et al. (2021) tarafından gerçekleştirilen sistematik inceleme, hammadde çıkarma aşamasının giysi yaşam döngüsünde genellikle en yüksek çevresel etkiye sahip aşama olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, malzeme seçiminin tasarım sürecinin merkezî unsurlarından biri olarak ele alınmasının önemini güçlendirmektedir (Munasinghe et al., 2021).

Döngüsel tasarımda yaşam döngüsü, ürünün ömrü boyunca değerini korumasını sağlayan stratejilerle yönetilir. Uzun ömür için tasarım (design for longevity), giysilerin daha uzun süre kullanılmasını ve ikinci el pazarlarda yeniden satılabilmesini destekleyerek tüketimi yavaşlatır; dayanıklılık ve kalite, tasarımcının doğrudan etki edebildiği alanlardır (Claxton & Kent, 2020; Gwilt & Pal, 2017). Bunun yanında, sökülebilir bağlantılar yoluyla bileşenlerin kolayca ayrıştırılıp geri kazanılmasını sağlayan söküm için tasarım (design for disassembly), karışık malzemelerin yarattığı geri dönüşüm engeline bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Forst, 2022); böylelikle giysiler hem biyolojik hem teknik döngüye girebileceği gösterilmektedir (Ramzan et al., 2023).

Yaşam döngüsü düşüncesi ayrıca ürünün dolaşım hızını da sorgular; basit bir "hızlı/yavaş" karşıtlığı yerine, her giysi için yaşam döngüsünün farklı aşamalarına uygun çoklu ve orantılı hızların belirlenmesini önerir (Goldsworthy et al., 2018). Özetle tasarım aşaması, üretimden kullanıma ve bertarafa uzanan zincirde etkilerin azaltılabileceği en etkili müdahale noktası olarak konumlanır.

Sanat, Zanaat ve Döngüsel Kesişim

Disiplinlerarası Tasarım Yaklaşımları

Sanatın farklı disiplinlerden beslenmesi gerektiğine ilişkin yaklaşım ile zanaatın döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir tasarım süreçleriyle kurduğu ilişki birlikte değerlendirildiğinde, sanat, zanaat ve döngüsel tasarımın kesişimi disiplinler arası bir alan olarak belirginleşmektedir (Oral Karakoç, 2024; Taşkesen, 2016). "Sürdürülebilirlik; sosyal, ekonomik, biyofiziksel, tarihsel ve kültürel boyutları içeren çok katmanlı bir kavram olduğundan, sürdürülebilir sanat üretimi de farklı disiplinlerin katkısını gerektirir" (Berber & Önlü, 2021, s. 489). Bu yaklaşımın moda ve tekstil tasarımı eğitimindeki karşılığı, teknik bilginin ekolojik okuryazarlık, etik üretim bilinci ve döngüsel ekonomi

farkındalığıyla bütünleştirildiği çok yönlü bir eğitim modelidir (Gencal Öztürk, 2025). Geri dönüşüm, ileri dönüşüm ve yeniden kullanım yoluyla atıkların sanat eserlerine dönüştürülmesi ise hem sanatçının yaratıcı edimini sürdürülebilirlik ekseninde görünür kılmakta hem de çevresel farkındalığın farklı disiplinlere ve geniş kitlelere aktarılmasına aracılık etmektedir (Akdemir & Korkmaz, 2021).

Disiplinler arası iş birliği, ürün geliştirme sürecine farklı uzmanlık alanlarının tamamlayıcı katkılarını taşır. Endüstriyel tasarım işlev, malzeme seçimi ve üretim süreçlerine; güzel sanatlar yaratıcı, estetik ve duygusal niteliklere; grafik tasarım ise görsel iletişim, markalaşma ve anlatı oluşturma süreçlerine katkıda bulunur (Alahira et al., 2024). Benzer biçimde, iş birlikçi pratikler tasarım ve zanaatı malzeme bilimi, biyoloji ve bilgisayar bilimi gibi alanlarla buluşturarak ürünler, sistemler ve çevreleri arasında bilgili ilişkiler kurulmasını mümkün kılar (Ferreira et al., 2023). Sistemik tasarım sorunları disiplinlerin birbirinden kopuk çalışmasıyla çözülemediğinden, tasarım araştırması farklı bilimsel pratikler arasında bağlantı kuran bir alan oluşturur. Bu çerçevede sanatçı ve tasarımcıların hayal gücünün bilimsel ve teknolojik yeniliklerle birleşmesi, toplumsal gelişmeyi destekleyen bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Goldsworthy et al., 2018).

Disiplinler arası yaklaşımın tasarım alanındaki en somut görünümlerinden biri, tasarımcı–zanaatkâr iş birliğidir (Izidio et al., 2018). Zanaatkâr topluluklar yalnızca üretime katılan uygulayıcılar değil, becerileri ve yaratıcı birikimleriyle tasarım geliştirme sürecinin ayrılmaz aktörleridir (Brown & Vacca, 2022). Bu ilişkide tasarımcı, üretici ile tüketici arasındaki iletişim boşluğunda vazgeçilmez bir aracı ve zanaatkârın uygulama bilgisi ile tasarımcının ne üretileceğine ilişkin bilgisini buluşturan bir köprü olarak görülmektedir (Vencatachellum, 2005). Tasarımcı–zanaatkâr iş birliklerinin ürettiği sürdürülebilir değer; işletmelerin büyümesi,

bölgesel kalkınma ve zanaatkârların özerk hareket etme kapasitesinin geliştirilmesi olmak üzere üç düzeyde ortaya çıkmaktadır (Hu et al., 2024). Bununla birlikte, ortak değerin nasıl koordine edileceğine ilişkin belirsizlikler; farklı ilişkilerin, düşünme biçimlerinin ve değerlerin dengelenmesindeki güçlükler ile aktörlerin malzeme, teknoloji ve tasarım süreçlerindeki rollerinin yeterince anlaşılmaması iş birliğinin önündeki temel engellerdir (Hu et al., 2024). Bu engelleri aşmaya yönelik güncel yaklaşımlardan biri, ortak tasarımı bilgi dönüşümü perspektifiyle ele alarak tasarımcılar ile zanaatkârlar arasındaki bilgi alışverişini kolaylaştırmayı ve somut olmayan kültürel miras kapsamındaki geleneksel zanaat bilgisinin korunmasını amaçlamaktadır (Kang & Zhou, 2026). Bir diğer yaklaşım ise ortak tasarım sürecini makro, mezo ve mikro düzeylerde birbiriyle ilişkili aktörlerin katıldığı çok düzeyli bir değer yaratma süreci olarak modellemektedir (Hu et al., 2025). Bu süreçte ortak yazarlığın şeffaf ve adil biçimde tanınması ve zanaatkârın ürünün ortak yazarı olarak tasarımcıyla eşit görünürlüğe sahip olması, iş birliğinin etik boyutunu oluşturmaktadır (Barcellos & Broega, 2018).

Uygulamadaki karşılıklarına bakıldığında, Türkiye'de bir kadın kooperatifiyle yürütülen projede Boyner'in bağışladığı kullanım dışı kumaşlar, beş katılımcının farklı geleneksel zanaat tekniklerini öğrenerek ileri dönüşüm stratejisiyle aksesuar üretmesi yoluyla değerlendirilmiştir. Katılımcıların süreç boyunca iş birliği yapması, döngüsel ekonomi, zanaat pratiği ve topluluk temelli çalışmanın tasarım eğitiminde birlikte ele alınmasına somut bir örnek sunmuştur (Atalay Onur, 2020a). Benzer şekilde İtalyan/Haitili tasarımcı Stella Jean'in "Laboratorio delle Nazioni" platformu, geleneksel tekstil tekniklerinin tasarım vizyonuyla melezleştirilmesi ve zanaatkâr topluluklarla ortak üretim yoluyla kültürel sürdürülebilirliği destekleyen kalkınma modelleri geliştirmiştir (Brown & Vacca, 2022). Bu çerçevede sürdürülebilir

ve iş birlikçi metodolojilerin tasarım sürecine bütünleştirilmesi — eko–tasarım tekniklerinin uygulanması ve grup kimliğine dayalı yansıtıcı öğrenme — ortak yaratıcı ve üretken döngüsel süreçlerin geliştirilmesinde belirleyici olurken (Broega & Pardo Cuenca, 2025), giysi tasarımı uygulamalarında, tasarımcıların bağımsız fikirlerini koruyarak karar alma sürecinde birlikte hareket ettikleri sürdürülebilirlik temalı kapsül koleksiyon çalışması, ortak karar alma ve mesleki bilgi paylaşımına dayalı tasarım iş birliğinin somut bir örneğini oluşturmaktadır (Sari & Elibol, 2022).

Yukarıda ele alınan kuramsal çerçeve, sanat, zanaat ve döngüsel tasarımın kesişiminde disiplinler arası iş birliğinin yalnızca bir üretim stratejisi değil, aynı zamanda kültürel ve çevresel sürdürülebilirliğin birlikte düşünülmesini gerektiren bütüncül bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yaklaşımın pratikteki karşılıklarını somutlaştırmak amacıyla, bu bölümde farklı coğrafya ve ölçeklerden seçilen örnek olaylar; tasarımcı–zanaatkâr iş birliğinin kuruluş biçimi, değer yaratımı ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkısı bağlamında incelenmiştir. Kooperatif temelli üretimden uluslararası tasarım platformlarına uzanan bu örnekler, 6.1'de tartışılan engellerin ve fırsatların gerçek hayattaki yansımalarını göstermesi bakımından anlamlıdır.

Örnek Olay İncelemeleri

Önceki bölümde (6.1.) ortaya konan kuramsal çerçeve, farklı coğrafya, ölçek ve iş modelinden seçilen örnek olaylar üzerinden somutlaştırılmaktadır. Aşağıda ele alınan örnekler, tasarımcı–zanaatkâr iş birliğinin kuruluş biçimi, yarattığı değer ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkısı bakımından incelenmekte; sanat, zanaat ve döngüsellik kesişiminin farklı görünümlerini temsil etmektedir.

İlk örnek, Türkiye'de kooperatif temelli üretimin zanaat ve ileri dönüşümle buluştuğu kadın kooperatifi projesidir. Kadınlar

tarafından yönetilen Sarıyer Kadın Girişimciler Kooperatifi, bölgede yaşayan kadınların ekonomik, sosyal ve kültürel gereksinimlerinin karşılanmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Kooperatife 2016 yılında Boyner tarafından kullanım dışı kumaşlar bağışlanmış; proje kapsamında beş katılımcının farklı geleneksel zanaat tekniklerini öğrenerek bu kumaşlardan ileri dönüşüm yoluyla aksesuarlar geliştirmesi hedeflenmiştir (Atalay Onur, 2020a). Kooperatifin kurucularından olan sürdürülebilir tasarım danışmanı, katılımcılar, köylü kadınlar ve araştırmacıdan oluşan ekibin temel amacı, bağışlanan kumaşlardan kooperatife özgü bir kimlik taşıyan aksesuarlar üretmek olmuştur (Atalay Onur, 2020a). Örnek, atık malzemenin değerlendirilmesiyle döngüsel, geleneksel tekniklerin öğrenilmesiyle zanaat ve kadın emeğinin güçlendirilmesiyle toplumsal sürdürülebilirliği tek projede kesiştirmesi bakımından anlamlıdır.

İkinci örnek, Stella Jean tarafından kurulan "Laboratorio delle Nazioni" adlı sürdürülebilir kalkınma platformudur. İtalyan–Haitili tasarımcı, zanaatkâr toplulukları yalnızca üretime değil, beceri ve yaratıcı birikimleriyle tasarım geliştirme sürecine de dâhil etmekte; geleneksel tekstil süreç ve tekniklerini çağdaş tasarım vizyonuyla melezleştirerek koleksiyonlarına aktarmaktadır. Kültürel etkileşim, kreolleşme ve melezleşme paradigmalarına dayanan bu iş birliği modeli, yoksulluğun azaltılmasına ve emeğin saygınlığı aracılığıyla toplumsal ve yaratıcı özgürleşmeye katkıda bulunmayı amaçlamaktadır (Brown & Vacca, 2022). Bu modelde zanaatkâr topluluklar yalnızca üretici değil, becerileri ve yaratıcı zekâlarıyla tasarım geliştirme sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır; böylece kültürel sürdürülebilirlik, estetik değerle birlikte üretilmektedir.

Üçüncü örnek, Sandhu'nun (2020) Péro markası üzerinden incelediği Aneeth Arora'nın zanaat temelli sürdürülebilir moda yaklaşımıdır. Sandhu, yoğun ve el emeğine dayalı zanaat pratiklerinin üretim temposunun, moda endüstrisinin hız, yüksek

hacim ve birbirinin aynı, hatasız ürünler üretme anlayışına karşıt olduğunu belirtmektedir. Bu pratiklerin küçük ölçekli üretimle sınırlı olması, onları yavaş moda kavramıyla uyumlu kılarken kitlesel üretime dayalı hızlı büyümeyi de olanaksızlaştırmaktadır (Sandhu, 2020). Arora örneği, zanaatın hem kültürel kimliğin hem de duygusal değerin taşıyıcısı olarak döngüsel sistemlerin yavaşlatıcı bir bileşeni hâline gelebileceğini göstermektedir. Sandhu (2020), zanaatın kültürel ve toplumsal değerini açıklarken Fashion Revolution'ın *Fashion Craft Revolution* adlı yayınına da değinmektedir. Fashion Revolution, bu yayını tanıtırken küresel zanaatların miras anlatılarını öne çıkarmakta ve zanaatı, yerli toplulukların becerikliliğinin yanı sıra değişime ve yeniliğe açık bireysel ve kolektif yaratıcılığın bir kanalı olarak konumlandırmaktadır. Bu çerçevede zanaat ürünlerinin, üreten kişiden veya tasarımcıdan tüketiciye gerçek ve simgesel bir iyi oluş duygusu aktarabildiği belirtilmektedir (Sandhu, 2020).

Dördüncü örnek, kurumsal marka ölçeğinde giysilerin kullanım ömrünü uzatma ve geri kazanım modellerini temsil eden Patagonia Worn Wear ve Eileen Fisher Renew programlarıdır. Patagonia'nın Worn Wear programı, onarım ve parça değişimi yoluyla ürünlerin kullanım süresini uzatmaya odaklanmaktadır (Choudhry et al., 2026). Markanın Common Threads Recycling Programı ise tekstil geri dönüşümünü ürün geliştirme ve yenilikçi tasarım süreçleriyle bütünleştirmiştir. Leal Filho ve arkadaşları, bu yaklaşımın olumlu finansal sonuçlarla birlikte yürütüldüğünü ve 2015'in şirket tarihinin o tarihe kadarki en kârlı yılı olduğunu belirtmektedir (Leal Filho et al., 2019). Eileen Fisher'ın 2009'da başlattığı Renew programında ise kullanılmış Eileen Fisher giysileri, durumlarına bakılmaksızın geri alınmaktadır. Toplanan giysiler ayrıştırılıp temizlendikten sonra yeniden satılmakta, onarılmakta, bağışlanmakta veya yeni ürünlere dönüştürülmektedir. Şirket, program kapsamında toplanan giysi sayısının 2023 yılında iki

milyona ulaştığını; bunların bir milyonunun yeniden satıldığını, bağışlandığını veya yeniden üretildiğini açıklamıştır (Herndon, 2023).

Bu örnekler birlikte değerlendirildiğinde, sanat ve zanaat temelli değer üretimi ile döngüsel moda stratejilerinin üç farklı ölçekte yapılandığı görülmektedir. Kooperatif projesi ile Stella Jean ve Aneeth Arora örneklerinde değer, tasarımcı–zanaatkâr iş birliği aracılığıyla kültürel ve toplumsal düzeyde üretilmektedir. Patagonia ve Eileen Fisher örneklerinde ise döngüsellik; ürün ömrünü uzatma, onarım, geri alma, yeniden satış ve ileri dönüşüme dayalı iş modelleri üzerinden kurumsal marka ölçeğinde uygulanmaktadır. Seri üretim ölçeğinde H&M Group bünyesindeki Arket, Monki ve Weekday markaları üzerinden incelenen yeniden kullanım, tamir, yeniden üretim ve sürdürülebilir malzeme kullanımı gibi döngüsel tasarım ilkeleri ise bu stratejilerin kitle pazarına aktarılma potansiyelini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte H&M'in yüksek hacimli hızlı moda modeli, bu uygulamaların etkisini sınırlandırmakta ve döngüselliğin kitle pazarındaki olanakları kadar çelişkilerini de görünür kılmaktadır (Burnstine & Ghattas, 2025). Söz konusu örnekler, 6.1'de tartışılan iş birliği engellerinin aşılabildiği koşullarda zanaat bilgisi ile döngüsel tasarım stratejilerinin birleşiminin hem kültürel hem çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayabildiğini ortaya koymakta; 6.3'te ele alınacak hibrit üretim modellerinin kavramsal zeminini hazırlamaktadır.

Hibrit Üretim Modelleri

Önceki bölümde incelenen örnekler, zanaat bilgisi ile döngüsel tasarım stratejilerinin farklı düzeylerde buluşabildiğini göstermiştir. Hibrit üretim modelleri, bu buluşmayı sistematik hâle getiren örgütsel ve teknik düzenlemeler olarak tanımlanabilir. Söz konusu modellerin üç temel ekseni dikkat çekmektedir: zanaat ile

endüstriyel üretimin, zanaat ile dijital teknolojilerin ve yerel/topluluk temelli üretim ile ölçekli iş modellerinin melezleşmesi.

Zanaat ile endüstriyel üretimin melezleşmesi, yavaş tasarım ilkelerini benimseyen markaların dokuma, boyama ve nakış ustalarının bilgi, beceri ve deneyimlerinden yararlanarak küçük ölçekli, zanaat temelli üretim birimleriyle çalışması üzerinden gerçekleşmektedir. Bu modelde markalar, seri üretime yönelik tasarım geliştirirken geleneksel el işçiliğini tasarım sürecinin kurucu bir unsuru hâline getirerek melez bir tasarım dili oluşturmaktadır (Türkmen, 2011). Sürdürülebilir üretim teknikleriyle el yapımı ve uzun ömürlü çantalar üreten Entermodal'ı; organik, geri dönüştürülmüş veya kullanılmış malzemelere yerel zanaatkârların el işçiliğiyle katma değer kazandıran Alabama Chanin'i; geleneksel giysi tekniklerini kullanan küçük yerel işletmelerle çalışan Mina Perhonen'i ve eski Türk kumaşlarını çağdaş malzeme ve boyama teknikleriyle birleştiren Gönül Paksoy'u bu yaklaşımın örnekleri arasında göstermektedir (Türkmen, 2011). Bu örneklerin dayandığı yavaş tasarım anlayışı; yerel kaynakların kullanımını, şeffaf üretim sistemlerini, üretici ile tüketici arasındaki aracıların azaltılmasını ve uzun ömürlü ürünlerin geliştirilmesini öne çıkarmaktadır (Türkmen, 2011).

İkinci eksen, zanaat pratikleri ile dijital teknolojilerin hibritleşmesine dayanmaktadır. Dijital fabrikasyon ve parametrik tasarım araçlarının tasarım alanını dönüştürdüğü bu modelde, makinenin sağladığı kontrol ve yenilik olanakları insanın el becerisiyle birleşmekte; böylece teknoloji yalnızca bir üretim aracı değil, sanatsal üretimin ve kültürel birikimin korunmasına katkı sağlayabilecek bir unsur olarak da değerlendirilmektedir (Huang et al., 2026). Üç boyutlu baskının dokuma ve akıtma süreçleriyle birleştirildiği uygulamalar ile hibrit nakış çalışmaları, bu yaklaşımın güncel örneklerini oluşturmaktadır (Huang et al., 2026). Zanaat ve

teknolojinin birlikteliği, lüks moda endüstrisinde Zegna'nın kişiye özel dikim hizmetinde farklı bir ölçekte ortaya çıkmaktadır. Bu modelde müşteriye kişisel terziyle kurulan etkileşim üzerinden zanaatkârlık deneyimi sunulurken, müşteri verileri ve giysi üretimi arka planda ileri teknolojilerle yönetilmekte; böylece zanaatkâr dokunuşları ile dijital altyapıyı bir araya getiren karmaşık bir hibrit yapı oluşmaktadır (Bertola & Teunissen, 2018). Benzer bir dönüşüm, İtalyan moda sisteminde "fijital" (phygital) senaryolar kapsamında ele alınmakta; zanaatkârlık ile dijital teknolojilerin buluşması tasarım ve üretim süreçlerini yeniden tanımlamaktadır (Franzo et al., 2025). Endüstri 5.0 bağlamında ise standart dışı fabrikasyon teknolojileri ile geleneksel zanaatkârlığı birleştiren uygulamalar insan merkezli üretim anlayışıyla ilişkilendirilmekte; tasarım, sürdürülebilir, döngüsel ve dijital olarak desteklenen bir moda ekosistemine geçişin temel dönüştürücü unsurlarından biri olarak konumlandırılmaktadır (Bertola et al., 2026).

Üçüncü eksen, topluluk temelli üretim biçimleri ile ölçeklenebilir döngüsel iş modelleri arasındaki ilişkiye odaklanmaktadır. Kooperatifler, zanaat temelli üretim ve tasarım odaklı iş birlikleri aracılığıyla demokratik ve kolektif bir öğrenme ortamı oluşturmaktadır (Atalay Onur, 2020a). Kadın kooperatifiyle yürütülen projede katılımcıların işlev, sadelik, kimlik ve özgünlük odaklı tasarım yaklaşımı ile kadınların zanaat ve pratiğe dayalı bilgileri bir araya getirilmiş; böylece demokratik ve kolektif bir öğrenme ve üretim ortamında bilgi ve deneyim paylaşımı sağlanmıştır. Zanaat temelli etkinliklere katılım ile atık malzemelerin değerlendirilmesi hedeflerinin birleştirilmesi sonucunda ise "atığı zanaatla dönüştürme" yaklaşımı bir tasarım stratejisi olarak ortaya çıkmıştır (Atalay Onur, 2020a). Büyük ölçekli işletmeler düzeyinde döngüsel ekonomi stratejileri uygulanmaktadır (Bocken et al., 2025). H&M'in döngüsel ekonomi modelini döngüsel ürünler, döngüsel tedarik zinciri ve döngüsel müşteri

yolculuğu olmak üzere üç temel bileşen üzerinden açıklamaktadır. Aynı çalışmada üç boyutlu teknolojilerle fiziksel numune üretiminin azaltılması ve satılmayan giysilerden kaynaklanan atığın önlenmesi amacıyla talep üzerine üretime geçilmesi, uygulanabilecek iş modeli stratejileri arasında gösterilmektedir (Enes, 2024). Topluluk temelli üretim ile ölçeklenebilirlik arasındaki bağ, rejeneratif moda yaklaşımında daha sistemik bir çerçeve kazanmaktadır. Bu yaklaşım; tedarik zincirlerinin merkezden uzaklaştırılmasını, küçük üreticilerin güçlendirilmesini, topluluk temelli üretim modellerinin geliştirilmesini ve yerelleştirilmiş tedarik zincirlerinin kurulmasını teşvik etmektedir (Choudhry et al., 2026). Bununla birlikte mevcut döngüsel girişimlerde tedarik zinciri genelinde sistemik iş birliğinin yetersiz kaldığı ve çiftçilerin, yerel toplulukların ve tüketicilerin süreçlere sınırlı ölçüde katıldığı belirtilmektedir (Choudhry et al., 2026).

Bu üç eksen birlikte değerlendirildiğinde, hibrit üretim modellerinin zanaat bilgisini tasarım ve teknoloji aracılığıyla değer üretimine katarken döngüsellik hedeflerini örgütsel yapı ve ölçek sorunlarıyla birlikte ele aldığı görülmektedir (Spagnoli, 2026). Ancak döngüsel ve rejeneratif sistemlere geçiş, teknik çözümlerin ötesinde destekleyici politikalar, güvenilir sertifikasyon sistemleri, altyapı yatırımları, kapsayıcı yönetişim yapıları ve daha yavaş, bilinçli tüketime yönelik kültürel bir dönüşüm gerektirmektedir (Choudhry et al., 2026). Bu yapısal sınırlılıklar, bir sonraki bölümde ele alınacak yeşil yıkama sorunu ile döngüsel uygulamaların eleştirel değerlendirilmesi için zemin hazırlamaktadır.

Eleştirel Sorunlar, Sınırlılıklar ve Sonuç

Yeşil Yıkama Sorunu ve Eleştiri

Kavramın Tanımı ve Kökeni

Yeşil yıkama (*greenwashing*), işletmelerin çevresel performanslarını, uygulamalarını, ürünlerini veya hizmetlerini gerçekte olduğundan daha olumlu ve çevre dostu göstermeye yönelik yanıltıcı iletişim uygulamalarını ifade etmektedir (Sapmaz Veral, 2022). Kavram, Jay Westerveld'in 1986 yılında otellerin daha kapsamlı çevresel etkilerini göz ardı ederken havluların yeniden kullanımını çevreci bir girişim olarak sunmalarını eleştirmesiyle ortaya çıkmıştır (Sapmaz Veral, 2022). Yeşil yıkama pratiğinde şirketler, çevresel etkilerini azaltmaya yönelik somut çabalar geliştirmek yerine ürünlerini "yeşil" olarak sunan iletişim ve imaj çalışmalarına kaynak ayırarak tüketicileri çevresel hedefleri ve eylemleri konusunda yanıltabilmektedir (Borusiak et al., 2024). Bu nedenle yeşil yıkama, yalnızca pazarlama etiğine ilişkin bir sorun değil, aynı zamanda paydaşların algısını yanıltıcı biçimde yönlendiren bir kurumsal iletişim pratiğidir (Santos et al., 2024). Nitekim Kurpierz ve Smith (2020), yeşil yıkamayı hile (*fraud*) çerçevesinde ele alarak dolandırıcılıkla mücadele literatüründeki araçların kurumsal sürdürülebilirlik raporlamasına uyarlanabileceğini ileri sürmektedir (Kurpierz & Smith, 2020). Ruiz–Blanco et al. (2022) ise yeşil yıkamanın sağladığı meşruiyet kazanımlarının, uygulamanın ortaya çıkarılması hâlinde doğabilecek itibar ve diğer maliyetleri aşması durumunda bu pratiğin işletmeler açısından kazançlı görülebildiğini belirtmektedir (Ruiz–Blanco et al., 2022).

Moda Endüstrisinde Yeşil Yıkamanın Yaygınlaşması

Moda ve tekstil endüstrisi, dünyanın en büyük endüstriyel kirleticilerinden biri olarak bilinen bir sektördür ve yeşil yıkama bu sektörde giderek yaygınlaşan bir sorun hâline gelmiştir (Badhwar et al., 2024). Batılı tüketicilerin çevresel ilgisinin artması, şirketleri sürdürülebilirlik ve çevreyle ilgili söylemleri yalnızca satışlarını artırmak amacıyla kullanmaya yöneltebilmekte; bu konuların karmaşıklığı ise tüketicilerin yanıltılmasını kolaylaştırmaktadır

(Niinimäki, 2014). Bir hızlı moda şirketinin ürünlerinin yalnızca küçük bir bölümünde ya da belirli bir ürün hattında eko–etiket kullanması, moda sisteminin ve onun temelindeki ekonomik mantığın değiştiği anlamına gelmemektedir. Şirket aşırı hızlı üretim döngüleri içinde çok sayıda ürün üretmeyi sürdürdüğü için çevresel yükü de büyük ölçüde devam etmektedir (Niinimäki, 2014). Benzer biçimde, plastik poşetlerin kâğıt poşetlerle değiştirilmesi gibi işletmenin temel iş mantığına dokunmayan sınırlı uygulamalar da eleştirilmekte; şirket değerlerinin sürdürülebilirlik temelinde yeniden biçimlendirilmesi ve sürdürülebilirlik ilkelerinin tüm örgütsel düzey ve işlevlerde uygulanması gerektiği vurgulanmaktadır (Niinimäki, 2013). Öte yandan, sürdürülebilir moda kavramının tanımlanması ve uygulanması konusunda akademik çalışmalar ile endüstri pratikleri arasında önemli görüş ayrılıklarının ve rekabet eden söylemlerin bulunduğu belirtilmektedir (Mukendi et al., 2020).

Moda ürünleri ve marka iletişiminde kullanılan çevresel iddiaların değerlendirilmesinde yararlanılabilecek yaygın çerçevelerden biri, TerraChoice'ın 2010 tarihli raporunda sunduğu "Yeşil Yıkamanın Yedi Günahı" sınıflandırmasıdır (TerraChoice, 2010). Bu sınıflandırmaya göre yeşil yıkama; (1) *gizli ödünleşim* (*hidden trade–off*), bir ürünün sınırlı sayıdaki özelliğine dayanılarak "yeşil" olarak sunulması ve diğer önemli çevresel etkilerinin göz ardı edilmesi; (2) *kanıtsızlık* (*no proof*), çevresel iddianın kolayca erişilebilir kanıtlarla veya güvenilir bir üçüncü taraf sertifikasıyla desteklenmemesi; (3) *belirsizlik* (*vagueness*), "doğal" ve "çevre dostu" gibi tüketici tarafından yanlış yorumlanabilecek ölçüde geniş ve muğlak ifadelerin kullanılması; (4) *ilgisizlik* (*irrelevance*), doğru olmakla birlikte tüketici açısından önemsiz olan veya yasal düzenlemelerle zaten zorunlu tutulan bir özelliğin çevresel üstünlük olarak öne çıkarılması; (5) *iki kötülükten daha az zararlı olanı* (*lesser of two evils*), ürün kategorisi içinde doğru olabilecek bir

iddianın kategorinin bütün olarak yol açtığı daha büyük çevresel etkileri görünmez kılması; (6) *yalan* (*fibbing*), çevresel iddianın doğrudan gerçek dışı olması ve (7) *sahte etiket kullanımı* (*worshipping false labels*), meşru bir üçüncü taraf sertifikasyonu izlenimi oluşturan sahte etiket, sembol veya onay ifadelerinin kullanılması biçiminde ortaya çıkmaktadır (TerraChoice, 2010). TerraChoice'ın 2010 yılında ABD ve Kanada'daki mağazalarda yürüttüğü araştırmada, çevresel iddia taşıyan 5.296 ev ve aile tüketici ürününün %95'inden fazlasının yedi yeşil aklama günahından en az birini işlediği belirlenmiştir (TerraChoice, 2010). Ürün düzeyindeki bu günahlara ek olarak, işletme düzeyinde de çeşitli yeşil aklama biçimleri tanımlanmıştır. Bunlardan "kirli iş" (*dirty business*), doğası gereği sürdürülebilir olmayan bir faaliyet alanında bulunan işletmenin, genel faaliyetlerini veya toplumsal etkisini temsil etmeyen sürdürülebilir uygulama ve ürünleri öne çıkarmasını; "reklam abartısı" (*ad bluster*) ise reklam yoluyla asıl sürdürülebilirlik sorunlarından dikkati uzaklaştırarak başarıların abartılmasını veya temel sürdürülebilirlik kaygısıyla ilgisiz alternatif programların sunulmasını ifade etmektedir (De Freitas Netto et al., 2020). Marka düzeyindeki somutlaştırmalar (örneğin H&M'in "Conscious Collection" vakası) bu çalışmanın 6.2 numaralı "Örnek Olay İncelemeleri" bölümünde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Tüketici Şüpheciliği ve Güven Erozyonu

Şirketlerin sürdürülebilirlik söylemlerini gerçek uygulamalarıyla örtüşmeyen pazarlama mesajlarına dönüştürmesi, tüketicilerde kafa karışıklığı ve kuşku yaratarak sürdürülebilir tüketim uygulamalarına duyulan güveni zayıflatabilmektedir (Apostol, 2024). Tüketiciler, sürdürülebilir olarak sunulan bir ürünün gerçekten sürdürülebilir olup olmadığı konusunda kuşku geliştirebilmekte; bu eğilim şüphecilik (*skepticism*) olarak tanımlanmaktadır. Nitekim spor giyim ürünleri üzerine gerçekleştirilen araştırmada, algılanan sürdürülebilirlik düzeyinin

tüketici şüpheciliğini azalttığı, şüpheciliğin ise satın alma niyetini olumsuz etkilediği belirlenmiştir (Kim & Oh, 2020). Yeşil yıkama ayrıca tüketicilerin gerçekten sürdürülebilir ürünleri ve kurumsal uygulamaları ayırt etmesini zorlaştırarak kafa karışıklığına yol açmakta; tüketiciler ve yatırımcılar arasındaki şüpheciliği artırarak sorumlu tüketim uygulamalarına duyulan güveni zayıflatmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir tüketim ve üretim hedeflerine ulaşılmasının önünde önemli bir engel oluşturmaktadır (Apostol, 2024).

Sistemik Eleştiri

Modada yeşil yıkamaya yöneltilen başlıca eleştiriler arasında, bu pratiğin gerekli sistemik dönüşümü geri plana iterek tüketicileri yanıltması ve gerçek sürdürülebilirlik çabalarını geciktirmesi yer almaktadır (Siddhartha, 2024). Ayrıca, yeşil yıkamadan sağlanan meşruiyet kazanımlarının olası itibar ve cezalandırılma maliyetlerini aşması, bu pratiği şirketler açısından kazançlı ve teşvik edici hâle getirebilmektedir (Ruiz–Blanco et al., 2022). Moda ve tekstil endüstrisinin farklı bölge ve ülkelere yayılan karmaşık tedarik zincirleri, ürünlerin izlenebilirliğini ve yeşil yıkama uygulamalarının belirlenmesini zorlaştırmaktadır (Badhwar et al., 2024). Nitekim yeşil yıkama; ham madde temini, üretim, pazarlama, dağıtım ve perakende dâhil olmak üzere tedarik zincirinin farklı aşamalarında ortaya çıkabilmektedir (Badhwar et al., 2024). Moda sektöründeki bazı sertifikasyon programları ve gönüllü girişimlerin şeffaflık ve hesap verebilirlik bakımından yetersiz kalması, ürünlere ilişkin çevresel iddiaların güvenilir biçimde değerlendirilmesini güçleştirerek yeşil aklamaya zemin hazırlayabilmektedir (Badhwar et al., 2024). Markaların ürünlerinin malzemeleri, üretim süreçleri ve çevresel etkileri hakkında yeterli açıklama sunmadan “çevre dostu”, “organik” veya “sürdürülebilir” gibi belirsiz ifadeler kullanması, yeşil yıkamanın moda iletişimindeki başlıca görünümleri arasında yer almaktadır

(Badhwar et al., 2024). Yeşil yıkama uygulamalarından vazgeçilmesi ve tüketici güvenini yeniden kazanmaya yönelik stratejilerin benimsenmesi, moda endüstrisinin döngüsel ekonomi potansiyelini gerçekleştirebilmesi açısından önem taşımaktadır; aksi hâlde yeşil yıkama, daha sürdürülebilir bir döngüsel ekonomiye geçiş sürecini tehlikeye atabilmektedir (Adamkiewicz et al., 2022).

Düzenleyici Yanıtlar

Bu eleştiriler karşısında, dünya genelinde çevresel etkisi bulunan maddelere yönelik düzenlemelerin güçlendirilmesi, yasal düzenlemelerin kurumsallaştırılması ve sertifikasyon süreçlerinin standartlaştırılması önem kazanmıştır (Kim & Oh, 2020). Bu kapsamda, "Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (SETAC) tarafından tanımlanan yaşam döngüsü değerlendirmesi, enerji ve hammadde kullanımı ile açığa çıkan atıkları nicelleştirerek çevresel yükün değerlendirilmesini sağlamaktadır" (Kim & Oh, 2020, s. 2). Sürdürülebilir Giyim Koalisyonu (SAC) tarafından geliştirilen Higg Endeksi ise giysilerin çevresel performansının değerlendirilmesine ve sürdürülebilirlik düzeyine ilişkin bilgilerin daha sistematik biçimde sunulmasına yönelik bir araçtır (Kim & Oh, 2020). Önceki araştırmalarda, bağımsız kuruluşlarca verilen sürdürülebilirlik etiketlerinin şirketlerin öz beyanlarına göre daha güvenilir algılanabildiği belirtilmektedir (Rossi & Rivetti, 2020). Bununla birlikte, üçüncü taraf etiketlerin tek başına yeterli olmadığı; etkili olabilmeleri için tüketiciler tarafından anlaşılması ve şirketlerin somut, açık ve kanıtlarla desteklenmiş beyanlarıyla tamamlanması gerektiği görülmektedir. Bu doğrultuda, ürün ambalajlarında sunulan sürdürülebilirlik bilgilerinin doğru, yararlı ve kanıtlarla desteklenmiş olması gerektiği vurgulanmaktadır (Rossi & Rivetti, 2020). Bu çerçeve, yeşil yıkamanın yalnızca malzeme ve üretim süreçleriyle değil, sürdürülebilirlik iddialarının nasıl doğrulandığı ve iletildiğiyle de ilişkili olduğunu; dolayısıyla sürdürülebilir moda

tasarımının kurumsal iletişim, şeffaflık ve yönetişim boyutlarıyla birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Sürdürülebilir ve Döngüsel Moda Uygulamalarının Sınırlılıkları

Yeşil yıkamaya yönelik eleştiriler, sürdürülebilir modada söylem ile uygulama arasındaki kopukluğu görünür kılarken, uygulamaya geçişin önündeki daha geniş yapısal engellere de işaret etmektedir. Özellikle döngüsel uygulamaların yaygınlaşamaması; teknik, ekonomik, kurumsal ve tüketiciyle ilişkili sınırlılıklarla bağlantılıdır. Kazançoğlu ve arkadaşları, tekstil endüstrisinde döngüsel tedarik zincirlerinin uygulanmasını engelleyen toplam yirmi beş unsuru dokuz ana kategori altında sınıflandırmıştır: yönetim ve karar alma, iş gücü, tasarım güçlükleri, malzemeler, mevzuat, bilgi ve farkındalık eksikliği, entegrasyon ve iş birliği eksikliği, maliyet ve teknik altyapı (Kazançoğlu et al., 2020). Benzer biçimde, moda endüstrisinde döngüsel ekonomi ilkelerinin uygulanmasını inceleyen bir sistematik literatür taraması, karşılaşılan güçlükleri "sert" ve "yumuşak" unsurlar olarak ayırmıştır. Sert unsurlar iş modeli yeniliğini, düzenleyici baskıları, paydaş baskılarını ve finansal baskıları; yumuşak unsurlar ise yeşil entelektüel sermayeyi ve tüketiciyle ilgili sorunları kapsamaktadır (Abdelmeguid et al., 2022).

Pamuk–sentetik karışımları gibi kompozit yapıların bileşenlerine ayrılmasının güç olması ve geri dönüşüm süreçlerinin çoğunlukla tek malzemeli kumaşlarla sınırlı kalması, kapalı döngü tekstil sistemlerinin önündeki başlıca teknik sınırlardan birini oluşturmaktadır (Palacios–Mateo et al., 2021). Otomatik tekstil ayırma teknolojilerinin henüz yaygınlaşmamış olması nedeniyle, kullanım ömrünü tamamlayan giysilerin çoğu elle sınıflandırılmaktadır (Palacios–Mateo et al., 2021). Mekanik geri dönüşümde lifler parçalanarak geri kazanılmakta ve yeniden

kullanım olanakları lif uzunluğu ile kalitesine bağlı kalmaktadır; kısa lifler ise çoğunlukla yalıtım ve dolgu malzemeleri gibi daha düşük değerli ürünlerde kullanılarak aşağı dönüştürülmektedir (Palacios–Mateo et al., 2021). Geri dönüştürülmüş liflerin birincil ham maddeye dayalı lif, iplik ve kumaş üretim süreçlerinde kullanılmasına ilişkin teknolojik sınırlılıklar ile beklenen ürün kalitesine ulaşılamaması da bu sorunu pekiştirmektedir (Celep et al., 2022). Kimyasal geri dönüşümün yüksek miktarda enerji ve kimyasal çözücü gerektirmesi net çevresel faydasına ilişkin soru işaretleri yaratmakta; ayrıca kaliteyi koruyabilmek için geri dönüştürülmüş liflerin çoğu zaman birincil (*virgin*) liflerle harmanlanması gerekmektedir (Choudhry et al., 2026). Tasarım cephesinde ise dayanıklılık ile geri dönüştürülebilirlik arasında bir gerilim bulunmaktadır. Geri dönüşüm için tasarım, ideal olarak tek lifli veya karışımsız, geri dönüşüm sistemini kirletmeyen kimyasal, katkı, boya ve apreler içeren ve kolayca sökülebilen ürünleri gerektirirken, özellikle teknik ve dış giyimde dayanıklılık ve uzun kullanım ömrü sağlayan bileşenler bu koşullarla çelişebilmektedir (Schumacher & Forster, 2022).

Ekonomik sınırlılıklar da tekstil döngüselliğinin önündeki temel engeller arasında yer almaktadır (Schumacher & Forster, 2022). Mevcut sistemde tekstil döngüselliği ekonomik açıdan yeterince uygulanabilir değildir; tekstillerin toplanması ve geri dönüştürülmesinin maliyeti, nihai kullanıcıların ödemeye razı olduğu düzeyi aşabilmekte ve tüketiciler döngüsel ürünlerin gerektirdiği ek maliyeti üstlenmeye çoğu zaman isteksiz davranmaktadır (Schumacher & Forster, 2022). Geleneksel ürün fiyatı ile döngüsel ürün fiyatı arasındaki bu fark, literatürde "döngüsel prim" olarak tanımlanmaktadır (D'Adamo & Lupi, 2021). Mevcut ayıklama işlemlerinin büyük ölçüde elle gerçekleştirilmesi ve buna bağlı yüksek işçilik maliyetleri, elyaftan elyafa geri dönüşümün ekonomik uygulanabilirliğini sınırlandırmaktadır

(Sandvik & Stubbs, 2019). Nitekim Carlsson et al. (2015) tarafından İsveç için geliştirilen maliyet senaryosu, ulusal ölçekte ticari bir tekstil ayıklama tesisinin mevcut koşullarda gelirden daha yüksek maliyet ürettiğini göstermektedir (Carlsson et al., 2015). Bunun yanında, sınırlı teknolojik kapasite, yüksek araştırma–geliştirme maliyetleri ve çok sayıda paydaşın yer aldığı tedarik zincirlerinin karmaşıklığı, döngüsel uygulamaların yaygınlaştırılmasının önündeki temel engeller arasında bulunmaktadır (Abbate et al., 2024). Yeni teknoloji ve altyapıya yönelik başlangıç yatırımları, moda sektörünün büyük bölümünü oluşturan küçük ve orta ölçekli işletmeler açısından özellikle caydırıcı olabilmektedir (Kaur, 2023). Benzer şekilde, tekstil geri dönüşüm işletmelerinin çoğunlukla sınırlı finansman kapasitesine sahip küçük ölçekli yapılardan oluşması ve yeni döngüsel iş modellerinin dar pazar alanlarında faaliyet göstermesi, bu modellerin geleneksel iş modelleriyle rekabet etmesini güçleştirmektedir (Gálvez-Sánchez et al., 2025).

Sınırlılıklar altyapı, düzenleyici çerçeve ve tüketici davranışları boyutunda da ortaya çıkmaktadır (Kaur, 2023). Dünyanın birçok bölgesinde tekstil ürünlerinin geri dönüştürülmesi ve yeniden değerlendirilmesi için gerekli uzmanlaşmış tesis ve altyapının bulunmaması, döngüsel uygulamaların yaygınlaştırılmasını güçleştirmektedir (Brydges et al., 2022). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde formal ayıklama faaliyetlerinin sınırlı ölçekte kalması ve küçük ölçekli işletmelerin emek yoğun ve temel teknolojilere dayalı yöntemler kullanması, geri dönüşüm süreçlerinin verimliliğini düşürmektedir (Leal Filho et al., 2019). Döngüsel ekonomi uygulamalarında ürünlere ve geri dönüşüm süreçlerine ilişkin standardizasyonun ve ürün kalite sertifikasyonunun yetersizliği, yüksek kaliteli döngüsel akışların oluşturulmasını güçleştirmektedir (Bayram et al., 2024). Colucci ve Vecchi'nin çalışmasında A.F. koduyla aktarılan bir görüşmeci, bazı tedarikçilerin GOTS'a uygun olmayan pamuğu GOTS

sertifikalıymış gibi sunduğunu ileri sürmüştür (Colucci & Vecchi, 2021).

Tüketici tarafında ise moda üretiminin çevresel ve toplumsal etkilerine ilişkin farkındalık eksikliği, döngüsel moda uygulamalarının benimsenmesini güçleştirmektedir (Kaur, 2023). Müşteri ilgisinin yetersizliği de moda işletmelerinde döngüsel iş modellerinin uygulanmasını güçleştiren etkenler arasında yer almaktadır (Abbate et al., 2024). Ayrıca geri dönüştürülmüş ürünlere yönelik pazar talebinin düşük kalması, bu ürünlerde tehlikeli kimyasalların kullanılmasıyla ilişkilendirilmektedir (Celep et al., 2022). İkinci el giysi satın alımını en fazla olumsuz etkileyen unsurun sosyal mahcubiyet olduğu, mevcut satış kanallarına ilişkin bilgi eksikliğinin de satın alımı olumsuz etkilediği belirlenirken (Silva et al., 2021), benzer biçimde, geri dönüştürülmüş plastik şişelerden üretilen giysilerin kirlenmiş olduğu yönündeki algının satın alma niyetini azalttığı gösterilmiştir (Meng & Leary, 2021). Tüketici kaynaklı bu sınırlılıkların yanı sıra "ileri dönüşüm gibi tasarımcı odaklı stratejilerde tasarım sürecinin öngörülemezliği, stil çeşitliliğinin sınırlı kalması, farklı beden ölçülerine uyum sağlamadaki zorluklar ve terzilikte beklenen kalite düzeyine ulaşmanın güçlüğü gibi pratik kısıtlar görülmektedir" (Gencal Öztürk, 2025, s. 83).

Tüm bu sınırlılıklar, döngüsel ve sürdürülebilir moda yaklaşımlarının potansiyelini ortadan kaldırmamakla birlikte, uygulamaların ancak teknik altyapı, ekonomi politikaları, mevzuat ve tüketici davranışını birlikte dönüştüren sistemik bir çerçeve içinde ölçeklenebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla 7. bölümde ele alınan eleştiriler ve sınırlılıklar, modanın sürdürülebilirlik dönüşümünün mevcut durumunu gerçekçi biçimde değerlendirmeyi ve döngüselliğin ötesine geçen yaklaşımları tartışmayı gerekli kılmakta; bu tartışma bir sonraki bölümün konusunu oluşturmaktadır.

Sonuç ve Gelecek Perspektifleri

Bu çalışmada moda tasarımında sürdürülebilirliğin yalnızca teknik ve endüstriyel bir mesele değil; aynı zamanda yaratıcı, kültürel ve etik bir dönüşüm meselesi olduğu savından hareket edildi. Sürdürülebilir moda kavramı, moda endüstrisinin çevresel etkisi ve tasarım stratejileri; sanatın tasarımdaki rolü, geleneksel zanaatların, kültürel mirasın ve yerel üretimin yeniden keşfi ile döngüsel ekonomi ilkeleri, malzeme seçimi ve yaşam döngüsü tasarımı; tüm bu yaklaşımların disiplinlerarası kesişimi bölümler boyunca incelendi. Bu incelemenin temel bulgusu, sürdürülebilirliğin modada bir kısıt değil, tasarımın yaratıcı potansiyelini harekete geçirebilecek bir itici güç olarak kavranabileceğidir. Sanat ve zanaat, tasarımcıya zaten var olan değerleri görünür kılma, malzeme ve sürece ilişkin yeni anlatılar kurma olanağı sunarken; döngüsel yaklaşımlar bu yaratıcılığın sistemik bir çerçeveye oturmasını sağlamaktadır.

Ancak eleştirel inceleme, bu potansiyelin hayata geçirilmesinin önünde ciddi engeller bulunduğunu göstermektedir. Sürdürülebilirlik söyleminin ticari bir araca dönüştürülmesiyle ortaya çıkan yeşil yıkama, tüketici güvenini zedelemekte ve döngüsel uygulamaların hayata geçirilmesini tehlikeye atmaktadır (Adamkiewicz et al., 2022). Tekstil endüstrisinde döngüsel tedarik zincirlerinin önünde yönetim ve karar verme, iş gücü, tasarım, malzeme, mevzuat, bilgi ve farkındalık eksikliği, entegrasyon ve iş birliği eksikliği, maliyet ve teknik altyapı kaynaklı çok boyutlu engeller bulunmaktadır (Kazançoğlu et al., 2020); bu engeller iş modeli yeniliği ve düzenleyici baskılardan tüketiciyle ilgili sorunlara kadar uzanan geniş bir yelpazeye yayılmaktadır (Abdelmeguid et al., 2022). Karışık lifli ve çok malzemeli tekstillerin ayrıştırılmasındaki güçlükler, büyük ölçekte uygulanabilir ve güvenilir sınıflandırma teknolojilerine duyulan ihtiyaç ve mekanik olarak geri kazanılan kısa ve düşük kaliteli liflerin çoğunlukla aşağı dönüşüme yönelmesi,

tekstil geri dönüşümünün önündeki temel teknik engelleri oluşturmaktadır (Palacios–Mateo et al., 2021). Tekstillerin toplanması ve geri dönüştürülmesi için gereken maliyetlerin son kullanıcıların ödemeye razı olduğu düzeyi aşması ve mevcut ekonomik koşulların döngüsel iş modelini desteklememesi ise ekonomik engelleri oluşturmaktadır (Schumacher & Forster, 2022). Ürün güvenliğine ilişkin tüketici endişeleri de geri dönüştürülmüş ürünlerin kabulünü sınırlayan etkenler arasındadır (Polyportis et al., 2022). Bu tablo, döngüsel stratejilerin tek başına yeterli olmadığını; atık azaltımı, yeniden kullanım ve geri dönüşümün sistemik dönüşümü sağlamada yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır (Choudhry et al., 2026).

Gelecek perspektifi açısından literatürde öne çıkan yönelimlerden biri, "basit" sürdürülebilirlikten "sistemik" sürdürülebilirliğe geçiştir. Bu dönüşüm; uzun ömürlülük ve döngüsellik için tasarımı, tekstil atıklarının büyük ölçekte güvenilir biçimde sınıflandırılmasını mümkün kılan optik tanımlama teknolojilerini, bakım, onarım, yeniden kullanım ve ileri dönüşümü destekleyen köklü iş modeli değişikliklerini, malzemelerin yaşam döngüsü boyunca izlenmesini ve yeterlilik temelli (sufficiency–based) tüketim anlayışının yaygınlaşmasını gerektirmektedir (Sahimaa et al., 2024). Daha ileri bir adım olarak, döngüselliği aşan ve zarar azaltımı yerine net–pozitif ekolojik ve toplumsal sonuçları hedefleyen rejeneratif moda yaklaşımı öne çıkmaktadır. Biyomimikri, sistem düşüncesi ve doğayla uyumlu tasarım ilkeleri etrafında biyoçeşitliliği, toprak sağlığını ve topluluk direncini merkeze alan bu paradigma, modanın yalnızca sürdürülebilir değil, aynı zamanda onarıcı ve adil bir sistem olarak yeniden kurulmasını önermektedir (Choudhry et al., 2026). Bununla birlikte, söz konusu geçiş yalnızca teknik yeniliklerle sağlanamaz; destekleyici politikalar, güvenilir sertifikasyon sistemleri, altyapı yatırımları ve

daha yavaş, daha bilinçli tüketime yönelen kültürel bir değişim gerektirir (Choudhry et al., 2026).

Politika ve düzenleme düzeyinde de belirgin bir ivme söz konusudur. Avrupa Komisyonu tarafından 2022'de kabul edilen Sürdürülebilir ve Döngüsel Tekstiller için AB Stratejisi; zorunlu eko–tasarım gereklilikleri, satılmayan veya iade edilen tekstil ürünlerinin imhasının önlenmesi, dijital ürün pasaportu, yanıltıcı çevreci iddialarla mücadele ve genişletilmiş üretici sorumluluğu gibi önlemlerle tekstil sektörünün sürdürülebilir ve döngüsel dönüşümünü hızlandırmayı amaçlamaktadır (European Commission, 2022). Tekstil ve moda bağlamında genişletilmiş üretici sorumluluğu, üreticinin bir ürüne ilişkin mali ve yönetsel sorumluluğunu imalat aşamasının ötesine — hem yukarı akışta ürün tasarımına hem de aşağı akışta kullanım sonrası yeniden kullanım, geri dönüşüm veya bertaraf aşamasına — genişleten kapsamlı bir politika yaklaşımıdır; bu yaklaşım geri kazanım programlarının finansmanını vergi mükelleflerinden ve kamudan alıp üretim maliyetinin içine yerleştirir (Schumacher & Forster, 2022). Bu yönüyle EPR, ürünün malzeme yaşam döngüsü boyunca döngüselliği destekleyen ve ürünün kullanım sonrası aşamasını dikkate alan bir tasarımı teşvik edebilir (European Commission, 2022). Schumacher ve Forster'ın (2022) değerlendirdiği dönemde ABD'de tekstilleri kapsayan bir EPR yasası bulunmazken, AB mevzuatı üye devletlere 1 Ocak 2025'e kadar tekstil atıkları için ayrı toplama sistemleri kurma yükümlülüğü getirmiştir (Schumacher & Forster, 2022). Bununla birlikte, stratejinin yayımlandığı dönemde söz konusu önlemlerin nasıl uygulanacağına ilişkin belirsizlikler bulunmaktaydı (Boschmeier et al., 2024). Komuta–kontrol müdahaleleri, eğitim girişimleri, teşvikler ve sertifikasyon farklı politika seçenekleri olarak öne çıkmakta; en uygun politika bileşiminin belirlenmesinde bu araçlar arasındaki ödünleşimlerin gözetilmesi gerekmektedir (Peleg Mizrachi & Tal, 2022).

Gelecek perspektifinin bir diğer boyutu, tasarım eğitimi ve kolektif eylemdir. Sürdürülebilirliğin tekstil ve moda tasarımı eğitimine dâhil edilmesi ve atıkların ileri dönüşümüne dayalı uygulamalı projeler, tasarım öğrencilerinin sürdürülebilirlik ve atık farkındalığını geliştirmelerine katkı sağlayabilir (Gencal Öztürk, 2025). Sürdürülebilir modada kalıcı bir dönüşüm; sürdürülebilir tüketimin önündeki engellerin kaldırılması, sürdürülebilir iş modellerinin desteklenmesi ve değer zincirindeki paydaşların iş birliği içinde hareket etmesini gerektirir (Mukendi et al., 2020). Araştırma cephesinde ise rejeneratif döngüsellik çerçevelerinin farklı sosyo–ekonomik ve coğrafi bağlamlarda ampirik olarak test edilmesi ve tasarımcı, üretici, çiftçi, politika yapıcı ve tüketicileri bir araya getiren paydaş katılımının güçlendirilmesi önerilmektedir (Choudhry et al., 2026).

Sonuç olarak, modanın sürdürülebilirlik dönüşümü; teknik altyapı, ekonomik yapılar, politika araçları, mevzuat, eğitim ve tüketici davranışını birlikte ele alan sistemik bir çerçeve içinde mümkündür (Sahimaa et al., 2024). Bu çalışmada ele alınan sanat, zanaat ve döngüsel tasarım yaklaşımlarının kesişimi, dönüşümün yalnızca bir mühendislik veya politika meselesi olmadığını; aynı zamanda tasarım kültürünün yeniden kurulmasını gerektirdiğini göstermektedir. Moda sisteminin sürdürülebilir dönüşümünü hızlandırabilecek stratejik geçiş yolları (Buchel et al., 2022) ve gelecek kuşaklarda eleştirel düşünme ve dönüştürücü eylem kapasitesi geliştiren sürdürülebilirlik eğitimi (Purković, 2024) bu gelecek vizyonunun önemli bileşenleridir. Moda, ancak bu unsurlar ekolojik restorasyon ve toplumsal adalet hedefleriyle bütünleştiğinde zarar azaltımının ötesine geçerek doğayı ve toplulukları onaran, rejeneratif ve adil bir sisteme dönüşebilir (Choudhry et al., 2026).

Yapay Zekâ Yazma Beyanı

ChatGPT'den araştırma konusunun belirlenmesi ve alt başlıkların oluşturulması aşamalarında fikir desteği alınmıştır. Literatür taramasında ilgili kaynakların belirlenmesi amacıyla Consensus'tan; benzer çalışmaların bulunması ve yayınlar arasındaki atıf ilişkilerinin haritalandırılması amacıyla ResearchRabbit'ten yararlanılmıştır. Çalışmanın farklı bölümlerinde yararlanılan yabancı dildeki makalelerin Türkçeye çevrilmesi ve anlaşılması amacıyla DeepL ve ChatGPT kullanılmıştır. Metin içi atıfların ve kaynakçanın düzenlenmesi ise Zotero aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bu araçlardan konu ve başlık geliştirme, kaynak keşfi ve çeviri desteği amacıyla yararlanılmış; makale metni tarafımca kaleme alınmıştır.

Kaynakça

Aakko, M. (2011). *Kestävästi vaihtuva muoti: Kestävän muodin mahdollisuudet ja haasteet vaatesuunnittelijan näkökulmasta* [Yüksek lisans tezi, Helsingin yliopisto]. Helda. http://hdl.handle.net/10138/27081

Abbate, S., Centobelli, P., Cerchione, R., Nadeem, S. P., & Riccio, E. (2024). Sustainability trends and gaps in the textile, apparel and fashion industries. *Environment, Development and Sustainability*, *26*(2), 2837–2864. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02887-2

Abdelmeguid, A., Afy–Shararah, M., & Salonitis, K. (2022). Investigating the challenges of applying the principles of the circular economy in the fashion industry: A systematic review. *Sustainable Production and Consumption*, *32*, 505–518. https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.05.009

Abdelmeguid, A., Afy–Shararah, M., & Salonitis, K. (2024). Towards circular fashion: Management strategies promoting circular behaviour along the value chain. *Sustainable Production and*

Consumption, *48*, 143–156. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.010

Adamkiewicz, J., Kochańska, E., Adamkiewicz, I., & Bogel-Łukasik, R. (2022). Greenwashing and sustainable fashion industry. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, *38*, Makale 100710. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100710

Akdemir, İ., & Korkmaz, F. D. (2021). Sürdürülebilirlik bağlamında moda ve sanat ilişkisi. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, *10*(1), 191–207. https://izlik.org/JA76KG82ZU

Alahira, J., Olu–lawal, K. A., Ejibe, I., & Ninduwezuor–Ehiobu, N. (2024). Sustainable materials and methods in industrial design: Bridging the gap with fine arts and graphic design for environmental innovation. *Engineering Science & Technology Journal*, *5*(3), 774–782. https://doi.org/10.51594/estj.v5i3.901

Alves, D. I., Barreiros, M. P., Fangueiro, R., & Ferreira, D. P. (2024). Valorization of textile waste: Non–woven structures and composites. *Frontiers in Environmental Science*, *12,* Makale 1365162. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1365162

Anderson, R., de Anda, I., III, Arnall, C., McDonald, A., Maher, M., Prado, M., Dent, C., Deeds, D., & McGuire, R. (2020). Collaborative education: Community based art and fashion learning applications for the prolonged use phase of a T–shirt. *International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings, 77*(1). https://doi.org/10.31274/itaa.12185

Apostol, A. C. (2024). Greenwashing phenomenon and its impact on sustainable development: Challenges to achieving SDG–12 on sustainable consumption and production. *Scientific Annals of the "Alexandru Ioan Cuza" University Iaşi New Series SOCIOLOGY AND SOCIAL WORK Section*, *17*(2), 25–36. https://doi.org/10.47743/asas-2024-2-767

Araújo, M. K. F. de, Mesquita, R. F. de, Matos, F. R. N., & Sobreira, M. do C. (2022). Fashion consumption practices of millennials women: Between fast and slow fashion. *Revista de Administração da UFSM*, *15*(4), 615–633. https://doi.org/10.5902/1983465970206

Atalay Onur, D. (2020a). Integrating circular economy, collaboration and craft practice in fashion design education in developing countries: A case from Turkey. *Fashion Practice*, *12*(1), 55–77. https://doi.org/10.1080/17569370.2020.1716547

Atalay Onur, D. (2020b). Moda tasarımında döngüsel ekonomi kavramı ve farklı tasarım seviyelerinde benimsenen stratejiler. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, *10*(1), 24–40. https://doi.org/10.20488/sanattasarim.828900

Ayanoğlu, G., & Ağaç, S. (2017). Sürdürülebilir moda kavramına yönelik tasarım fikirleri. *Art–e Sanat Dergisi*, *10*(19), 252–273. https://doi.org/10.21602/sduarte.285083

Badhwar, A., Islam, S., Tan, C. S. L., Panwar, T., Wigley, S. M., & Nayak, R. (2024). Unraveling green marketing and greenwashing: A systematic review in the context of the fashion and textiles industry. *Sustainability*, *16*(7), Makale 2738. https://doi.org/10.3390/su16072738

Bag, S., Gupta, S., & Kumar, S. (2021). Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development. *International Journal of Production Economics*, *231*, Makale 107844. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844

Barcellos, L. F., & Broega, A. C. (2018). Co–design of designers and artisans, valorisation and communication of the partnership – A reflection for sustainable fashion design. İçinde *Global Fashion Conference 2018 proceedings*. https://hdl.handle.net/1822/70777

Barrie, J., Zawdie, G., & João, E. (2017). Leveraging triple helix and system intermediaries to enhance effectiveness of protected spaces and strategic niche management for transitioning to circular economy. *International Journal of Technology Management and Sustainable Development*, *16*(1), 25–47. https://doi.org/10.1386/tmsd.16.1.25_1

Battesini Teixeira, T. G., Medeiros, J. F. de, Kolling, C., Ribeiro, J. L. D., & Morea, D. (2023). Redesign in the textile industry: Proposal of a methodology for the insertion of circular thinking in product development processes. *Journal of Cleaner Production*, *397*, Makale 136588. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136588

Batur, G. (2023). Sustainability and recycling strategies: The role of fashion designer in the textile industry. *Kesit Akademi*, *9*(36), 70–96. https://doi.org/10.29228/kesit.71587

Bauerová, A. (2025). *Fast fashion a její sociální dopady* [Hızlı moda ve sosyal etkileri] [Lisans tezi, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích]. Theses.cz. https://theses.cz/id/cyi2gc/

Bayburtlu, Ç. (2023). Somut olmayan kültürel mirasın sürdürülebilirliğine bir örnek: Ormana Gılamıklı dokuma kumaşları. *STAR Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi*, *4*(7), 255–268. https://izlik.org/JA74MJ88EG

Bayram, B., Deserno, L., & Greiff, K. (2024). Product quality in the circular economy: A systematic review of its definition and contexts in scientific literature. *Circular Economy and Sustainability*, *4*(4), 2713–2747. https://doi.org/10.1007/s43615-024-00396-0

Berber, G. Ş., & Önlü, N. (2021). Sürdürülebilir sanat bağlamında geri dönüşüm yaklaşımının tekstil sanatında bireysel söylemleri ve deneysel çalışmalar. *The Journal of Social Sciences*, *8*(55), 486–503. https://doi.org/10.29228/SOBIDER.54874

Bertola, P., Casciani, D., & D'Itria, E. (2026). Designing fashion transitions. *Diid*, (Digital Special Issue 3), 54–69. https://doi.org/10.30682/diidmics25d

Bertola, P., & Teunissen, J. (2018). Fashion 4.0. Innovating fashion industry through digital transformation. *Research Journal of Textile and Apparel*, *22*(4), 352–369. https://doi.org/10.1108/rjta-03-2018-0023

Bocken, N., Kimpimäki, J., Ritala, P., & Konietzko, J. (2025). How circular are large corporations? Evidence from a large–scale survey with senior leaders. *Resources, Conservation and Recycling*, *215*, Makale 108151. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108151

Borusiak, B., Szymkowiak, A., Pierański, B., Musso, F., & Borusiak, D. (2024). Stains that can't be washed: Empirically evaluating company's harm inflicted by greenwashing and social washing. *European Journal of Interdisciplinary Studies*, *16*(2), 129–143. https://doi.org/10.24818/ejis.2024.15

Boschmeier, E., Ipsmiller, W., & Bartl, A. (2024). Market assessment to improve fibre recycling within the EU textile sector. *Waste Management & Research*, *42*(2), 135–145. https://doi.org/10.1177/0734242x231178222

Bouyarmane, H., Hmina, K., Amine, M. E., & Sallaou, M. (2023). Early environmental design of solar collector with consideration for parameter variability. *E3S Web of Conferences*, *469,* Makale 00047. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346900047

Broach, Z., Bartlett, S., van Ditmar, D. F., & Zurita, G. F. (2023). Entanglements of wastelands of fashion: A curricula re–vision. *Proceedings of Relating Systems Thinking and Design*, *RSD12*, Makale 147. https://rsdsymposium.org/fashion-entanglement/

Broega, A. C., & Pardo Cuenca, D. (2025). Why refashion? Fashion, poetics and hybridization of creative methods for a sustainable future. *Convergences – Journal of Research and Arts Education*, *18*(36), 37–46. https://doi.org/10.53681/c1514225187514391s.36.368

Brown, S., & Vacca, F. (2022). Cultural sustainability in fashion: Reflections on craft and sustainable development models. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, *18*(1), 590–600. https://doi.org/10.1080/15487733.2022.2100102

Brydges, T., Henninger, C. E., Amasawa, E., Hanlon, M., & Jones, C. (2022). For waste's sake: Stakeholder mapping of circular economy approaches to address the growing issue of clothing textile waste. *International Journal of Sustainable Fashion & Textiles*, *1*(2), 175–199. https://doi.org/10.1386/sft_0010_1

Buchel, S., Hebinck, A., Lavanga, M., & Loorbach, D. (2022). Disrupting the status quo: A sustainability transitions analysis of the fashion system. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, *18*(1), 231–246. https://doi.org/10.1080/15487733.2022.2040231

Burns, A. (2024). Upcycling classics—sustainable design development through fabric manipulation techniques in fashion design education. *International Journal of Art & Design Education*, *43*(2), 272–288. https://doi.org/10.1111/jade.12502

Burnstine, A. P., & Ghattas, R. (2025). Assessing the sustainable circular fashion supply chain as a model for achieving economic growth in the global market. *Sustainability*, *17*(19), Makale 8558. https://doi.org/10.3390/su17198558

Carlsson, J., Torstensson, H., Pal, R., & Paras, M. K. (2015). *Planning a Swedish collection and sorting plant for used textiles: Feasibility study* (Retextile Series Report 1). University of Borås. https://www.researchgate.net/publication/312939659

Casciani, D., Chkanikova, O., & Pal, R. (2022). Exploring the nature of digital transformation in the fashion industry: Opportunities for supply chains, business models, and sustainability–oriented innovations. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, *18*(1), 773–795. https://doi.org/10.1080/15487733.2022.2125640

Celep, G., Tetik, G. D., & Yilmaz, F. (2022). Limitations of textile recycling: The reason behind the development of alternative sustainable fibers. Içinde H. Ibrahim (Ed.), *Next–generation textiles*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.105118

Centobelli, P., Abbate, S., Nadeem, S. P., & Garza-Reyes, J. A. (2022). Slowing the fast fashion industry: An all–round perspective. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, *38*, Makale 100684. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100684

Ceylan, Ö., & Tunç, N. S. (2021). Moda ve tekstilde sürdürülebilir ürün tasarımı ve TED 10 stratejilerinin uygulanması. *STAR Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi*, *2*(3), 270–278. https://izlik.org/JA62KN34SG

Chen, B. J. (2025). Fashion and art: Diverse possibilities in creation. *International Journal of Education and Humanities*, *18*(2), 196–201. https://doi.org/10.54097/s1azhf85

Chen, T., Yang, E. K., & Lee, Y. (2021). Development of virtual upcycling fashion design based on 3–dimensional digital clothing technology. *The Research Journal of the Costume Culture*, *29*(3), 374–387. https://doi.org/10.29049/rjcc.2021.29.3.374

Choudhry, N., Islam, S., Van Amber, R., Rodriguez, C. Q., Underwood, J., & Panwar, T. (2026). Regenerative fashion systems: Redefining circularity in the fashion and textiles industry. *Circular Economy and Sustainability*, *6*(2), Makale 129. https://doi.org/10.1007/s43615-026-00824-3

Claxton, S., & Kent, A. (2020). The management of sustainable fashion design strategies: An analysis of the designer's role. *Journal of Cleaner Production*, *268*, Makale 122112. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122112

Colucci, M., & Vecchi, A. (2021). Close the loop: Evidence on the implementation of the circular economy from the Italian fashion industry. *Business Strategy and the Environment*, *30*(2), 856–873. https://doi.org/10.1002/bse.2658

Coscieme, L., Manshoven, S., Gillabel, J., Grossi, F., & Mortensen, L. F. (2022). A framework of circular business models for fashion and textiles: The role of business–model, technical, and social innovation. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, *18*(1), 451–462. https://doi.org/10.1080/15487733.2022.2083792

Çavuş, A., & Kırmacı, E. (2025). The examination of ehram fabric as intangible cultural heritage and a touristic product. *Social Sciences & Humanities Open*, *12*, Makale 102185. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.102185

Çetiner, M. (2023). Sürdürülebilir moda ve bölgesel markalama: Tokat önerisi. *Folklor Akademi Dergisi*, *6*(1), 341–364. https://doi.org/10.55666/folklor.1176780

D'Adamo, I., & Lupi, G. (2021). Sustainability and resilience after COVID–19: A circular premium in the fashion industry. *Sustainability*, *13*(4), Makale 1861. https://doi.org/10.3390/su13041861

De Brito, M. P., Carbone, V., & Blanquart, C. (2008). Towards a sustainable fashion retail supply chain in Europe: Organisation and performance. *International Journal of Production Economics*, *114*(2), 534–553. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.06.012

De Freitas Netto, S. V., Sobral, M. F. F., Ribeiro, A. R. B., & Soares, G. R. da L. (2020). Concepts and forms of greenwashing: A systematic review. *Environmental Sciences Europe*, *32,* Makale 19. https://doi.org/10.1186/s12302-020-0300-3

Denaro, G., & Pruiti, A. (2024). New era of Italian know–how in fashion. *Fashion Highlight*, *3*, 48–55. https://doi.org/10.36253/fh-2713

D'Itria, E., & Vacca, F. (2024). Shaping sustainable solutions in fashion through design–led strategies, approaches, and practices. *Discover Sustainability*, *5*, Makale 409. https://doi.org/10.1007/s43621-024-00624-5

Dissanayake, G., & Sinha, P. (2015). An examination of the product development process for fashion remanufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, *104*, 94–102. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.008

Dybdahl, L. M. (2019). Business model innovation for sustainability through localism. İçinde N. Bocken, P. Ritala, L. Albareda, & R. Verburg (Ed.), *Innovation for sustainability: Business transformations towards a better world* (ss. 193–211). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97385-2_11

Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy

Enes, E. (2024). Sürdürülebilir moda tasarımı stratejisi olarak "döngüsel moda tasarımı" H&M iş modeli örneği. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, (33), 93–118. https://doi.org/10.18603/sanatvetasarim.1250423

Er Bıyıklı, N., Saatçıoğlu, K., Yaykıran Sezgin, S. E., & Celik, S. (2024). Sürdürülebilirlikte ileri dönüşüm ve kolektif iş birliği örneği;

"Re–Love". *Art–e Sanat Dergisi*, *17*(33), 271–287. https://doi.org/10.21602/sduarte.1446195

Ermilova, D. Y., Lyakhova, N. B., & Popov, S. A. (2020). Art design and creative concepts in fashion design. *Revista Inclusiones, 7*(Özel sayı), 262–271. http://revistainclusiones.org/index.php/inclu/article/view/1161

European Commission. (2022). *EU strategy for sustainable and circular textiles* [Communication from the Commission]. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022DC0141

Farrant, L., Olsen, S. I., & Wangel, A. (2010). Environmental benefits from reusing clothes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *15*(7), 726–736. https://doi.org/10.1007/s11367-010-0197-y

Ferreira, P., Apolinário, A., & Forman, G. (2023). Optimising textile biomaterial selection for sustainable product and circular design: Practical guidelines for a greener future. *Materials Circular Economy*, *5,* Makale 14. https://doi.org/10.1007/s42824-023-00086-6

Fletcher, K. (2010). Slow fashion: An invitation for systems change. *Fashion Practice*, *2*(2), 259–265. https://doi.org/10.2752/175693810x12774625387594

Fletcher, K. (2012). Durability, fashion, sustainability: The processes and practices of use. *Fashion Practice*, *4*(2), 221–238. https://doi.org/10.2752/175693812x13403765252389

Fletcher, K. (2014). *Sustainable fashion and textiles: Design journeys* (2. bs.). Routledge.

Forst, L., & Goldsworthy, K. (2025). Compatible blending for circular textiles with next–gen materials. *Proceedings of the 6th*

Product Lifetimes and the Environment Conference (PLATE2025), (6), 1–8. https://doi.org/10.54337/plate2025-10370

Forst, L. (2020). Disassembly discussed: Creative textile sampling as a driver for innovation in the circular economy. *Journal of Textile Design Research and Practice*, *8*(2), 172–192. https://doi.org/10.1080/20511787.2019.1667156

Forst, L. (2022). Textile thinking in practice: Creative textile design methods as research in a circular economy. İçinde D. Lockton, S. Lenzi, P. Hekkert, A. Oak, J. Sádaba, & P. Lloyd (Ed.), *DRS2022: Bilbao*. Design Research Society. https://doi.org/10.21606/drs.2022.527

Franzo, P., Quartu, A., & Tufarelli, M. (2025). Re–shaping fashion in Italy. Circular systems, phygital scenarios, and informal education. *AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design*, *18*, 344–357. https://doi.org/10.69143/2464-9309/18212025

Fuchs, C., Schreier, M., & van Osselaer, S. M. J. (2015). The handmade effect: What's love got to do with it? *Journal of Marketing*, *79*(2), 98–110. https://doi.org/10.1509/jm.14.0018

Gencal Öztürk, R. Z. (2025). Tekstil ve moda tasarımı eğitiminde atıklar ve ileri dönüşümüne yönelik bir tasarım önerisi. *ERKİN (Ondokuz Mayıs Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Uluslararası Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi)*, *3*(1), 71–86. https://dergipark.org.tr/tr/pub/erkin/article/1691646

Goldsworthy, K., Earley, R., & Politowicz, K. (2018). Circular speeds: A review of fast & slow sustainable design approaches for fashion & textile applications. *Journal of Textile Design Research and Practice*, *6*(1), 42–65. https://doi.org/10.1080/20511787.2018.1467197

Goyal, A., & Choudhury, J. (2024). Exploring the revival of traditional handloom techniques in contemporary fashion trends in emerging technologies and sustainable finance. İçinde N. Pathak, M. Gupta, V. Sharma, & A. Chaudhary (Ed.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Emerging Technologies and Sustainable Business Practices–2024 (ICETSBP 2024)* (ss. 472–485). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-544-7_31

Gürcüm, B. H., & Yüksel, C. (2011). Moda sektörünü "yavaşlatan" eğilim: Eko moda ve moda'da sürdürülebilirlik. *Akdeniz Sanat*, *4*(8), 48–51. https://izlik.org/JA34UL86YH

Gwilt, A., & Pal, R. (2017). Conditional garment design for longevity. İçinde C. Bakker & R. Mugge (Ed.), *Product lifetimes and the environment 2017: Conference proceedings* (ss. 149–153). IOS Press. https://doi.org/10.3233/978-1-61499-820-4-149

Halaçeli Metlioğlu, H., & Yakın, V. (2021). Tekstilde sürdürülebilirlik: Hızlı moda markalarının sürdürülebilirlik stratejileri. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, *18*(Yönetim ve Organizasyon Özel Sayısı), 1883–1908. https://doi.org/10.26466/opus.873787

Halaçeli Metlioğlu, H., & Yılmaz Gözene, H. (2025). Sürdürülebilirlik bağlamında sıfır atık moda tasarımı ve örme giysiler. *Yıldız Journal of Art and Design*, *11*(2), 48–57. https://doi.org/10.47481/yjad.1535419

Hall, C. A., Forst, L., Goldsworthy, K., & Earley, R. (2023). Broken butterfly wings: Exploring the role of textile blends in the circular economy for recycling and disassembly. *Journal of Textile Design Research and Practice*, *11(1–2)*, 6–33. https://doi.org/10.1080/20511787.2023.2208929

Hameed, U., Zaheer, S. H., Amin, N., & Hussain, S. (2023). Exploring low–waste patternmaking techniques for sustainable

solutions in fashion industry. *Journal of Design and Textiles*, *2*(2), 41–64. https://doi.org/10.32350/jdt.22.03

Hammar, T., Peñaloza, D., & Hanning, A. C. (2024). Life cycle assessment of a circular textile value chain: The case of a garment made from chemically recycled cotton. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *29*(10), 1880–1898. https://doi.org/10.1007/s11367-024-02346-2

Hardabkhadze, I., Bereznenko, S., Kyselova, K., Bilotska, L., & Vodzinska, O. (2023). Fashion industry: Exploring the stages of digitalization, innovative potential and prospects of transformation into an environmentally sustainable ecosystem. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies, 1*(13 (121)), 86–101. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273630

Herndon, K. (2023). *The pain of progress: Our renew program reaches 2 million garments*. Eileen Fisher. https://www.eileenfisher.com/a-sustainable-life/journal/sustainability/renew-program-reaches-2-million-garments.html

Hîrțescu, C. G. (2024). Creative approaches in sustainable fashion design. *Journal of Research and Innovation for Sustainable Society*, *6*(1), 98–104.

Hu, J., Hur, E., & Thomas, M. A. (2024). Value–creating practices and barriers for collaboration between designers and artisans: A systematic literature review. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, *17*(1), 25–36. https://doi.org/10.1080/17543266.2023.2228337

Hu, J., Hur, E., & Thomas, M. A. (2025). Bridging the macro, meso and micro levels of designer–artisan co–design: Case studies of value co–creation within Chinese textile crafts. *Sustainable Development*, *33*(6), 8151–8173. https://doi.org/10.1002/sd.70072

Huang, T. C., Jin, M., & Lin, M. (2026). Innovating sustainable fashion design: An exploration of the sustainability of a hybrid method through the C2CAD framework. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, *19*(1), 78–88. https://doi.org/10.1080/17543266.2024.2436093

Islam, M. M., Perry, P., & Gill, S. (2021). Mapping environmentally sustainable practices in textiles, apparel and fashion industries: A systematic literature review. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, *25*(2), 331–353. https://doi.org/10.1108/JFMM-07-2020-0130

Izidio, L. L., Cruz, B. de O. e, Couto, R. M. de S., Novaes, L., & Farbiarz, J. L. (2018). Design and handicrafts: The importance of interdisciplinarity in collaborative design practice. *Strategic Design Research Journal*, *11*(1), 9–14. https://doi.org/10.4013/sdrj.2018.111.02

Jaiswar, V., & Naseem, B. (2026). The intersection of wearable art and sustainability. *International Journal For Multidisciplinary Research*, *8*(1), 1–11. https://doi.org/10.36948/ijfmr.2026.v08i01.67688

Jimenez–Fernandez, A., Aramendia–Muneta, M. E., & Alzate, M. (2023). Consumers' awareness and attitudes in circular fashion. *Cleaner and Responsible Consumption*, *11*, Makale 100144. https://doi.org/10.1016/j.clrc.2023.100144

Kang, Z., & Zhou, Y. (2026). *Co–design from a knowledge transformation perspective: Facilitating cooperation and communication between designers and craftspeople* [Veri seti]. Figshare. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.31878287

Kaur, R. (2023). Impact of circular economy on sustainable fashion: Opportunities and challenges. *International Journal for Research in*

Applied Science and Engineering Technology, *11*(9), 59–63. https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.55602

Kaya, Ö. (2023). Collections made with sustainable fabrics: Sustainable fashion – environmental sensitivity. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, (31), 111–128. https://dergipark.org.tr/tr/pub/sanatvetasarim/article/1312075

Kazançoğlu, İ., Kazançoğlu, Y., Yarımoğlu, E., & Kahraman, A. (2020). A conceptual framework for barriers of circular supply chains for sustainability in the textile industry. *Sustainable Development*, *28*(5), 1477–1492. https://doi.org/10.1002/sd.2100

Kır, B., & Çaşkurlu, S. (2024). Örnek uygulamalarıyla ayakkabı tasarım ve üretiminde sürdürülebilirlik. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, *14*(2), 428–446. https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1298105

Kim, Y., & Oh, K. W. (2020). Effects of perceived sustainability level of sportswear product on purchase intention: Exploring the roles of perceived skepticism and perceived brand reputation. *Sustainability*, *12*(20), Makale 8650. https://doi.org/10.3390/su12208650

Kipöz, Ş., & Himam, F. D. (2014). Re–inventing traditional textiles for the contemporary design culture. *Blucher Design Proceedings, 1*(5), 439–444. https://doi.org/10.5151/despro-icdhs2014-0062

Koo, H., Dunne, L. E., & Bye, E. (2014). Design functions in transformable garments for sustainability. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, *7*(1), 10–20. https://doi.org/10.1080/17543266.2013.845250

Koutsou, V., Zoumaki, M., Lykourioti, I., & Korlos, A. (2025). The role of traditional handcrafting in promoting sustainability: A

literature review. *Design+*, *2*(3), Makale 25190027. https://doi.org/10.36922/dp025190027

Kurpierz, J., & Smith, K. (2020). The greenwashing triangle: Adapting tools from fraud to improve CSR reporting. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, *11*(6), 1075–1093. https://doi.org/10.1108/sampj-10-2018-0272

Kurtuldu, E., & Öğüt, L. (2023). Sürdürülebilir tekstiller kapsamında evsel organik atıklarla Bojagi–Jogakbo'nun yeniden yorumlanması. *Yedi*, (29), 115–127. https://doi.org/10.17484/yedi.1030417

Le, T., Dang, P., & Bui, T. (2024). Towards sustainable products and services: The influences of traditional costumes in promoting sustainable fashion. *Sustainability*, *16*(22), Makale 9800. https://doi.org/10.3390/su16229800

Leal Filho, W., Ellams, D., Han, S., Tyler, D., Boiten, V. J., Paço, A., Moora, H., & Balogun, A. (2019). A review of the socio–economic advantages of textile recycling. *Journal of Cleaner Production*, *218*, 10–20. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.210

Linder, M., & Williander, M. (2017). Circular business model innovation: Inherent uncertainties. *Business Strategy and the Environment*, *26*(2), 182–196. https://doi.org/10.1002/bse.1906

Lopez, C. A. (2024). Revalue sartorial culture for a circular economy: The thread of ethics, from a designed needle towards a sustainable horizon. *Base Diseño E Innovación*, *8*(9), 69–84. https://doi.org/10.52611/bdi.num9.2023.938

Luchetti, L. (2025). Fashion, art and social responsibility: The challenge of sustainability in training programs. Scuola democratica (Ed.), *Proceedings of the Third International Conference of the journal Scuola democratica. Education and/for social justice: Cilt 2. Cultures, practices, and change* içinde (ss. 712–717).

Associazione Per Scuola Democratica. https://hdl.handle.net/11590/534308

Ma, J., Huang, L., Guo, Q., & Zhu, Y. (2024). Sustainability in design: Sustainable fashion design practices and environmental impact using mixed-method analysis. *Business Strategy and the Environment*, *33*(7), 6889–6910. https://doi.org/10.1002/bse.3843

Ma, J. J. (2024). Re–engineering nubi: A design–driven approach to cultural sustainability in Korean fashion/textile practice. *TEXTILE, 22*(4), 647–665. https://doi.org/10.1080/14759756.2024.2367292

Macchion, L., Moretto, A., Caniato, F., Caridi, M., Danese, P., & Vinelli, A. (2015). Production and supply network strategies within the fashion industry. *International Journal of Production Economics*, *163*, 173–188. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.006

Mazzitelli, M., Papile, F., & Curto, B. D. (2024). Materials selection and fashion design: Strengthening reflections on fibre's nature in fibres and textiles selection. *Discover Sustainability*, *5*(1), Makale 180. https://doi.org/10.1007/s43621-024-00294-3

McCartney, N., & Tynan, J. (2021). Fashioning contemporary art: A new interdisciplinary aesthetics in art–design collaborations. *Journal of Visual Art Practice*, *20*(1–2), 143–162. https://doi.org/10.1080/14702029.2021.1940454

Meng, M. D., & Leary, R. B. (2021). It might be ethical, but I won't buy it: Perceived contamination of, and disgust towards, clothing made from recycled plastic bottles. *Psychology & Marketing*, *38*(2), 298–312. https://doi.org/10.1002/mar.21323

Mukendi, A., Davies, I., Glozer, S., & McDonagh, P. (2020). Sustainable fashion: Current and future research directions.

European Journal of Marketing, *54*(11), 2873–2909. https://doi.org/10.1108/ejm-02-2019-0132

Munasinghe, P. D., Druckman, A., & Dissanayake, G. (2021). A systematic review of the life cycle inventory of clothing. *Journal of Cleaner Production*, *320*, Makale 128852. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128852

Nas, E. (2022). Ürün tasarımında kültürel sürdürülebilirlik ve özgün değer. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *24 (Özel sayı)*, 81–99. https://doi.org/10.16953/deusosbil.1190378

Nayak, R., Singh, A., Panwar, T., & Padhye, R. (2019). A review of recent trends in sustainable fashion and textile production. *Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering, 4*(5), Makale 555648. https://doi.org/10.19080/ctftte.2019.04.555648

Niinimäki, K. (Ed.). (2014). *Sustainable fashion: New approaches*. Aalto University. https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/13769

Niinimäki, K., & Armstrong, C. M. (2013). From pleasure in use to preservation of meaningful memories: A closer look at the sustainability of clothing via longevity and attachment. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, *6*(3), 190–199. https://doi.org/10.1080/17543266.2013.825737

Niinimäki, K., & Hassi, L. (2011). Emerging design strategies in sustainable production and consumption of textiles and clothing. *Journal of Cleaner Production*, *19*(16), 1876–1883. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.020

Núñez Barranco, A. N., & Song, H. K. (2025). Traditional culture and its influence on contemporary fashion design: A multi–level analysis. *International Journal of Costume and Fashion*, *25*(2), 17–35. https://doi.org/10.7233/ijcf.2025.25.2.017

Odabaşı, S., & Şahin, Y. (2019). Moda tasarımı eğitiminde sürdürülebilirlik üzerine yaklaşımlar. *Art–e Sanat Dergisi*, *12*(23), 1–25. https://doi.org/10.21602/sduarte.514273

Oral Karakoç, H. (2024). Mimarlıkta zanaat bilgisinin dijitalleştirilmesi: Çevrimler ve aktarımlar. *Journal of Computational Design,* *5*(2), 163–182. https://doi.org/10.53710/jcode.1505957

Oxborrow, L., & Claxton, S. (2016). Extending clothing lifetimes: An exploration of design and supply chain challenges. P. Lloyd ve E. Bohemia (Ed.), *Proceedings of DRS 2016: Design + research + society—Future–focused thinking* içinde (Cilt 10, ss. 3815–3829). Design Research Society. https://doi.org/10.21606/drs.2016.482

Oyefeso, S. (2025). Zero–waste fashion design– a new paradigm for sustainable production and consumption. *Zenodo*. https://doi.org/10.5281/zenodo.18595641

Özkan, N. (2019). 'Sınırsız inovasyon'… hızlı moda ürün tasarımının uluslararası tedarik zincirleri üzerindeki etkisi. *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, *4*(10), 203–213. https://doi.org/10.25204/iktisad.591677

Özkan Kuş, N., & Erben, F. (2024). İleri dönüşüm bağlamında: Denim giysi tasarımları. *Korkut Ata Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, (15), 1276–1287. https://doi.org/10.51531/korkutataturkiyat.1420470

Palacios–Mateo, C., van der Meer, Y., & Seide, G. H. (2021). Analysis of the polyester clothing value chain to identify key intervention points for sustainability. *Environmental Sciences Europe*, *33*(1), Makale 2. https://doi.org/10.1186/s12302-020-00447-x

Pandit, P., Nadathur, G. T., & Jose, S. (2019). Upcycled and low–cost sustainable business for value–added textiles and fashion. S. S. Muthu (Ed.), *Circular economy in textiles and apparel: Processing, manufacturing, and design* içinde (ss. 95–122). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102630-4.00005-4

Paras, M. K., & Curteza, A. (2018). Revisiting upcycling phenomena: A concept in clothing industry. *Research Journal of Textile and Apparel*, *22*(1), 46–58. https://doi.org/10.1108/rjta-03-2017-0011

Pavlova, M., & Atanasova, R. (2020). Developing a creative method for reuse of clothing. *E3S Web of Conferences*, *207*, 3006. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020703006

Peleg Mizrachi, M., & Tal, A. (2022). Regulation for promoting sustainable, fair and circular fashion. *Sustainability*, *14*(1), Makale 502. https://doi.org/10.3390/su14010502

Peleg Mizrachi, M. (2023). The good, the bad, and the sustainable: How technology has changed and continues to change the world of fashion, from cotton gin to digital clothes. İçinde A. Körlü, M. İ. Bahtiyari, & S. Kanat (Ed.), *Roadmap to sustainable textiles*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.112104

Pešić, M., Nemeša, I., & Đurđić, D. (2025). Reducing textile waste through digital technologies: Case study of CLO 3D and Audaces in fashion design. *Savremeni trendovi i inovacije u tekstilnoj industriji—Contemporary trends and innovations in the textile industry—CT&ITI 2025: Zbornik radova* içinde (ss. 425–433). Savez inženjera i tehničara tekstilaca Srbije. https://doi.org/10.5937/ct_iti25041p

Polyportis, A., Mugge, R., & Magnier, L. (2022). Consumer acceptance of products made from recycled materials: A scoping

review. *Resources, Conservation and Recycling*, *186*, Makale 106533. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106533

Pucci, E., Tufarelli, M., & Giliberti, L. (2022). Slow fashion accompanies digital towards a sustainable future: From quantity to quality. Reflections on the new paradigm of sustainable fashion. *Proceedings of the Design Society*, *2*, 1091–1098. https://doi.org/10.1017/pds.2022.111

Puri, A., & Gaba Adlakha, P. (2025). Reimagining circular fashion: Crafts' role in sustainable development. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, *14*(1), 152–158. https://doi.org/10.21275/SR25101210326

Purković, D. (2024). Demystifying technology as the basis of education for sustainability. L. Hufnagel (Ed.), *Globalization and sustainability: Ecological, social and cultural perspectives* içinde (ss. 193–212). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1004517

Ramzan, M., Habib, M. S., Omair, M., Naeem, J., Mustafa, H., Iqbal, M. W., & Malik, A. I. (2023). Role of design for disassembly in educating consumers for circular behavior. *Sustainability*, *15*(21), Makale 15505. https://doi.org/10.3390/su152115505

Riisberg, V., & Folkmann, M. N. (2015, 19–21 Ağustos). *Exploring the aesthetics of sustainable fashion* [Bildiri sunumu]. 14th Nordcode Seminar and Workshop: SADE—Semiotics + Art and Design Experience, Jyväskylä, Finlandiya. https://portal.findresearcher.sdu.dk/da/publications/cafcfb8a-a174-4a87-a2d5-a22418631fd5

Rissanen, T., & McQuillan, H. (2016). *Zero waste fashion design*. Bloomsbury Publishing.

Robinson, T. M. (2010). Thematizing change: Creativity, dynamic practices and sustainability. S. L. Tsai (Ed.), *Fashion: Sustainability and creativity: Conference proceedings, 12th annual conference* içinde (ss. 276–287). International Foundation of Fashion Technology Institute. http://hdl.handle.net/10453/16556

Rosato, L., Drews, J. A., Tour, A., Bassereau, J. F., & Mosse, A. (2023). Seamlessness and monomateriality in sustainable garment design. A knit/woven trouser prototype. *diid*, (80), 120–131. https://doi.org/10.30682/diid8023j

Rossi, C., & Rivetti, F. (2020). Assessing young consumers' responses to sustainable labels: Insights from a factorial experiment in Italy. *Sustainability*, *12*(23), Makale 10115. https://doi.org/10.3390/su122310115

Ruiz–Blanco, S., Romero, S., & Fernandez–Feijoo, B. (2022). Green, blue or black, but washing–what company characteristics determine greenwashing? *Environment, Development and Sustainability*, *24*(3), 4024–4045. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01602-x

Sá, R. A. V. (2023). *Design modular: Acessórios sustentáveis a partir do reaproveitamento de têxteis* [Yüksek lisans tezi, Universidade do Minho]. RepositóriUM. https://hdl.handle.net/1822/88826

Saatçıoğlu, K., & Venkatraman, P. D. (2024). The environmental impact of end–of–life PVC flex banners and its potential upcycling opportunities. *Waste Management Bulletin*, *2*(3), 249–265. https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.08.008

Sadhna, Greeshma, S., Kumar, R., & Mokanaasri, E. (2025). Cultural heritage and transformation in fashion industry: Fostering, preserving and innovating. Sadhna, R. Kumar, C. Harper, H. Memon ve S. Greeshma (Ed.), *Cultural heritage in the fashion industry:*

From tradition to innovation in India içinde (ss. 231–236). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003602613-21

Sahimaa, O., Miller, E. M., Halme, M., Niinimäki, K., Tanner, H., Mäkelä, M., Rissanen, M., Härri, A., & Hummel, M. (2024). From simplistic to systemic sustainability in the textile and fashion industry. *Circular Economy and Sustainability*, *4*(2), 1115–1131. https://doi.org/10.1007/s43615-023-00322-w

Sahoo, A. K., Navinbhai, A. H., Dubey, M. P., Khan, S., Verma, J. K., Kavya, C., Yadav, S., & Yadav, K. (2026). Weaving sustainability: Utilizing garment waste with innovative weave structures for handloom fashion applications. *International Journal for Multidisciplinary Research,* *8*(2), 1–7. https://doi.org/10.36948/ijfmr.2026.v08i02.72657

Sandhu, A. (2020). Fashioning wellbeing through craft: A case study of Aneeth Arora's strategies for sustainable fashion and decolonizing design. *Fashion Practice*, *12*(2), 172–192. https://doi.org/10.1080/17569370.2020.1769362

Sandin, G., & Peters, G. M. (2018). Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. *Journal of Cleaner Production, 184*, 353–365. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266

Sandin, G., Roos, S., & Johansson, M. B. (2019). Environmental impact of textile fibers – What we know and what we don't know : Fiber bible part 2. *KTH Publication Database DiVA (KTH Royal Institute of Technology)*. 10.13140/RG.2.2.23295.05280

Sandvik, I. M., & Stubbs, W. (2019). Circular fashion supply chain through textile–to–textile recycling. *Journal of Fashion Marketing and Management*, *23*(3), 366–381. https://doi.org/10.1108/jfmm-04-2018-0058

Santos, C., Coelho, A., & Marques, A. (2024). A systematic literature review on greenwashing and its relationship to stakeholders: State of art and future research agenda. *Management Review Quarterly*, *74*(3), 1397–1421. https://doi.org/10.1007/s11301-023-00337-5

Sapmaz Veral, E. (2022). Yeşil yıkama ile mücadele: Avrupa Birliği'nde yeşil iddiaların doğrulanması girişimi. *Sayıştay Dergisi*, *33*(124), 101–109. https://doi.org/10.52836/sayistay.1110591

Sari, S., & Elibol, B. (2022). Importance of design collaborations in clothing practices. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, *12*(1), 237–250. https://doi.org/10.20488/sanattasarim.1133881

Schiaroli, V., Dangelico, R. M., & Fraccascia, L. (2025). Mapping sustainable options in the fashion industry: A systematic literature review and a future research agenda. *Sustainable Development, 33*(1), 431–464. https://doi.org/10.1002/sd.3129

Schumacher, K. A., & Forster, A. L. (2022). Textiles in a circular economy: An assessment of the current landscape, challenges, and opportunities in the United States. *Frontiers in Sustainability*, *3,* Makale 1038323. https://doi.org/10.3389/frsus.2022.1038323

Siddhartha, S. (2024). Sustainable fashion: Exploring the concept of greenwashing and new trends in the fashion industry. *International Journal of Innovative Science and Research Technology, 9*(7), 1264–1272. https://doi.org/10.38124/ijisrt/ijisrt24jul957

Silva, S. C. e, Santos, A. B. M. D., Duarte, P., & Vlačić, B. (2021). The role of social embarrassment, sustainability, familiarity and perception of hygiene in second–hand clothing purchase experience. *International Journal of Retail & Distribution Management*, *49*(6), 717–734. https://doi.org/10.1108/ijrdm-09-2020-0356

Singh, N., & Singh, M. (2025). Traditional embroidery revival for sustainability: A systematic literature review and bibliometric

analysis. *Discover Sustainability*, *6*(1), Makale 180. https://doi.org/10.1007/s43621-025-00944-0

Sirilertsuwan, P., Ekwall, D., & Hjelmgren, D. (2018). Proximity manufacturing for enhancing clothing supply chain sustainability. *The International Journal of Logistics Management*, *29*(4), 1346–1378. https://doi.org/10.1108/ijlm-09-2017-0233

Spagnoli, A. (2026). Between fragmentation and circularity: Design directions for the transition of Italian fashion. *Fashion Highlight*, (SI2), 30–42. https://doi.org/10.36253/fh-3942

Struminska, T., Kolosnichenko, O., & Ostapenko, N. (2026). Emotional durability in fashion: New strategies of design and consumption. *Humanities science current issues*, *3*(95), 127–137. https://doi.org/10.24919/2308-4863/95-3-15

Suh, J., & Yoo, Y. (2023). A study of emotionally durable design for fashion product longevity. *Journal of the Korean Society of Costume*, *73*(4), 136–150. https://doi.org/10.7233/jksc.2023.73.4.136

Swamy, U., Hodges, N. J., & Su, J. (2024). Staying 'eco–local': An exploration of Fibershed as a sustainable supply chain alternative. *International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings, 80*(1). https://doi.org/10.31274/itaa.17216

Şahin, Y., & Odabaşı, S. (2018). Sürdürülebilir kalkınmada moda tasarımcısının rolü'ne yönelik alanyazın incelemesi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, *14*(2), 413–425. https://doi.org/10.17130/ijmeb.2018239940

Şevkay, I., & Bayburtlu, I. (2020). Sürdürülebilirlik bağlamında inovatif yaklaşımlar ve modüler giyim tasarımı. *Yıldız Journal of Art and Design*, *7*(2), 150–176. https://doi.org/10.47481/yjad.772513

Taşkesen, O. (2016). Yerelden evrensele sanatta disiplinlerarası bir yaklaşım uygulaması. *Sanat Dergisi*, (30), 15–27. https://izlik.org/JA43YN22JF

TerraChoice. (2010). *The sins of greenwashing: Home and family edition*.

Tischberger–Aldrian, A., Stipanovic, H., Kuhn, N., Bäck, T., Schwartz, D., & Koinig, G. (2024). Automatisierte Textilsortierung – Status quo, Herausforderungen und Perspektiven. *Österreichische Wasser– und Abfallwirtschaft, 76*(1–2), 63–79. https://doi.org/10.1007/s00506-023-01004-5

Türkmen, N. (2011). Sürdürülebilir bir tekstil endüstrisi için "yavaşlık" ve alternatif üretim modelleri. *Akdeniz Sanat*, *4*(8), 59–61. https://izlik.org/JA44ES79YC

Twigger Holroyd, A., Cassidy, T., Evans, M., & Walker, S. (2017). Wrestling with tradition: Revitalizing the Orkney chair and other culturally significant crafts. *Design and Culture*, *9*(3), 283–299. https://doi.org/10.1080/17547075.2017.1370310

Väänänen–Lauterbach, J., Lewe, E., & Niinimäki, K. (2026). Personal, social, and environmental spheres in consumers' knowledge of textile materials. *Journal of Sustainability Research*, *8*(2), Makale e260032. https://doi.org/10.20900/jsr20260032

Varol, H., & Onur, D. A. (2025). Dijitalleşmenin sürdürülebilir moda üzerindeki etkileri. *Anadolu Üniversitesi Sanat & Tasarım Dergisi*, *15*(1), 565–589. https://doi.org/10.20488/sanattasarim.1717840

Vencatachellum, I. (2005). Foreword. *Designers meet artisans: A practical guide* içinde (ss. v–vi). Craft Revival Trust; Artesanías de Colombia S.A.; UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000147132

Wang, M., Kim, E., & Du, B. (2022). Promoting emotional durability and sustainable fashion consumption through art derivatives design methods. *The Design Journal*, *25*(5), 789–806. https://doi.org/10.1080/14606925.2022.2088095

Weerakoon, T. G., Wimalasena, S., & Zvirgzdiņš, J. (2023). Assessment of implementation of circular economy framework in the Sri Lankan construction sector. *Baltic Journal of Real Estate Economics and Construction Management*, *11*(1), 133–152. https://doi.org/10.2478/bjreecm-2023-0009

Yan, W., & Li, K. (2023). Sustainable cultural innovation practice: Heritage education in universities and creative inheritance of intangible cultural heritage craft. *Sustainability*, *15*(2), Makale 1194. https://doi.org/10.3390/su15021194

Yetmen, G. (2022). Geleneksel Şile bezi'nin sürdürülebilir tasarım anlayışı ile yeniden markalaşması önerisi. *Art–e Sanat Dergisi*, *15*(30), 1306–1333. https://doi.org/10.21602/sduarte.1176580

Yıldız, Ş., & Mermerci, Ü. G. (2024). Kültür etkisinden yansıyan modaya bir bakış. *Turkish Journal of Fashion Design and Management*, *6*(2), 141–166. https://doi.org/10.54976/tjfdm.1386806

Younus, M. (2024). Sustainable fashion analytics: Predicting the future of eco–friendly textile. *Global Mainstream Journal of Business, Economics, Development & Project Management*, *3*(3), 13–26. https://doi.org/10.62304/jbedpm.v3i03.85

Zbuchea, A. (2022). Traditional crafts. A literature review focused on sustainable development. *Culture Society Economy Politics*, *2*(1), 10–27. https://doi.org/10.2478/csep-2022-0002


BİDGE