

ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



ALANYA
**ALAADDİN
KEYKUBAT**
ÜNİVERSİTESİ

Cilt:5 Sayı:2 (Mayıs-Ağustos 2023)

Volume:5 Issue:2 (May-August 2023)

ALKU
JOURNAL of SCIENCE

e-ISSN 2667-7814

Alanya
Alaaddin Keykubat University

DERGİNİN KÜNYESİ / JOURNAL INFO

Derginin Adı / Journal Name: ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi / ALKU Journal of Science

Kısa Adı/ Short Name:

e-ISSN: 2667-7814

Doi prefix: 10.46740/alku.

Yayın Dili / Publication Language : Türkçe / English

Yayın Periyodu / Publication Period: Yılda üç kez (Nisan, Ağustos ve Aralık) / Three times a year (April, August, and December)

Sahibi / Owner: Prof. Dr. Kenan Ahmet TÜRKDOĞAN, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rektörü

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Publishing Manager: Prof. Dr. Mehmet GÜMÜŞ

Kuruluş / Establishment: ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi tarafından tüm mühendislik bilimleri ve temel bilimler alanında yılda 3 kez yayınlanan hakemli bir dergidir. Dergimizde, Türkçe ve İngilizce dillerinde orijinal araştırma çalışmaları ve derlemeler yayımlanmaktadır. Bu dergi, hakemli ve açık erişimli bir uluslararası mühendislik bilimleri ve temel bilimler dergisidir. Değerlendirme ve yayınlanma süreçlerinde yazarlardan ücret talep edilmez.

ALKU Journal of Science is an international, peer-reviewed journal which is published by Rafet Kayış Engineering Faculty of Alanya Alaaddin Keykubat University in all areas of engineering and basic science. ALKU Journal of Science is a triannually published open access journal operating an online submission and peer review system which allows authors to submit articles online and track their progress. No charges are required from the authors in all of the publication steps.

Dizinler ve Platformlar / Indexing and Platforms: Google Scholar, Cosmos Impact Factor, ResearchBip, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Asos Index, International Innovative Journal Impact Factor(IIJIF), Scientific Indexing Services(SIS)

Web Adresi/ Web address : <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

Yayınlayan Kuruluş / Publisher : Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi / Alanya Alaaddin Keykubat University

Makale gönderim ve takip sistemi / Article submission and tracking system: ULAKBİM Dergi Sistemleri, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

Web barındırma ve teknik destek / Web hosting and technical support: Dergipark Akademik <http://dergipark.gov.tr/>

İletişim / Contact: Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya, Antalya. E-mail: alkufbd@alanya.edu.tr Tel/Phone: 0242 5106060 (2545)

EDİTÖR / EDITOR

Prof. Dr. Mehmet Gümüş, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

YARDIMCI EDİTÖR / ASSOCIATE EDITOR

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Canbolat, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

ALAN EDİTÖRLERİ / SUBJECT EDITORS

Doç. Dr. Derman Vatansever Bayramol, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği. Alanya, Antalya
Subject: Metallurgical and Materials Engineering
Alan: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Doç. Dr. Tuğba Aktar Küçükarslan, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Food Engineering
Alan: Gıda Mühendisliği

Doç. Dr. Bertan Beylergil, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Mechanical Engineering
Alan: Makine Mühendisliği

Doç. Dr. İbrahim Tekin, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Mathematics
Alan: Matematik

Doç. Dr. Burak Saltuk, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği. Alanya, Antalya
Subject: Biosystems Engineering
Alan: Biyosistem Mühendisliği

Doç. Dr. Alper Kürőat Uysal, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Computer Engineering
Alan: Bilgisayar Mühendisliği

Doç. Dr. Üyesi Aslı Giray, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Genetic Engineering
Alan: Genetik Mühendisliği

Doç. Dr. Üyesi Emrah Irmak, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Electrical-Electrical Engineering
Alan: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Murat Aksel, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Alanya, Antalya
Subject: Civil Engineering
Alan: İnşaat Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Fatma Aydın Ünal, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya
Subject: Metallurgical and Materials Engineering
Alan: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Atıl Kurt, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği. Alanya, Antalya
Subject: Industrial Engineering
Alan: Endüstri Mühendisliği

YAYIN, DİL ve TEKNİK EDITÖRLERİ / PUBLISHING, LANGUAGE AND TECHNICAL EDITORS

Arş. Gör. Mustafa Altuğ Peker, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Arş. Gör. Umut Kitiş, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Arş. Gör. Gürkan Çelik, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Arş. Gör. Hüseyin Şenli, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Arş. Gör. Dr. Özlem Kaplan, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. Alanya, Antalya

YAYIN KURULU / PUBLISHING BOARD

Hüseyin AKILLI (Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi)

Gökhan APAYDIN (Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Naci ÇAĞLAR (Prof. Dr., Sakarya Üniversitesi)

Hakan ÇELEBİ (Doç. Dr., Aksaray Üniversitesi)

Rossana DIMITRI (Dr., University of Salento)

Tamio ENDO (Prof. Dr., Mie University)

John GELEGENIS (Prof. Dr., Technological Educational Institute of Athens)

Viktor GRIBNIAKN (Prof. Dr., Vilnius Gediminas Technical University)

Anastas IVANOV IVANOV (Doç. Dr., Todor Kableskov Higher School of Transport)

İlker Murat KOÇ (Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi)

Anatoli I POPOV (Prof. Dr., University of Latvia)

Bilsay SÜMER (Dr., Hacettepe Üniversitesi)

Cevat SARIOĞLU (Prof. Dr., Marmara Üniversitesi)

Francesco TORNABENE (Dr., University of Bologna)

Jamal Seyyed Monfared ZANJANI (Dr., University of Twente)

ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ 2023:5(2)

ALKU JOURNAL OF SCIENCE 2023:5(2)

İçindekiler / Contents

1. Development of Sustainable Ulva Lactuca Genus Algae and Hemp Based Composites for Agrotexiles Application / *Agrotekstil Uygulamaları için Sürdürülebilir Ulva Lactuca Cinsi Yosun ve Kenevir Bazlı Kompozitlerin Geliştirilmesi*
Naz KADINKIZ, Muhammet UZUN
.....24-39
2. The Best Fit Flood Probability Distribution for Alibeyköy Basin in İstanbul, Türkiye / *Alibeyköy Havzası İçin En Uygun Taşkın Olasılık Dağılımı*
Mehmet DİKİCİ, Cevza Melek KAZEZYILMAZ-ALHAN, Bihrat ÖNÖZ
.....40-51
3. Utilizing Drying Techniques to Enhance The Quality of Avocados and Bananas For Producing Value-Added Fruit Powders in Alanya, Turkey's Plantations: A Systematic Review
Lee KELLY, Linda Christina PRAVİNATA, Tuğba AKTAR
.....52-71
4. Denim Endüstrisinde Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi / *Current Status Analysis on Sustainable Studies in the Denim Industry*
Naz KADINKIZ, Meryem SEYREK, Zeynep Nur YILDIRIM, Yaşar SOBACI, Muhammet UZUN
.....72-99

Development of Sustainable *Ulva Lactuca* Genus Algae and Hemp Based Composites for Agrotextiles Application

Naz Kadıncız¹, Muhammet Uzun^{2*}

¹Marmara University, Faculty of Technology, Department of Textile Engineering, Istanbul, Turkey

²Marmara University, Center for Nanotechnology & Biomaterials Application and Research (NBUAM), Istanbul, Turkey

* m.uzun@marmara.edu.tr

Abstract

As the global population grows, there is an increasing demand for food, requiring sustainable farming methods to increase agricultural productivity. Soil covers and mulches used in agriculture are mostly made of synthetic materials derived from petrochemicals, which pose various problems such as soil contamination and long-term insolubility. This study aims to use *Ulva Lactuca* algae as a sustainable raw material for soil covers, as it contains vitamins and minerals that the soil needs. As seawater acidity increases, the population of this algae is also increasing, creating the opportunity to use it in agriculture. The product is expected to retain moisture and reduce water consumption and high temperatures. In addition, hurds obtained from industrial hemp waste are used due to their high-water retention potential. The study combined *Ulva lactuca* algae from the Marmara region and hemp strings from Narlı and Vezir seeds to create various composites with different structures. Basic tests were conducted to determine the mechanical and physical properties of the products. The goal is to increase soil organic matter by using these materials as fertilizer after their use as soil covers.

Keywords: *Ulva Lactuca*, Algae, Hemp, Biodegradable Agrotextiles, Sustainability

1. INTRODUCTION

Soil is one of our most significant natural resources that all living creatures share and ensure the continuance of life. While the world population is expected to be 9.7 billion in 2050, in order to meet the food needs of the future, it is necessary to focus on studies in this branch quickly compared to today. Today, while arable land is decreasing day by day due to ecological reasons, the quality of the soil is deteriorating [1]. One of the main indicators of this deterioration is the decrease in the organic matter content, which is the most important element of the soil. It is known that organic matter loss is caused by incorrect agricultural practices [2, 3]. Economic and sustainable practices that evaluate organic wastes that can be used to improve the quality of the soil are of great importance [4].

Soil organic matter (SOM) is a crucial component of soil quality that plays a significant role in providing nutrients to plants, maintaining water retention capacity, and regulating climate. As a result, organic matter is not only important for agricultural productivity but also for environmental resilience. The balance of soil organic matter is essential to maintain these functions [5, 6]. Microorganisms in the soil require energy and nutrients to carry out their functions, and organic matter provides them with this. When there is a higher amount of organic matter in the soil, microorganisms become more active, and plant nutrients become more available and easier to absorb [7, 8]. Soil organic matter (SOM) is reduced through common farming

practices such as intensive tillage, erosion, monoculture farming, and the use of chemical fertilizers and pesticides. These practices can have a negative impact on soil quality and reduce the amount of organic matter available in the soil [9]. The rising usage of chemical fertilizers has a negative impact on the soil, environment, and human health [10]. Using chemical fertilizers can result in various negative effects on the soil, environment, and human health. The properties of the soil, including its physical and chemical properties, can be altered by using chemical fertilizers. The soil pH may exceed the plant's optimal range, which can lead to the formation of ionic toxicity, causing a salt effect on the plants. This can result in a decrease in soil biodiversity and resistance to diseases and pests, as well as a disruption of the nutrient balance in products. Moreover, chemical fertilizers can pollute water and cause heavy metals to accumulate in the soil, leading to heavy metal contamination [11, 12]. Sustainable agricultural practices are centered on techniques that safeguard and enhance the quantity of soil organic matter (SOM) and microorganisms in the soil.

Plastic mulch films are commonly utilized in agricultural crop production to boost yields [13, 14]. Using agricultural plastic mulch films can enhance crop yields by altering soil temperatures, preserving soil moisture, and minimizing the emergence of weeds [15, 16]. Mulching is also a technique for conserving water, as it helps the soil to retain more moisture and reduces erosion [17]. Plastic mulch made of low-density polyethylene (PE) is popularly used due to its affordability, ease of production, and ability to possess the required characteristics such as durability and flexibility [18]. The extensive utilization of non-biodegradable polyethylene has led to significant environmental harm, as it remains a residue in the soil for numerous years [19, 20]. Besides its environmental impact, removing plastic mulch films from the land after their use is inconvenient regarding both time and resources [21]. Biodegradable mulches serve as an eco-friendly substitute for conventional petrochemical-based polyethylene (PE) mulches, which are extensively utilized in agriculture. Biodegradable mulches can be produced from bio-based polymers from plants or microbes, or from fossil-based materials. Bio based polymers commonly employed in biodegradable mulches include polylactic acid (PLA), starch, cellulose, and polyhydroxyalkanoates (PHA) [22]. Biodegradable mulches can also be made from fossil-derived materials, such as polyesters like polybutylene succinate (PBS), polybutylene succinate-co-adipate (PBSA), and polybutylene-adipate-co-terephthalate (PBAT) [23].

Biodegradable mulches have an advantage over traditional PE films because they can decompose naturally in the soil after use, eliminating the need for collection [24]. While biodegradable mulches have the advantage of being able to degrade naturally in the soil after use, there are still concerns and uncertainties about their potential long-term impacts on soil ecosystems [25]. Biodegradable mulches have two different potential effects on soil ecosystems. The first effect occurs when the mulch is on the soil surface, acting as a barrier and affecting the soil atmosphere before it is mixed into the soil. The second effect occurs when the physical particles of the mulch are directly mixed into the soil. Using biodegradable mulches can enhance microbial activity and increase the presence of certain types of fungi [26]. Choosing appropriate soluble ingredients for biodegradable mulches is important as they can affect soil organic matter dynamics and stimulate microbial activity. Natural ingredients that meet the desired properties are preferred. The use of chemical fertilizers should be minimized due to their negative impacts on soil, environment, and human health. Increasing soil organic matter through natural raw materials can support sustainable organic agriculture [23].

Seaweed is an organic fertilizer commonly used and can be a great choice for improving soil organic matter when mixed with the soil after plastic film application [27, 23, 28]. *Ulva lactuca* is a type of flat green algae from the Ulvaceae family that is present all around the globe. It is highly valued due to its various applications in different fields, such as food, agriculture, medicine, and pharmacology. *Ulva lactuca* can be found in coastal and subtidal waters, typically at depths of up to 75 meters. However, it requires a significant amount of sunlight to grow successfully [29]. This species is perennial that continues to grow throughout the year but mostly blooms in summer. Its growth has been rapidly increasing due to the rise in acidity and the presence of nitrogen and phosphorus in our oceans. Additionally, it has a high sodium, potassium,

magnesium, iodine, aluminum, manganese, and nickel content. It also contains various nutrients such as Vitamin A, Vitamin B1, Vitamin C, calcium, soluble nitrogen, phosphorus, and many other trace elements [30, 31].

There is a growing interest in hemp globally, which is also increasing in our country. Hemp is an annual plant that has the potential to fill the gap in sustainable textile products as it grows quickly and efficiently with minimal water usage. Industrial studies on hemp are gaining momentum [32]. The waste product known as hurds is obtained after separating the stem fibers from the stem. These lignocellulose-based particles are produced as a byproduct [33]. The hurds possess good moisture retention capacity due to their physical structure [34]. Hemp hurds will be utilized to retain the moisture lost from the soil due to rising temperatures by creating a material with their physical properties.

The level of organic matter in agricultural soils is extremely low, and it is necessary to have a minimum of 3% organic matter in the soil weight to achieve the desired physical, chemical, and biological properties and yield potential of the soil [35]. To increase the organic matter content of agricultural soils, it is important to consider sources of organic matter. The use of vegetable waste has shown promising results in increasing organic matter. The project also focuses on recovering phosphate using seaweed (*Ulva lactuca*) as an organic fertilizer. The goal is to create a multipurpose material by making hemp residues and algae suitable for mulching before being used as fertilizer.

The goal is to find a sustainable solution for traditional mulch disposal in agriculture by choosing renewable and biodegradable materials derived from natural sources with diverse content. Combining *Ulva Lactuca* algae, which is rich in organic matter and immediately usable minerals for plants, with moisture-retaining and sustainable hemp, a novel product can be created with potential benefits for agriculture. This combination has not been studied in literature before and could be groundbreaking.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1 Hemp (*Cannabis Sativa* L.)

The hurds used in the study were obtained from the crops of Narlı and Vezir seeds. Hemp Hurd was obtained as a side material in the fiber extraction process. In the study, it was used in the form shown in Figure 1, in 2 different sizes. In the form of finely ground Hurd, the fibers on the hurds are also fully exposed and become softer.



Figure 1. Hemp hurd

2.2 Seaweed (*Ulva Lactuca*)

The *Ulva Lactuca* algae used in the study were collected by us in Marmara Ereğlisi (40.9686885, 27.9284249). As shown in Figure 2, different types of algae are collected in the bay area. *Ulva Lactuca* algae were tainted and collected by us.



Figure 2. The region where algae used in the study

According to Figure 3, the sea algae known as *Ulva Lactuca* were dried naturally for two days without additional materials. After that, the dried pieces were ground and separated into smaller sizes.



Figure 3. Drying and decomposition steps of collected ulva lactuca algae

The study focused on constructing designs with varying degrees of fineness and content, using four different methods that cater to different usage areas. Sample codes created according to specific details, are listed in Table 1.

Table 1. Production methods and samples

Method	Samples obtained in the production method
1	101 / 102
2	201 / 202 / 203
3	301 / 302 / 303 / 304
4	401 / 402 / 403

The study conducted seven content analyses to measure the differences between freshly collected and dried algae, the adhesion of thin and thick stalks to the structure, and their chemical resistance. The various contents designed for this purpose are listed in Table 2. It is also important that the developed structures

contain vinegar as it has a number of benefits to used areas such as natural herbicide for weed control (especially in organic farming practices), pest and fungal control in agricultural crops, increasing the acidic nature of soil or balance alkaline soils, compost decompose and break down quickly. Vinegar can also assist in controlling odors and repelling insects in the composting process.

Table 2. Sample contents table

Content Name	Contents	Worked Samples Conforming to Content
A	Dried Seaweed + Corn Starch + Grape Vinegar + Water	101 / 203 / 301/
B	Dried Seaweed + Corn Starch + Grape Vinegar + Water + small particle Hurd	102 / 302 / 303
C	(Fresh Seaweed + Corn Starch) + Corn Starch + Grape Vinegar + Water	201
D	(Fresh Seaweed + Corn Starch) + Corn Starch + Water	202
E	Dried Seaweed + Corn Starch + Grape Vinegar + Water + medium particle hurd	401 / 304
F	Dried Seaweed + Corn Starch + Grape Vinegar + Water+ small particle hurd	402
G	(Fresh Seaweed + Corn Starch) + Corn Starch + Grape Vinegar + Water	403

2.3 Production Methods

Samples labeled 101-A and 102-B were created using production method number 1, which involves a thin design. These samples were prepared with A and B contents and involved pouring and pressing a mixture between oiled paper under a 20-kilogram pressure, then allowing them to dry.



Figure 4. Fine samples in series #1 (101/102)

Samples with codes 201-C, 202-D, and 203-A, which have a thickness range of 0.5-0.7 mm, were produced according to specified contents using production method number 2. The mixture was then poured into a mold to achieve the desired thickness and left to dry. The effect of vinegar on samples 201 and 202 was observed during production. As shown in Figure 5 and Figure 6, the color of the samples became darker due to the acidic nature of vinegar reacting with the dye pigments, resulting in a difference in tone. Vinegar was included in the content because of its protective properties, which help to delay decomposition.



Figure 5. Sample production with code 201



Figure 6. Sample production with code 202

The aim was to investigate the impact of fresh algae structure on the samples labeled 201 and 203. The observations revealed that the color of the freshly applied 201 sample was just as dark as that of the 203 sample.



Figure 7. Sample production with code 203

For production method number 3, mold work was carried out beforehand to facilitate strength and related tests. Samples with codes 301-A, 302-A, 303-A, and 304-B were created with specified contents by pouring the mixture into the molds and letting it dry. The A content was chosen to examine the properties of the hurd and its fineness in the samples. During the production of the 301 and 302 coded samples, the hurds were first spread inside the mold, and then the mixture was poured on top, smoothed out, and left to dry.



Figure 8. Prepared samples in series 3 (301 / 302 / 303 / 304)



Figure 9. Production of 303 and 304 coded samples

Production method number 4 involved creating samples coded 401-E, 402-F, and 403-G with a size range of 4-5 cm and specified contents. Hurds of varying thickness were placed beneath the molds, and the prepared mixtures were poured on top and allowed to dry.



Figure 10. Sample production in thick structure form

Table 3. Dried samples ready for testing

102			
			
201	202	203	
			
301	302	303	304
			
401	402	403	
			

3. RESULTS AND DISCUSSION

The tests were conducted under standard atmospheric conditions, starting at (20 ± 2) °C and (65 ± 4) % relative humidity. The test methods used in this study were based on the standards applied to conventional textile-based structures. Technical textiles are generally tested regarding to conventional textiles. The most appropriate test methods were used in this study to determine the basic properties of the developed structures.

3.1 Areal Density and Thickness

Weight and fineness were determined by using a precision digital micrometer (Mitutoyo, Kanagawa, Japan). Ten measurements were taken at random points for each sample, and the mean values were determined. Film thickness was a critical property that needed to be measured, as it influenced the mechanical strength and water barrier properties of the samples. For agricultural purposes, a film thickness as low as 5 μm was adequate for controlling weed growth in the field [1]. Samples containing tortillas showed an increase in deviations in average values, particularly in thin samples such as 303 and 304 and thick samples such as 402 and 403, which were formed with hurds on one surface.

Table 4. The average thickness and weight values of the produced samples

Sample Codes	Average Thinness Values (mm)	Weight Values (g/cm ²)
101	0.5680	0.0393
102	1.3387	0.0450
201	0.7529	0.1417
202	0.4465	0.1662
203	0.7075	0.2479
301	0.5083	0.0405
302	1.235	0.1692
303	1.367	0.1456
304	1.692	0.2110
401	5.4187	2.686
402	4.8825	1.468
403	4.1020	1.352



Figure 11. Thickness values measurement

3.2 Tensile Strength Test

All samples were tested for their mechanical properties using a Shimadzu EZ-X device at a speed of 5 mm/min and following the standard test method ASTM D1682-64 under standard atmospheric conditions. The mechanical properties are as important as the water barrier properties to determine the film's

performance, especially in packaging and plastic culture. The mulch film must have sufficient strength as it is usually laid on the ground by machines, and the poor mechanical properties shouldn't deform during processing and fixing of the films to the ground. The results show a decrease in strength due to the moss and starch mixture not fully bonding with the hurd pieces, which is a common problem in composite construction. Additionally, a decrease in tensile strength was observed as the thickness of the samples increased, which is likely due to the evaporation rate and strength being dependent on the fineness during the drying process.

Table 5. Tensile strength values of produced samples

Samples	Tensile Strength (N)
101	12,8627
102	13,9495
201	9,8345
202	9,1635
203	8,1367
301	7,7691
302	1,2107
303	0,9203
304	0,7503
401	0,5476
402	0,5286
403	0,4983

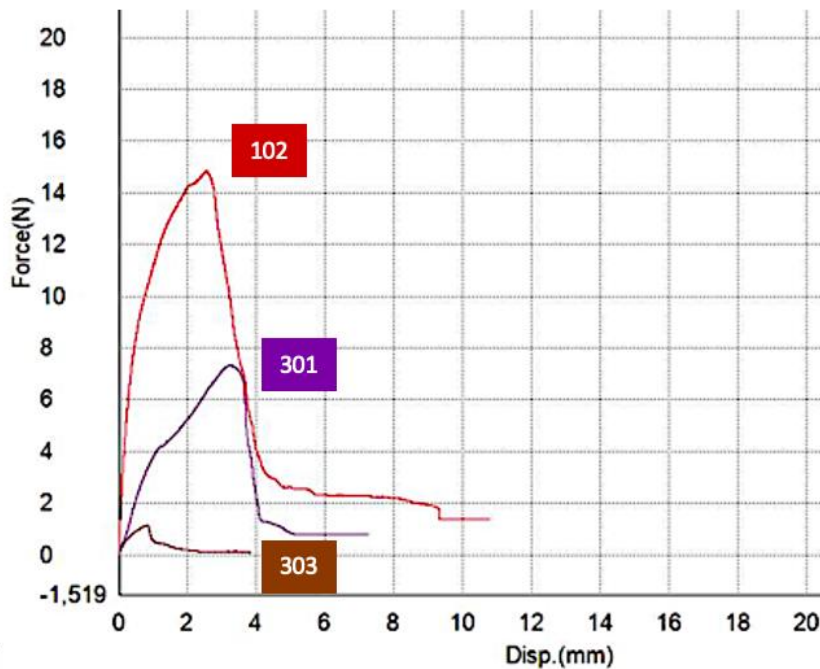


Figure 12. Tensile strength values

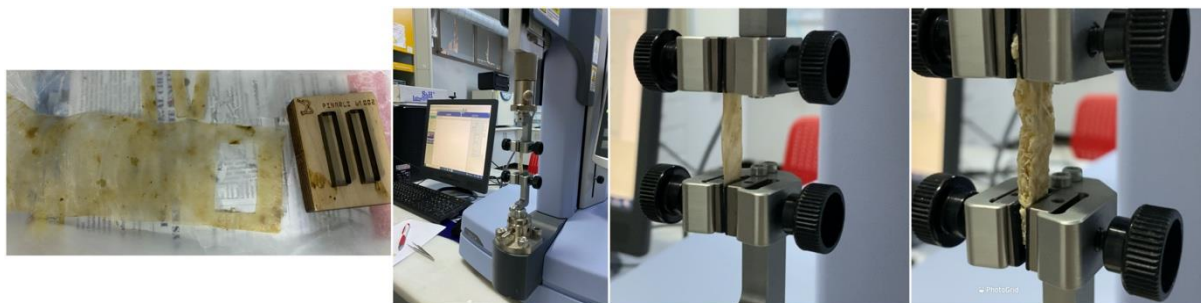


Figure 13. Tensile strength values measurement

3.3 Air Permeability Test

The test for air permeability was performed in compliance with the TS 391 ISO 9237 standard, under standard atmospheric conditions (20 ± 2) °C and (65 ± 4) % relative humidity. Air permeability is a crucial factor for protecting of the material against moisture. The film layer containing algae and starch, which was created, is impermeable to air. It was found that this film will protect against moisture during the growing season of seasonal plants when used as a ground cover.

3.4 Water Absorption Capacity Test

The test for water absorption capacity was performed according to the TS 866 standard. Each sample was measured ten times, and the mean value was calculated. For this test, five test samples were prepared from each original sample and weighed to get the dry weight. The samples were then placed in water at room temperature for one minute and then hung for three minutes to remove excess water. The weight of the wet samples was measured and recorded, and the water absorption capacity was calculated as a percentage.

Table 6. Water absorption capacity values of produced samples

Samples	Dry Weight (g)	Age Weight (g)	Water Absorption Capacity (%)
101	0.810	0.912	12.59
102	2.924	3.419	16.92
201	3.531	4.214	19.34
202	3.731	4.249	13.88
203	3.412	4.317	26.524
301	1.620	1.940	19.75
302	4.784	6.873	43.66
303	3.823	6.054	58.35
304	3.589	6.019	67.71
401	24.176	31.202	29.06
402	13.216	17.046	29.18
403	7.082	8.404	18.67

3.5 Light Transmittance Test

The light transmittance test is a custom-made test designed to measure the ability of the samples to transmit light under daylight conditions. The test setup, shown in Figure 15, uses D65 and D5000 daylight lighting sources to mimic outdoor lighting in a light-proof box. The amount of light that passes through the samples and reflects on a black plate is observed. The samples that contain hurd have lower permeability, and the opacity increases, and the amount of transmitted light decreases as the thickness increases in samples that do not contain tortillas. The reflection of light affects plant growth, plant response, and insect development.

Further analysis of light contact and temperature reflection values will be conducted in the future as part of the study.

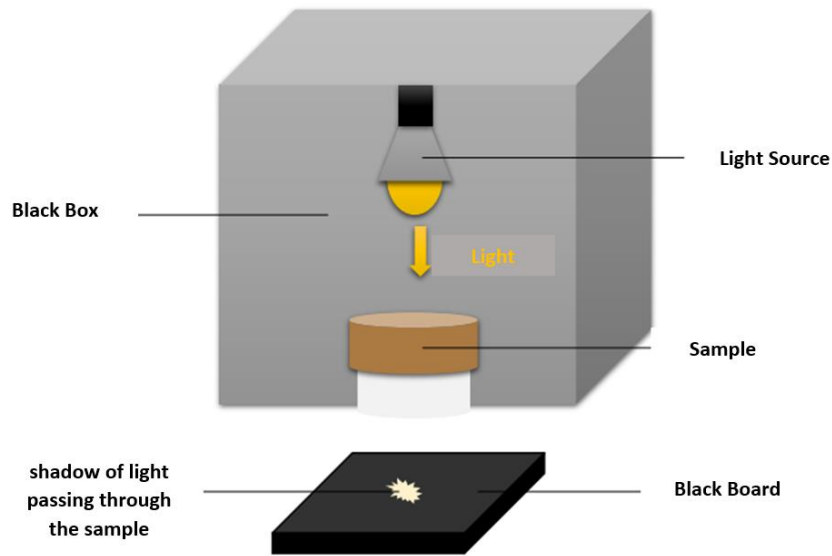


Figure 14. Experimental setup established to evaluate the light transmittance properties of the samples

3.6 Contact Angle Test

When the contact angle is less than 90°, wettability is considered high. Previous studies have shown that the contact angles of traditional mulch films are usually over 90 degrees. In this study, contact angle tests were performed on the samples, and the results showed that the hurd-free surfaces had higher contact angles due to their stronger hydrophobic properties. The bottom toppings in the 303 and 304 samples affected the thin film layer on the surface, leading to higher contact angles. In thin samples, the increase in the size of the hurd caused the angles to increase because it made the surfaces less homogeneous. The surfaces mixed with the hurd had wider spreading angles due to the water absorbing properties of the hurds.

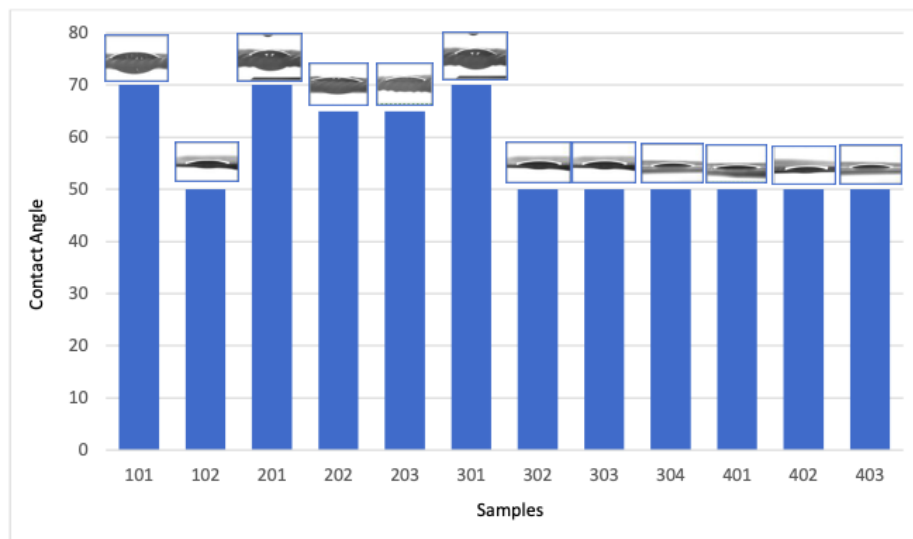


Figure 15. Contact angle test results and contact images

3.7 Thermal Properties (Far Infrared Radiation-FIR) – Flammability

The samples were tested to determine their thermal resistance and heat retention properties using a soot method [2, 3]. This is used as a kind of heat absorption test in the study. Thermal imaging was used to measure heat storage properties. The samples were warmed up for 4 minutes and the hottest point was determined using a thermal imaging camera. The heat source was then turned off and the cooling process was measured for 8 minutes. The heat retention values increased with weight ratios, and samples containing hurds had better heat retention properties due to their voluminous structure. The sample coded 401 had the highest heat retention weight and thickness, reaching 61.3°C in the 4th minute after heating. The sample coded 302 containing tortillas and hollow parts reached 41.7°C in the 4th minute and showed good heat retention properties. In the samples without hurds, slight folds were formed during heating but returned to their original state during the cooling process.

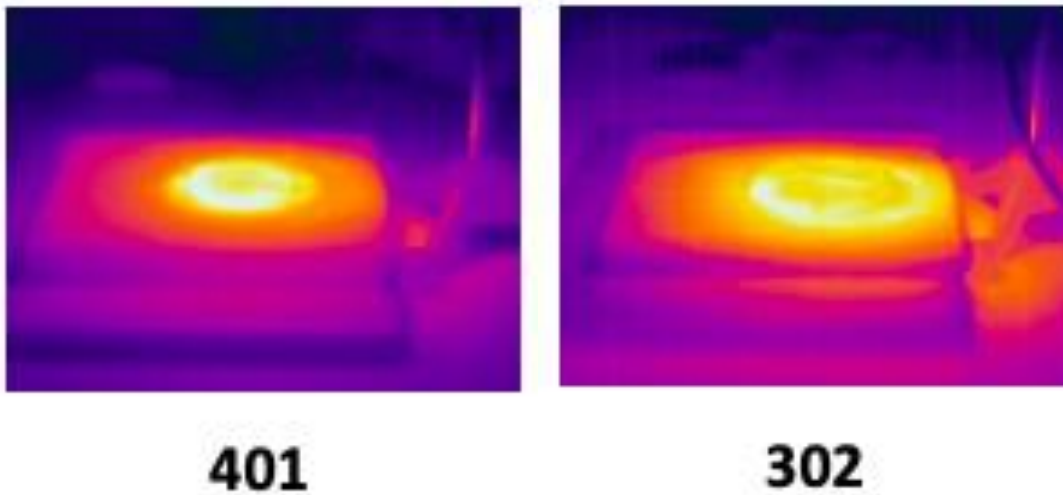


Figure 16. FIR test process applied to samples

Traditional greenhouse mulches do not protect to the soil or plants during a fire in the greenhouse. Results from the fire-fighting observation tests performed on the samples showed that improvements can be made based on the initial results. Previous research has indicated that the algae content used in this study is non-flammable [4, 5, 6]. The bond structures in the contents can be utilized for conducting studies to preserve this characteristic.



Figure 17. Flammability tested samples

4. CONCLUSION

The tests conducted on the samples created based on the project objectives have been analyzed, and the corresponding results have been presented in the findings section. The initial stage goals have been achieved by utilizing the obtained values. The long-term effects of the materials on plants, soil, and the environment should be further investigated. These materials can provide a natural and sustainable alternative to conventional PE products that are petrochemical-based in the agrotextile market. They possess a competitive advantage over other biodegradable products as they have a much more diverse composition. The thickness, weight, and content of the materials can be tailored to best suit the intended purpose. In future studies, various production methods will be tested to obtain samples, and research will continue. The goal is to maximize agricultural productivity using sustainable techniques based on the results of these studies.

The research has the potential to be expanded and advanced to gain more knowledge about *Ulva Lactuca* and hemp combination. It is seen that the hemp by-product and waste *Ulva Lactuca* has potential to develop different composite structures to be used in different agro and geo textile applications. The usability and processability of this composition are generally examined and successfully converted into one unique structure. It is also important to mention that different elements can be added to the structures to make extra benefit from the final product. Compared to nonwoven structures, hemp and *Ulva* have fibrillar structure, giving water absorption and slow-release properties to the product. Sustainable productions can be accomplished by aiming to achieve carbon-neutral products in all production processes.

5. REFERENCES

- [1] M. Liu, M. Johnston and H. Snaith, "Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition," *Nature*, pp. 501, 395, 2013.
- [2] A. Sankauskaitė, V. Rubežienė, D. Kubilienė, A. Abraitienė, J. Baltušnikaitė-Guzaitienė and K. Dubinskaitė, "Investigation of Thermal Behavior of 3D PET Knits with Different Bioceramic Additives," *Polymers* 2020, 12(6), 2020.
- [3] L. Stygienė, S. Varnaitė-Žuravliova, A. Abraitienė, S. Krauledas, J. Baltušnikaitė-Guzaitienė and I. Padleckienė, "Investigation of thermoregulation properties of various ceramic-containing knitted fabric structures," Volume: 50 issue: 5 pp., pp. page(s): 716-739 10.1177/1528083719842793., 2019.
- [4] H. Yaich, H. Garna, S. Besbes, M. Paquot, C. Blecker and H. Attia, "Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia," *Food chemistry*, pp. 128(4), 895-901, 2011.
- [5] I. Zaghbib and M. Hassouna, "Functional Properties and Biological Potentials of the Tunisian Green Seaweed *Ulva lactuca*," *American Academic Scientific Research Journal for Engineering Technology, and Sciences*, pp. 85(1), 89-99, 2022.
- [6] S. Lomartire and A. M. Gonçalves, "An Overview of potential seaweed-derived bioactive compounds for pharmaceutical applications," *Marine Drugs*, pp. 20(2), 141, 2022.
- [7] A. Hossain, T. J. Krupnik, J. Timsina, M. G. Mahboob, A. K. Chaki, M. Farooq and M. Hasanuzzaman, "In Environment, climate, plant and vegetation growth," in *Agricultural land degradation: processes and problems undermining future food security.*, Springer, Cham., 2020, pp. pp. 17-61.
- [8] C. Rosenzweig and D. Hillel, "Soils and global climate change: Challenges and opportunities," *Soil science*, pp. 165(1), 47-56., 2000.
- [9] S. Savci, "An agricultural pollutant: chemical fertilizer.," *International Journal of Environmental Science and Development*, pp. 3(1), 73, 2012.
- [10] M. A. Ayub, M. Usman, T. Faiz, M. Umair, M. Rizwan, S. Ali and M. Zia ur Rehman, "Restoration of degraded soil for sustainable agriculture," in *Soil health restoration and management*, Singapore, Springer, 2020, pp. pp. 31-81.
- [11] F. E. Allison, *Soil organic matter and its role in crop production*, Elsevier., 1973.

- [12] P. Schjøning, J. L. Jensen, S. Bruun, L. S. Jensen, B. T. Christensen, L. J. Munkholm and L. Knudsen, "The role of soil organic matter for maintaining crop yields: Evidence for a renewed conceptual basis," *Advances in agronomy*, pp. 150, 35-79, 2018.
- [13] A. Bauer and A. L. Black, "Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity," *Soil Science Society of America Journal*, pp. 58(1), 185-193, 1994.
- [14] S. A. Wood, D. Tirfessa and F. Baudron, "Soil organic matter underlies crop nutritional quality and productivity in smallholder agriculture," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, pp. 266, 100-108, 2018.
- [15] W. Wei, Y. Yan, J. Cao, P. Christie, F. Zhang and M. Fan, "Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: An integrated analysis of long-term experiments," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 225,, pp. 86-92, 2016.
- [16] Y. Wang, Y. Zhu, S. Zhang and Y. Wang, "What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers?," *Journal of Cleaner Production*, pp. 199, 882-890, 2018.
- [17] C. Brock, A. Fließbach, H. R. Oberholzer, F. Schulz, K. Wiesinger, F. Reinicke and G. Leithold, "Relation between soil organic matter and yield levels of nonlegume crops in organic and conventional farming systems," *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174(4), pp. 568-575, 2011.
- [18] H. Luan, W. Gao, S. Huang, J. Tang, M. Z. Li, H. and X. Chen, "Partial substitution of chemical fertilizer with organic amendments affects soil organic carbon composition and stability in a greenhouse vegetable production system," *Soil and Tillage Research*, pp. 191, 185-196, 2019.
- [19] S. Kasirajan and M. Ngouajio, "Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review," *Agron. Sustain. Dev.* 32, pp. 501–529. doi: 10.1007/s13593-011-0068-3, 2012.
- [20] L. Zhang, R. Qin, H. Wei, K. Zhang, C. Yu, F. M. Li and F. Zhang, "Optimum plastic mulching application to reduce greenhouse gas emissions without compromising on crop yield and farmers' income," *Science of the Total Environment*, pp. 809, 151998, 2022.
- [21] H. Zhang, C. Miles, S. Ghimire, C. Benedict, I. Zasada, H. Liu and L. DeVetter, "Plastic mulches improved plant growth and suppressed weeds in late summer-planted florican-fruiting raspberry," *HortScience* 55, p. 565–572, 2020.
- [22] M. Lalitha, V. Thilagam, N. Kasthuri Balakrishnan and M. Mansour, "Effect of plastic mulch on soil properties and crop growth—a review," *Agric. Rev.*, 31, pp. pp. 145-149, 2010.
- [23] Z. Steinmetz, C. Wollmann, M. Schaefer, C. Buchmann, J. David, J. Tröger and G. E. Schaumann, "Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation?," *Science of the total environment*, pp. 550, 690-705, 2016.
- [24] I. Kyrikou and D. Briassoulis, "Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review," *J. Polym. Environ.*, 15, pp. pp. 125-150, 2007.
- [25] R. Qi, D. L. Jones, L. Z. Q. Liu and C. Yan, "Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review.," *Science of the Total Environment*, pp. 703, 134722, 2020.
- [26] Y. Chang-Rong, L. En-Ke, S. Fan, Q. Liu, S. Liu and H. Wen-Qing, "Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China," *JARE* 31, p. 95, 2014.
- [27] M. Menossi, M. Cisneros, V. A. Alvarez and C. Casalongué, "Current and emerging biodegradable mulch films based on polysaccharide bio-composites. A review.," *Agronomy for Sustainable Development*, pp. 41(4), 1-27, 2021.
- [28] D. Barragán, A. Pelacho and L. and Martin-Closas, "Degradation of agricultural biodegradable plastics in the soil under laboratory conditions," *Soil Res.* 54, p. 216–224. doi: 10.1071/SR15034, 2016.
- [29] H. Y. Sintim, S. Bandopadhyay, M. E. English, A. I. Bary, J. M. DeBruyn, S. M. Schaeffer and M. Flury, "Impacts of biodegradable plastic mulches on soil health," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, pp. 273, 36-49, 2019.
- [30] G. Bonanomi, M. Chiurazzi, S. Caporaso, G. Del Sorbo, G. Moschetti and S. Felice, "Soil solarization with biodegradable materials and its impact on soil microbial communities," *Soil Biol. Biochem.* 40, p. 1989–1998. doi: 10.1016/j.soilbio.2008.02, 2008.
- [31] C. Miles, L. DeVetter, S. Ghimire and D. Hayes, "Suitability of biodegradable plastic mulches for organic and sustainable agricultural production systems," *HortScience* 52, p. 10–15, 2017.

- [32] D. Sekhouna, F. Kies, I. Elegbede, S. Matemilola, J. Zorriehzahra and E. K. Hussein, "Use of two green algae *Ulva lactuca* and *Ulva intestinalis* as bio-fertilizers," *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, p. 9(4), 2021.
- [33] J. Al-Alam, D. Salim, Z. Fajloun, M. Millet and A. & Chbani, "The Potential Use of Aqueous Extract of *Ulva lactuca* seaweed for the Control of the Post-Harvest Citrus Green Mold, in vivo and in vitro conditions," *Arabian Journal of Medicinal & Aromatic Plants*, pp. 8(1), 155-170, 2022.
- [34] R. A. Hamouda, M. H. Hussein, N. E. A. El-Naggar, M. A. Karim-Eldeen, K. H. Alamer, M. A. Saleh and R. M. A. El-Azeem, "Promoting Effect of Soluble Polysaccharides Extracted from *Ulva* spp. on *Zea mays* L.," *Growth. Molecules*, pp. 27(4), 1394, 2022.
- [35] M. Guidara, H. Yaich, I. B. Amor, J. Fakhfakh, J. Gargouri, S. Lassoued and H. Garna, "Effect of extraction procedures on the chemical structure, antitumor and anticoagulant properties of ulvan from *Ulva lactuca* of Tunisia coast," *Carbohydrate Polymers*, pp. 253, 117283, 2021.

The Best Fit Flood Probability Distribution for Alibeyköy Basin in İstanbul, Türkiye

Mehmet DİKİCİ^{1*}, Cevza Melek KAZEZYILMAZ-ALHAN², Bihrat ÖNÖZ³

¹Alanya Alaaddin Keykubat University, Civil Engineering Department, Alanya, Antalya, Turkey

²Istanbul Cerrahpaşa University, Civil Engineering Department, Avcılar, Istanbul, Turkey

³Istanbul Technical University, Civil Engineering Department, Maslak, Istanbul, Turkey

*mehmet.dikici@alanya.edu.tr

Abstract

Determination of peak flow rates is crucial in reducing the economic and social impact of floods. Therefore, the investigation of various methods for estimating floods is of paramount importance. Flood frequency analysis can be used as a practical method in predicting the peak flow values as the flood peaks have return periods that are typically much larger than the recording length. In this study, seven different probability distributions (normal (N), two-parameter lognormal (LN2), three-parameter lognormal (LN3), extreme value type I (Gumbel), generalized extreme value (GEV), Pearson Type III (P3) and Log-Pearson Type III (LP3)) are employed for flood frequency analysis of Alibeyköy Watershed using 44-years of measured annual maximum flow. K-S and PPCC tests are applied to determine the most suitable distributions to estimate the flood flow rate. Based on these tests, GEV and Gumbel distributions appear to be the most preferable distributions in flood flow estimation.

Keywords: flood frequency analysis, probability distribution, return period, peak flow

1. INTRODUCTION

Flood frequency analysis is employed for the best fitting of a probability distribution to observed data to make predictions about the occurrence of floods. Long data sets are needed to accurately predict of flood return periods. However, most of the time, water resources engineers suffer from a lack of data and thus, probabilistic approaches are used in flood predictions. The selection of an appropriate fit among many existing probability distributions is the most important stage of such studies, which is referred as flood frequency analysis. Flood frequency analysis deals, in fact, not only with maximum flow rates but also with minimum flow rates. Önöz and Bulu [1] employed low flow frequency analysis to determine the minimum downstream release requirements from hydropower, water supply, cooling plants, and other facilities. Many studies in the literature point out the importance of flood frequency analysis in water resources management [2, 3, 4]. Flood frequency analyses are carried out in a large extent both in Turkey [5] and in the world [6,7,8]. L-moments have been extensively used as a tool in regional flood frequency analyses [9-15]. While GEV, Gumbel, Normal, two parameters Log-Normal, three parameters Log-Normal, Gamma, Pearson Type III, and Log-Pearson Type III distributions appear as selected probability curves in flood peak flow fitting [16-17], GEV distribution is commonly found as the most suitable distribution function among the studies conducted on flood frequency analyses [18-20]. [21] point out several factors which are effective

on the reliance of statistical flood frequency analysis such as the selected probability distribution function, estimation of the function parameters, possible outliers, and length of the observed flood series. [22] point out the importance of estimating the T-year flood discharge, which is the discharge once exceeded on the average in a period of T years, as the ultimate interest of flood frequency analysis. The objective of this study is to determine the best fit probability distributions for estimating T-year flood recurrence intervals of the rivers in Alibeyköy basin in İstanbul, Turkey. For this purpose, seven probability distributions called the normal (N), two-parameter lognormal (LN2), three-parameter lognormal (LN3), extreme value type I (Gumbel), generalized extreme value (GEV), Pearson Type III (P3) and Log-Pearson Type III (LP3), are considered. The statistical analyses are conducted using the yearly maximum flow rate data recorded for 44 years on Alibeyköy Pirinçci Stream to find the peak flow rates with different return periods. L- Moment methods are employed in these analyses. Finally, Kolmogorov-Smirnov (K-S) statistical tests and probability plot correlation coefficient (PPCC) are performed to select the best-fit flood probability distribution for Alibeyköy Watershed.

2. METHODOLOGY

2.1 Probability Distribution Functions

Many flood frequency models have been suggested in the literature, but none of them has been accepted universally [23]. In order to achieve some degree of uniformity in the determining of flood quantiles, some countries have agreed to adopt a certain distribution function. For example, the Log Pearson Type III was recommended by the US Water Resources Council (USWRC) in 1967 for use in the USA and the general extreme value distribution (GEV) was suggested by the Institute of Hydrology, UK, for use in the UK and Ireland. In this study, seven probability distributions are considered to predict flood discharges in Alibeyköy Watershed, Turkey. These distributions are normal (N), two parameters lognormal (LN 2), three parameters lognormal (LN 3), Extreme Value Type I (Gumbel), Generalized Extreme Value (GEV), Pearson Type III (P3) and Log-Pearson Type III (LP3), which are widely used in hydrologic frequency analysis. These distributions and their probability density functions (PDF) are presented in Table 1 [24]. In these equations, x is the observed value. Further details of these distributions can be found in a book by Rao and Hamed [26].

Table 1. Statistical distribution and functions [24, 25]

Distribution type	Probability density function	Parameters
Normal (N)	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2\right]$	μ =mean (location parameter) σ =Standard deviation (scale parameter)
Two-Parameter lognormal (LN2)	$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right]$	μ_y = location parameter σ_y = scale parameter
Three-Parameter Lognormal (LN3)	$f(x) = \frac{1}{(x-a)\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\log(x-a) - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right]$	μ_y = location parameter σ_y = scale parameter a = shape parameter

<p>Generalized Extreme Value (GEV)</p> <p>$1+k\frac{(x-\mu)}{\sigma}$ for $k \neq 0$</p> <p>$-\infty < x < \infty$ for $k=0$</p>	$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(-(1+kz)^{-\frac{1}{k}}) (1+kz)^{-1-\frac{1}{k}}$ $f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp((-z)))$	<p>σ=scale parameter ($\sigma > 0$)</p> <p>k = shape parameter,</p> <p>z=location parameter</p>
<p>The extreme value type I (Gumbel)</p> <p>$-\infty < x < \infty$</p>	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-\xi}{\alpha} - \exp\left(\frac{x-\xi}{\alpha}\right)\right]$	<p>ξ=location parameter</p> <p>α=scale parameter</p>
<p>The Pearson Type III (P3)</p>	$f(x) = \frac{\beta}{\Gamma(\alpha)} (\beta(x - \xi))^{\alpha-1} \exp[-(\beta)x - \xi]$	<p>α=shape parameter ($\alpha > 0$)</p> <p>β=scale parameter ($\beta \neq 0$)</p> <p>ξ=location parameter</p>
<p>Log-Pearson Type III (LP3)</p>	$f(x) = \frac{ \beta }{\alpha\Gamma(\alpha)} (\beta(\ln(x) - \xi))^{\alpha-1} \exp[-(\beta)\ln(x) - \xi]$	<p>α=shape parameter ($\alpha > 0$)</p> <p>β=scale parameter ($\beta \neq 0$),</p> <p>ξ=Location parameter</p>

2.2 Parameter estimation

After selecting the probability distribution functions, the next step is the estimation of the location, scale, and shape parameters. The estimated parameters are then used in the probability distribution functions to calculate quantile estimates for different return periods or to calculate the return period for a given flood magnitude. There are many methods for parameter estimation, such as the method of moments, the probability-weighted moments method, the maximum likelihood method, the least squares method, maximum entropy, mixed moments, the generalized method of the moments, and the incomplete means method. The details of these methods are already available in the literature. Among these methods, statistical moments, L-moments, and maximum probability methods are used frequently in the determination of the relevant parameters of probability distribution functions [27]. In this study, L-moments method is employed in parameter estimation.

2.3 L-moments

In the last century, one of the most significant scientific contributions to statistical hydrology was made by Hosking [28] with the L-moments, which are special cases of probability-weighted moments. The advantages of the L-moments can be summarized as follows: (i) they characterize a wider range of distributions than conventional moments, (ii) they are less sensitive to outliers in the data, (iii) they approximate their asymptotic normal distribution more closely, and (iv) they are nearly unbiased for all combinations of sample sizes and populations [29]. L-moments are alternatives to determine the main characteristics of the probability distribution of hydrological data. L-moments may be considered a linear combination of data series in ascending order. The general expression for probability-weighted moments is given as follows [25]:

$$b_r = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N-r} \frac{\binom{N-j}{r} x_j}{\binom{N-1}{r}} \tag{1}$$

According to this formula:

$$b_0 = \mu \tag{2}$$

$$b_1 = \sum_{j=1}^{N-1} \frac{\binom{N-j}{1} x_j}{N(N-1)} \tag{3}$$

$$b_2 = \sum_{j=1}^{N-2} \frac{\binom{N-j}{2} x_j}{N(N-1)(N-2)} \tag{4}$$

$$b_3 = \sum_{j=1}^{N-3} \frac{\binom{N-j}{3} x_j}{N(N-1)(N-2)(N-3)} \tag{5}$$

The usage of the confident estimations of probability-weighted moments in the charts of L-moments and regional analyses is suggested. L-moments can be calculated by using probability-weighted moments as follows:

$$\lambda_1 = b_0 \tag{6}$$

$$\lambda_2 = 2b_1 - b_0 \tag{7}$$

$$\lambda_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \tag{8}$$

$$\lambda_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0 \tag{9}$$

$$\text{L-skewness } (\tau_3) = \lambda_3 / \lambda_2$$

$$\text{L-kurtosis } (\tau_4) = \lambda_4 / \lambda_2 \tag{10}$$

$$\text{L-Cv } (\tau) = \lambda_2 / \lambda_1$$

2.4 Kolmogorov-Smirnov (K-S) test

Two goodness of-fit-tests are used for evaluating the suitability of different probability distributions in this study. A procedure based on the expected number of exceedances of a certain flood event was used.

In Kolmogorov-Smirnov (K-S) test, the observed data series is sorted in ascending order first. Then, for each observed value of x_i , its probability of non-exceedance $F(x)$ is an empirical distribution function calculated using a plotting position formula. $S(x)$ is the theoretical cumulative distribution of the tested distribution computed using the chosen probability distribution. According to the K-S test, the largest value of the differences between these two probabilities is considered for the goodness-of-fit test criterion.

From K-S' table, according to the acceptable level of significance α , commonly taken as 90% or 95%, and the number of elements in the sample series, n , D_{table} is obtained. If $D_{table} \geq D_{max}$, then the chosen probability distribution is said to fit to the observed sample series [5].

$$F(x) = P(X \leq x) \tag{11}$$

$$D = \max [F(x) - S(x)] \tag{12}$$

2.5 Probability plot correlation coefficient (PPCC) test

The adequacy of a fitted distribution can be evaluated by the PPCC coefficient, which is essentially a measure of the linearity of the probability plot [30]. PPCC is a powerful goodness-of-fit test for normality developed by Filliben and Looney, and Gullidge [31]. This test is readily extendible for testing some non-normal distributional hypotheses. Filliben's PPCC test statistic is defined as the product moment correlation coefficient (r) between the ordered observations y_i and the corresponding fitted quantiles Q_i which is determined by the plotting position formula for each y_i . The test statistic is defined by:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})(Q_i - \bar{Q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 (Q_i - \bar{Q})^2}} \quad (13)$$

Y and Q represent the mean values of the observation Y_i and the fitted quantile Q_i , respectively, and N is the sample size [15]. This test is seen to be much more powerful than other tests. In many cases, the two-parameter distributions are rejected.

2.6 Study Area: Alibeyköy Watershed

Alibeyköy Watershed is located on the European Continental side of İstanbul in Turkey. It has a drainage area of 161 km² and supplies an important portion of İstanbul's drinking water. There are 10 streams that gather overland flow generated over the basin. These streams are Cebeci stream, Boğazköy stream, Bolluca stream, Kocaman stream, Çıplak stream, Ayvalı stream, Elmalı stream, Gülgen stream, Malkoç stream, Çiftepınar stream. The land morphology of the great part of the watershed is in the form of sandy clay loam. The altitude of the watershed is between 30-170 m in the topographic boundaries. Alibeyköy Watershed is composed of 23% of agricultural and pastureland, 15% of residential and industrial areas, 60% of forest, and 2% of dam area. However, there is a great potential for population growth due to the new developments of infrastructures in the basin. These new infrastructures include third Bosphorus Bridge, third İstanbul airport and Canal İstanbul project. Therefore, high urbanization is expected in the next 10 years and these changes will have negative effects on the ecosystem in the future if no action is taken. Moreover, settlements on this watershed especially near the mainstream are under flood risk. Selection of Alibeyköy watershed as the study site is thus crucial. The boundary of Alibeyköy Watershed and Alibeyköy Dam are shown in Figure 1.

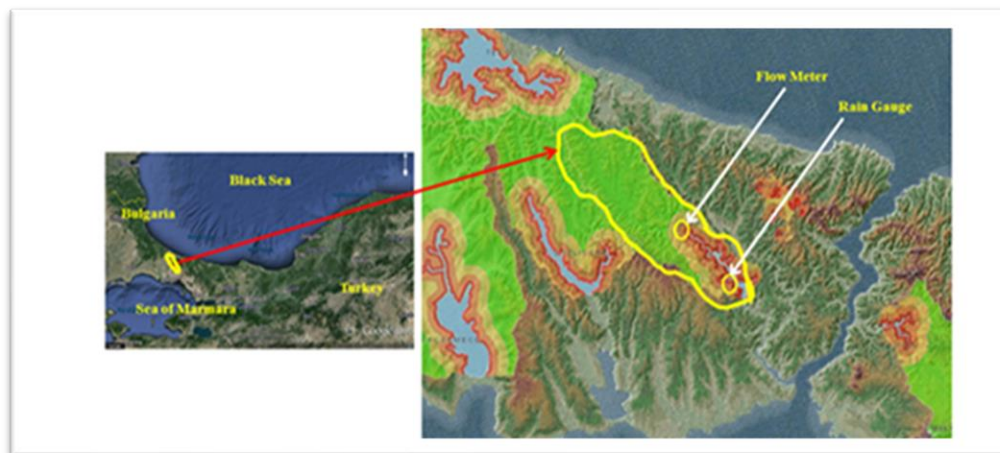


Figure 1. General view of Alibeyköy Watershed and location of rain gauge and flow meter

In this study, annual maximum flow data recorded for 44 years at Alibeyköy gauge station located on Pirinççi Stream (DSİ_AGİ_D02A047) is used. The flow meter is located downstream of the Pirinççi Stream (Figure 2).



Figure 2. General view of flow meter in Alibeyköy Watershed

The annual maximum flow data for 1965-2020 were obtained from State Hydraulic Works of Turkey. The graphics of the annual maximum data series is given in Figure 3.

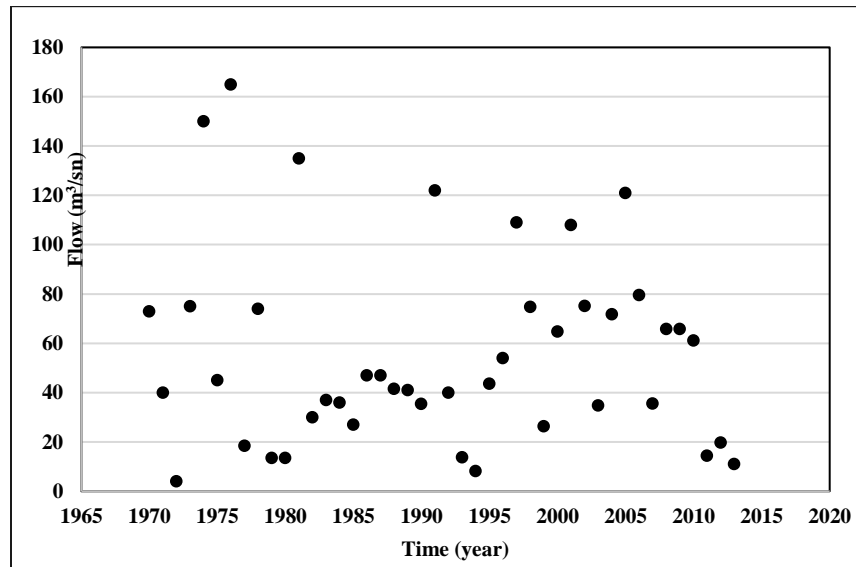


Figure 3. Annual maximum peak flow rates of Pirinççi stream in Alibeyköy Basin

3. RESULTS AND DISCUSSION

The minimum and maximum values of the annual maximum flow data series for the D02A047 gauge station are provided in Table 2. In addition, the statistics using classical moments are calculated using the annual maximum flow data and given in Table 2.

Table 2. Minimum and maximum values of flow data and the corresponding statistics

Parameters	Values
Number of data (<i>N</i>)	44
Minimum flow (m ³ /s)	6.16
Maximum flow (m ³ /s)	165
Mean flow (m ³ /s)	56.12
Standard deviation (m ³ /s)	34.47
Coefficient of skewness	1.05
Coefficient of quartile skewness	0.33
Median (m ³ /s)	44.30
Destination between quartiles	44.95
Median absolute deviation (m ³ /s)	11.82
Variance	1187.86

Probability-weighted moments and L-moments are computed for D02A047 gauge station data and the relevant parameters are presented in Table 3. The statistical parameters are location, scale, and shape parameters. Using probability-weighted moments (PWMs), L-moments are computed. Then, L-moment ratios are defined, which are L-coefficient of variation, L-skewness, and L-kurtosis.

Table 3. Probability weighted moments and L-moments

D02A047 gauge	L-Moments and rates
b_0	56.12
b_1	38.82
b_2	30.29
b_3	25.11
(Location) L_1	56.12
(Scale) L_2	21.52
(Shape) L_3	4.96
(threshold) L_4	3.06
(Variation) LC_v	0.38
(Skewness) LC_s	0.09
L-kurtosis	0.14

The parameters of the N distribution are the mean μ and standard deviation σx . Non-normal distributed variables can be adjusted to the normal distribution by means of a suitable distribution. One of these transformation methods is computing the logarithms ($y=\ln x$). In this case, logarithmic mean μ and standard deviation σy will be the parameters of the LN2 distribution. For the Gumbel distribution, scale and location parameters were estimated by PWMs and L-moments. The GEV, P3, LN3, and LP3 distributions contain a shape parameter in addition to location and scale parameters, which are also estimated by PWM and L-moments.

Just as the log-normal distribution, which represents the logarithm of the normal distribution of the variable x , LP3 represents the logarithm of the P3. Moreover, the 3-parameter log-normal distribution (LN3) represents the logarithm of the normal distribution with an additional parameter x_0 corresponding to a lower boundary. The estimated parameters of 2 and 3-parameter distributions are presented in Table 4 and Table 5.

Then, the maximum flow rate for return periods of 50, 100, 200, and 500 years are predicted using seven different probability distribution functions and are given in Table 6. As it can be seen from this Table, for low return periods (i.e. 50 and 100 years), LN2 predicts the flood flow the lowest, whereas P3 predicts the flood flow the highest. For high return periods (i.e. 200 and 500 years), N predicts the lowest flood flow, whereas LP3 predicts the highest flood flow. In general, the flood flow results for LP3 are significantly higher than the results of the rest of the probability distribution functions as the return period increases. The maximum flow data is measured as 165 m³/s at a gauging station in Alibeyköy Watershed for 44 years of annual maximum flow data. As it can be seen in Table 6 that this value is between the values calculated by Gumbel and GEV distribution functions for 50-year return period.

The comparison of 2-parameter distributions with the observed data and 3-parameter distributions with the observed data are presented in Figures 4 and 5, respectively. As it can be seen from Figure 4 that Gumbel fits the observed data better than N and LN2. N represents the flood flow for low return periods better than the ones for high return periods. When 3-parameter distributions are compared, GEV fits the observed data better than LN3, P3, and LP3.

Table 4. Parameter estimation of 2-parameter distributions

N		LN2		Gumbel	
μ	σ_x	μ	σ_y	ζ	α
56.12	34.47	3.38	0.57	31.06	38.19

Table 5. Parameter estimation of 3-parameter distributions

LN3			GEV			P3				LP3			
μ_x	σ_x	x_0	k	α	u	K (C_{sx})				K (C_{sy})			
						50	100	200	500	50	100	200	500
3.25	0.92	-15.98	-0.09	28.29	36.96	2.58	3.09	4.74	5.23	2.58	3.09	4.74	5.23

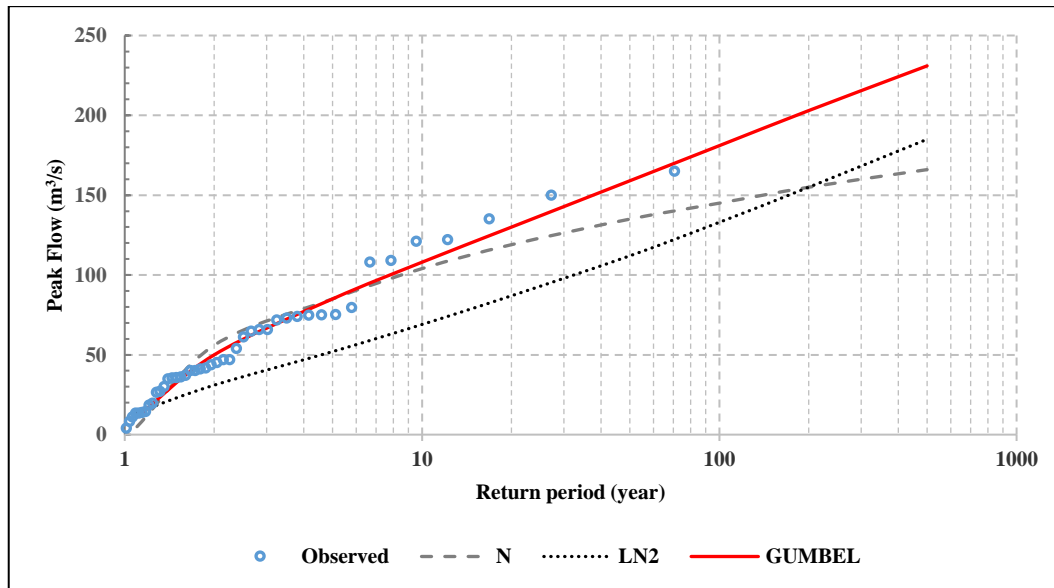


Figure 4. 2-parameters probability distributions and observed data in the Pirinçci stream.

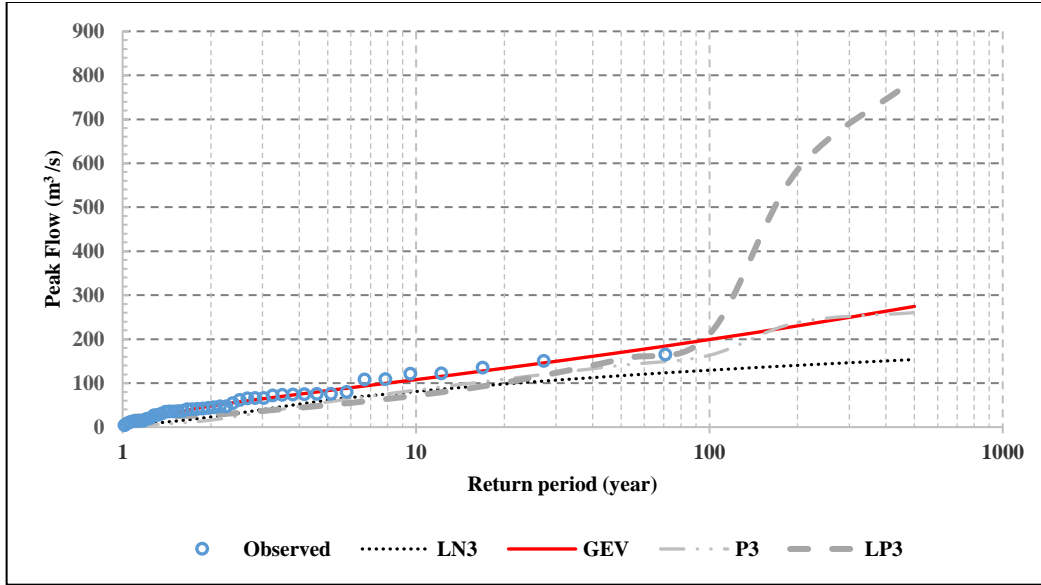


Figure 5. 3-parameters probability distributions and observed data in the Pirinçci stream.

Finally, the goodness-of-fit-test for each probability distribution function is performed using K-S and PPCC methods. The results of K-S and PPCC methods are presented in Table 7 and Table 8, respectively. Based on K-S test, all distributions used in this study are found as suitable. Based on the PPCC test, among 2-parameter distributions, only Gumbel is found the suitable distribution and among 3-parameter distributions, only GEV is found as the suitable distribution. Thus, GEV and Gumbel distributions, which perform the best results for the goodness of fit tests, are chosen among the probability distributions investigated in this study for decisions in Alibeyköy watershed planning and management.

Table 6. Various return periods of flood flow estimated for Station no D02A047

Flood flow (m ³ /s) for various Return periods (year)				
Distribution type	50	100	200	500
Normal	135	145	155	166
Log-Normal2	112	133	155	185
Log-Normal3	148	164	179	196
Gumbel	159	181	203	231
GEV	170	199	230	274
Pearson Type III	179	208	305	334
Log-Pearson Type III	155	211	585	791

Table 7. Results of K-S Test

Distribution	Critical values ®		Suitableness of data*
	Calculated	Critical	
Normal	0.0141	0.20503	Compatible
Log-Normal 2	0.0080	0.20503	Compatible

Log-Normal 3	0.0222	0.20503	Compatible
Pearson III	0.0222	0.20503	Compatible
Log-Pearson III	0.0222	0.20503	Compatible
GEV	0.0136	0.20503	Compatible
Gumbel	0.0127	0.20503	Compatible

*If calculated r is smaller than critical r, it is suitable.

Table 8. Results of PPCC Test

Distribution	Critical values ®		Suitableness of data*
	Calculated	Critical	
Normal	0.955	0.977	Not compatible
Log-Normal 2	0.902	0.977	Not compatible
Log-Normal 3	0.904	0.977	Not compatible
Pearson III	0.896	0.940	Not compatible
Log-Pearson III	0.822	0.940	Not compatible
GEV	0.985	0.977	Compatible
Gumbel	0.988	0.970	Compatible

*If calculated r is bigger than critical r, it is suitable.

4. CONCLUSION

Flood flow rate is an important hydrologic parameter in determining flood risk, managing water resources, and designing hydraulic structures such as dams, spillways, culverts, and irrigation ditches. The estimate of the design event should be fairly accurate to avoid excessive costs in case of overestimation of the flood magnitude or excessive damage and even loss of human lives in case of underestimation of the flood potential. This paper presents a case study for prediction of peak flow rates with different return periods for Alibeyköy Watershed. Several probability distribution functions are fitted using annual maximum flow data measured on Pirinççi Stream, and K-S and PPCC tests are employed to determine their performance. Based on the analyses carried out, the following conclusions are drawn from this study:

1. Among the commonly used distributions in hydrology (N, LN2, LN3, GEV, Gumbel, P3, LP3), the GEV and the Gumbel distributions are found as the most suitable candidates in representing the annual maximum flows of rivers of Alibeyköy basin. Therefore, the other distributions were suggested as secondary methods to estimate these quantiles.
2. The estimated flood values can be used in hydraulics, hydrology, and engineering studies related to the design and operation of hydraulic structures (bridges, culverts, dams, erosion-control structures), especially in urbanized areas so that decision makers can accurately plan watershed management strategies and protect water resources and ecology.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Istanbul University, Project number 49485. The writers would like to thank Scientific Research Projects Coordination Unit of Istanbul University, Turkish State Hydraulic Works (DSI), Istanbul Metropolitan Municipality (IBB), and Istanbul

Water and Sewerage Administration (ISKI) for their data support and valuable discussions in undertaking this work.

REFERENCES

- [1] Önöz B., and Bulu A., “Frequency analysis of low flows by the PPCC test in Turkey” FRIEND '97 — Regional Hydrology: Concept and Models for Sustainable Water Resource Management (Proceedings of the Postojna, Slovenia, Conference, September-October 1997). IAHS Pubj. no. 246, 1997.
- [2] Xiong L., Du T., Xu C.Y., Guo S., Jiang C., Gippel J.C. “Non station annual maximum flood frequency analysis using the NMC method consider non-stationarity in the annual daily flow series” *Water resource manage*, 29:3615-3633, 2015. DOI: 10.1007/s11269-015-1019-6
- [3] Haktanir T., “Statistical modelling of annual maximum flows in Turkish rivers.” *Hydrological Sciences Journal*, 36:4, 367-389, 2009. DOI: 10.1080/02626669109492520
- [4] He, J., Anderson, A., and Valeo, C., “Bias compensation in flood frequency analysis”. *Hydrological Sciences Journal*, 60:3, 381-401, 2015. DOI: 10.1080/02626667.2014.885651
- [5] Seekin N., Haktanir T., and Yurtal R., “Flood frequency analysis of Turkey using L-moments method.” *Hydrological Processes* 25, 3499–3505, 2011.
- [6] Önöz B. and Bayazit M., “Best-fit distributions of largest available flood samples. *Journal of Hydrology* 167,195-208, 1995.
- [7] Li Z., Li Z., Zhao W. and Wang Y., “Probability modeling of precipitation extremes over two river basins in Northwest of China”, *Advances in Meteorology*, 374127, 2015.
- [8] Phien HN. And Laungwattanapong N., “At-site flood frequency analysis for Thailand”, ISSN 0378-4738= *Water SA* Vol. 17 No.2, April 1991.
- [9] Aydoğan D., Kankal M., Önsoy H., “Regional flood frequency analysis for Çoruh Basin of Turkey with L-moments approach”, *Flood Risk Management*, 2016. DOI: 10.1111/jfr3.12116
- [10] Sarmadi F. and Shokoohi A. “Regionalizing precipitation in Iran using GPCC gridded data via multivariate analysis and L-moment methods” *The Application Climatology*, 2015. 122:121–128. DOI: 10.1007/s00704-014-1292-y
- [11] Vogel R.M. and Wilson I., “Probability distribution of annual maximum mean and minimum stream flows in the United States, *Journal of Hydrologic Engineering*, Pages 69-76, April 1996.
- [12] Atiem A. and Harmancıoğlu N.B., “Assessment of regional floods using l-moments approach: The case of the river Nile” *Water Resources Management*, 2006. 20: 723–747 DOI: 10.1007/s11269-005-9004-0
- [13] Zalina M.D., M. Desa, M.N., Nguyen, V-T-V and M. Kassim, A.H., “Selecting a probability distribution for extrem era infall series in Malaysia.” *Water Science Technology Journal*, Vol. 45, No. 2, pp 63 – 68, 2002.
- [14] Vogel R.M., Wilbert O., Thomas J. and McMahon T.A., “Flood-flow frequency model selection in southwestern United States”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 119, No.3, May/June 1993. ISSN 0733-9496/9310003-03531

- [15] Rahman S.A., Rahman A., Zaman M.A., Haddad K., Ahsan A and Imteaz M., “A study on selection of probability distributions for at-site flood frequency analysis in Australia.” *Natural Hazards*, 2013. 69:1803–1813 DOI: 10.1007/s11069-013-0775-y
- [16] Senocak S. and Acar R., “Modelling of short-duration rainfall intensity equation for the Aegean region of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin* January, 16(9):1220-1226, 2007.
- [17] Ferdows M. and Hossain M. “Flood frequency analysis at different rivers in Bangladesh: a comparison study on probability distribution functions”. *Thammasat International Journal Science Technology*, Vol 10, No 3, July-September, 2005.
- [18] Choo T.H., Maeng S.J., Kim H.S., and Lee S.W., "Characteristic of design floods using l-moment based on gradual composition of annual maximum flood flow” *Irrigation and Drainage* 61: 497–506, 2012. DOI: 10.1002/ird.687
- [19] Salinas J.L., Castellarin A., Viglione A., Kohnová S., and Kjeldsen T.R., “Regional parent flood frequency distributions in Europe – Part 1: Is the GEV model suitable as a pan-European parent?”. *Hydrology Earth System Science*, 18, 4381–4389, 2014. www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/4381/2014/ doi:10.5194/hess-18-4381-2014
- [20] Olofintoye O.O., Sule B.F. and Salami A.W. “Best-fit Probability distribution model for peak daily rainfall of selected Cities in Nigeria” *New York Science Journal*, 2(3), ISSN 1554-0200, 2009.
- [21] Saghafian B., Golian S. and Ghasemi A., “Flood frequency analysis based on simulated peak discharges” *Natural Hazards*, 2014.71:403–417. DOI 10.1007/s11069-013-0925-2
- [22] Can, I. Tosunoglu, F., “Estimating T-year flood confidence intervals of rivers in Çoruh basin, Turkey”, *Journal of Flood Risk Management*, 2013. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12000>
- [23] Mkhandi S.H., Kachroo R.K. and Guo S.L., “Uncertainty analysis of flood quantile estimates with reference to Tanzania” *Journal of Hydrology* 185 (996) 317-333, 1996.
- [24] Sharma A.M. and Singh B.J., “Use of probability distribution in rainfall analysis. *New York Science Journal*, 3, (9), 40–49. 2010.
- [25] Önöz B. and Bayazit M., “Flood and drought hydrology” İstanbul, P 46-48, 2007.
- [26] Rao R.A. and Hamed H.K., “Flood frequency analysis”, London: CRC Press, 2000.
- [27] Singh V.P., “Entropy-based parameter estimation in Hydrology” Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [28] Hosking, J.R.M., “L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics” *Journal Royal Statistic Society, Series B*, 52, 105–124, 1990.
- [29] Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R., “Regional flood-frequency analysis using L-moments” IBM Research, Yorktown Heights, New York, Rep. 15658, 1990.
- [30] Filliben J.J., “The probability plot correlation test for Normality”, *Technometrics* 17 (1):111-117, 1975.
- [31] Looney S.W. and Gulledge T.R. Jr., “Use of the correlation coefficient for the normal probability plots” *The American Statistician* 39(1):75-79, 1985.

Utilizing Drying Techniques to Enhance The Quality of Avocados and Bananas For Producing Value-Added Fruit Powders in Alanya, Turkey's Plantations: A Systematic Review

Lee Kelly¹ , Linda Christina Pravinata¹ , Tugba Aktar^{2*} 

¹ University of Leeds, School of Food Science and Nutrition, Leeds, United Kingdom

² Alanya Alaaddin Keykubat University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Alanya, Antalya, Turkey

*tugba.aktar@alanya.edu.tr

Abstract

The high perishability of bananas and avocados causes a loss in quality and value. With the aim of the Turkish government to increase production to meet its exportation demands, the consequences of losses are expected to amplify. Therefore, this review aims to provide an overview of the potential of using drying as a preservation method to produce fruit powders and evaluate the effects of drying on the physicochemical properties and color of the powders as a consumer acceptability parameter. The review initially collated 893 results from databases and the utilization of search engines. Thirty articles were selected for qualitative assessment. Results showed convective, vacuum, freeze, and spray drying produced powders with acceptable moisture content (<10%) and water activity values (<0.6), ensuring chemical and microbial safety. However, heating caused thermal degradation due to the Maillard and caramelization reactions, forming brown pigments. Convective drying required the longest drying time and produced brownish-red powders with the highest a* value. As both freeze drying and spray drying involve low temperatures and short drying times, they are suitable for heat-sensitive materials respectively. The addition of maltodextrin exhibited color protection effects, and foam mat drying minimized drying temperature and time by increasing the surface area. In conclusion, drying is an effective and suitable preservation method for perishable bananas and avocados and is highly recommended to be adopted in Turkish plantations. However, other physicochemical properties of the powder should also be considered in future research.

Keywords: Avocado, Banana, Fruit powder, Drying methods

1. INTRODUCTION

1.1 Avocado and Banana Production in Turkey

Turkey is a growing agricultural producer, with the agriculture sector comprising approximately 8% of its economy [1]. The government's commitment to growing the agriculture sector as an economic strategy has boosted Turkey's status to being the world's 8th largest agricultural producer [2]. The production of perishable fruits is crucial among other crops, such as pulses and cotton. As Turkey seeks to increase its production of fresh fruits, there are challenges associated with their perishability. The solution to these problems will maximize the input-to-outcome ratio and ensure quality. Bananas and avocados are examples of fruits being widely produced in Turkey, with the town of Alanya being one of the main areas of production [2].

Due to the increased demand for bananas and avocados, Turkey is setting aside more land to cultivate these fruits. According to of the National Statistical Institute records, the data obtained from the Agriculture and Forest Ministry of Turkey [3] illustrates that the total land for the national production of bananas increased by 30.4% from 2015 to 2019. In Alanya, the total land used for banana production increased by 80% from 2004 to 2018. On the other hand, according to the same database [3], the number of avocado trees also increased by 3437.5% from 1995 to 2020. While an increase in land area should

correspond to increasing production numbers, production numbers fluctuated throughout the years, though a general increase in production is still observed. This could be due to a range of reasons that led to post-harvest losses. Virtual interviews with the farmers in the area revealed that both bananas and avocados suffer losses due to transportation, and post-harvest damage for both bananas and avocados is estimated to be 1-2%, which is fortunately considered low. Furthermore, due to its high popularity within Turkey and its great reliance on exportation to Russia, losses and thus wastage were minimized as the demand greatly outweighed the supply. In fact, local farmers are still working towards increasing production to achieve a supply-demand equilibrium.

Even though the fruit mass loss was aimed to be minimized, the case is not always true regarding fruit quality. Due to the high level of metabolic activity in bananas and avocados, they are highly perishable and have a limited shelf life. Post-harvest losses of fruits are generally a result of their high susceptibility to physical, physiological, mechanical, and hygienic conditions [4], among which pathological and mechanical damage cause significant damage to perishables [5, 6].

1.2 Banana and Avocado Quality Classification System

According to personal reports of the farmers in Alanya, the fruits are classified into different quality grades in Turkey. Each tier is characterized by different properties and are worth different values as seen in Tables 1 [7].

The lowest tiers are deemed low quality and thus mainly sold locally at 25-50% lower prices than those qualified as 1st quality, as seen in Table 1 [7]. The majority of fruits produced are still classified as 1st quality products. However, the problem of quality degradation and its consequential impact on income will amplify as production increases unless the issue is not rectified. It is crucial that the quality of fruits is maintained, and emphasis should be placed on producing value-added products to minimize losses, both in terms of absolute production quantities and subsequent remuneration for the farmers. Thus, preserving perishable fruits like bananas and avocados into value-added products is important.

Table 1. Turkish classifications for bananas and avocados.

Banana classification in Turkey		
Tier	Proportion of total produce	Characteristics
1 st Quality	95-98%	
2 nd Quality	5-2%	- Selling price is 50% of the 1st quality bananas - Only for local consumption
Avocado classification in Turkey		
Tier	Proportion of total produce	Characteristics
1 st Quality	98-99%	- 250g in weight. - Mainly exported to European countries and Russia.
2 nd Quality		- Minimum weight: 160g. - Usually, 200g in weight. - Mainly purchased by local farmers' market within the country. - Price difference from 1 st quality not significant.
3 rd Quality	1-2%	- Visible bruises. - Mainly purchased by local farmers' market within the country.

- Selling price is 25% less of the 1st quality avocados.

According to the Food and Agricultural Organization (FAO), the removal of water present in foods hinders the growth and multiplication of bacteria, thus achieving extended shelf-life. With this, a proposed preservation solution is the total drying of the fruits into fruit powders to extend the shelf-life, enhance storage stability, and reduce packaging requirements and transportation weight [8]. While drying fruits into powdered form could be a solution to producing value-added avocado and banana products with various advantages, it is mandatory to consider the impact of these processing techniques on the quality of the fruit powders produced. Ultimately, physical properties such as the appearance of the product greatly influences consumer acceptability and, thus, the success of a food product.

With this, the aim of the study can be listed as follows;

- 1) Explore the potential of adopting drying techniques as a method for producing value-added avocado and banana powders with extended shelf life and improved stability,
- 2) Evaluate the impact of convective, vacuum, freeze, and spray drying on the physicochemical properties and physical appearance (color) of the avocado and banana powders.

2. METHODOLOGY

A systematic review was conducted between October 2020 and May 2021. This review closely follows the PRISMA statement protocol (Figure 1) to guarantee the quality of the review and to reduce the likelihood of bias. The main databases used include Web of Science and Science Direct. The web search engine ‘Google Scholar’ was also extensively used. Once the scope of the review is defined, the key search terms to be used are determined, as shown in Table 2.

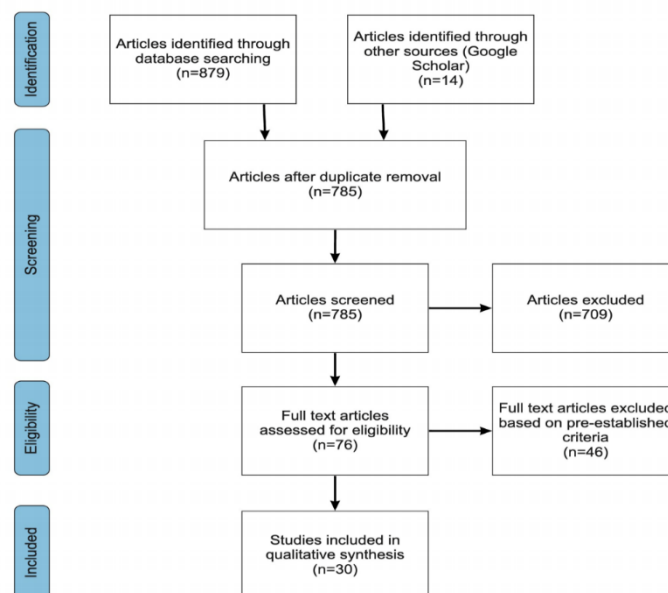


Figure 1. PRISMA flow diagram of the screening and selection process for the effects of various drying methods on the physicochemical properties and color of avocado and banana powder.

Multiple inclusion and exclusion criteria were defined to determine the suitability of extracting information from a specific source. The inclusion or exclusion of articles was based on the following criteria, as seen in Table 3. Studies that were published in the English language and evaluated the effects of different drying techniques on the physicochemical properties of bananas and avocados were included

in the systematic review. On the other hand, articles that were published in a foreign language and evaluated fruits other than avocados and bananas were eliminated.

Table 2. Search terms used within the database and search engines

Search term	
1	“Dry* technique* OR Dry* method* OR Dehydration”
2	“Physicochemical propert* OR Physicochemical characteristic* OR Physicochemical parameter*”
3	“Spray dr* OR Freeze dr* OR Convective dr* OR Vacuum dr*”
4	“Banana powder*”
5	“Avocado powder*”

The initial identification of articles through databases and google scholar generated 893 publications, though 108 duplicates were identified and thus excluded. After removing the duplicates, the remaining articles were screened based on their title and abstract against the pre-established inclusion and exclusion criteria. Among the studies, 709 articles were excluded as they did not address the review questions or were published in a foreign language. As a result, the remaining 76 full-text articles were assessed for their relevance and eligibility. Following the second screening stage, 11 of the full-text articles were not translated into English, 14 were not accessible, and the remaining 21 articles were not specific to bananas and avocados. Hence, 30 studies were eligible for use in this systematic review for qualitative and quantitative assessment.

Table 3. Inclusion and exclusion criteria.

Inclusion criteria	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluate the effects of drying on at least one of the following physicochemical properties of banana and avocado powder: moisture content and water activity. 2. Evaluate the effects of drying on the physical appearance (color) of the banana and avocado powder: L*, a*, b* value**. 3. Evaluate the efficiency of the different drying techniques: Powder yield. 4. Published in the English language.
Exclusion criteria	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluate the effect of drying on the physicochemical properties and physical appearance of fruits other than bananas or avocados. 2. Evaluate the effect of drying on the physicochemical properties other than those stated in the inclusion criteria. 3. Published in a foreign language with no available translated version. 4. Unpublished articles. 5. Articles published before 1995.

** The color parameters stands for; L* lightness (100) to darkness (0), a* redness (+) to greenness (-), and b* yellowness (+) to blueness (-).

3. RESULTS AND DISCUSSION

This systematic review presents the feasibility of traditional and modern drying techniques to produce fruit powders as a strategy that combats the problem of high perishability. Fruit powders are characterized by high stability and low susceptibility to chemical and microbial damage, thus prolonging the shelf life and achieving value-added products. The physicochemical properties of the fruit powders produced are determined to evaluate the suitability of each drying method. However, high heterogeneity in the studies analyzing the properties of fruit powders produced by different drying techniques was observed. This is due to different independent and dependent variables in each study. Due to the lack of consistency among the studies analyzed, a systematic review was conducted rather than a meta-analysis.

Qualitative and quantitative data was extracted from 13 of the 30 studies where the effect of drying on the physicochemical properties of the dried banana and avocado is evaluated. The remaining studies provided qualitative information. From Tables 4-7, all 13 studies were published between 1995-2021. The majority of studies aimed to establish the possibility and potential of adopting drying techniques in producing avocado and banana powders. Dantas et al. (2018), Marulanda et al. (2018), Karthik Nayaka et al. (2020), Koç and Yüksel (2020), Mujaffar and Dipnarine (2020) and Karthik Nayaka et al. (2020), evaluated the effects of drying on the physio-chemical properties of avocado powder while; Hawkins (1999), Chen et al. (2010), Feguš et al. (2015), Naknaen et al. (2016), Saranya and Sudheer (2018), Wong et al. (2018), and Nayaka et al. (2020) evaluated the effects of drying on the physicochemical properties of banana powders. However, Jiang et al. (2010) and Karam et al. (2016) researched banana chips and cubes, respectively. Quantitative data from these studies include the effect of oven, convective, vacuum, spray and freeze drying on the powder yield, moisture content, water activity, and the color of avocado and banana powder as measured by L*, a*, and b* values. The majority of studies investigated the effects of a singular drying technique on the properties of the fruit powder produced. However, Jiang et al. (2010), Karam et al. (2016), and Koç and Yüksel (2020) involved the combination of freeze and microwave drying [8, 11, 20].

Table 4. Review of the effects of different drying methods on the powder yield, moisture content and water activity of avocado powder

Product	Cultivar	Ripeness	Drying method	Pre-treatment	Temperature (°C)	Independent variable	Powder yield (%)	Moisture content (%)	Water activity (a _w)	Reference
Avocado powder	<i>Persea americana</i> Mill. var. Pollock	Harvested at unripe stage	OD	-	60	-	-	0.36 ± 0.01	0.64	[12]
Avocado powder	-	Mature	CFM	Foaming agent: liquid egg white	60	-	-	12.09 ± 1.94	-	[11]
					70	-	-	7.73 ± 0.68	-	
					80	-	-	6.54 ± 0.05	-	
					Fresh	-	-	69.33 ± 0.32	-	
Avocado powder	<i>Persea americana</i> Mill. var. Pollock	Harvested at unripe stage	FD	-	Pre-frozen: -18 Condenser: 44 Heating: 24	-	0.02	0.37 ± 0.01	[12]	
Avocado powder	-	Mature	MFM	Foaming agent: liquid egg white	-	120W	-	6.10 ± 0.84	-	[11]
					-	460W	-	3.60 ± 0.45	-	
					-	700W	-	3.66 ± 0.14	-	
Avocado powder	<i>Persea americana</i> Mill. var. Pollock	-	SD	Pre-treated with citric acid and 10% MD	150	-	6.04	3.76	0.25	[13]
					160	-	9.79	2.49	0.20	
					170	-	6.10	2.35	0.18	
					180	-	7.33	1.85	0.17	
					Mean	-	7.39	2.61	0.20	
					Fresh	-	-	73.56	0.69	
Avocado powder	Hass	-	SD	Feed composition: avocado, water, lemon, 6.96% (w/w) MD	160	-	57.20	1.60 ± 0.20	0.26	[10]
Avocado powder	<i>Persea americana</i> Mill. var. Pollock	-	SD	Homogenized with milk, sugar, 23% (w/w) MD	INT: 80 OUT: 55 ± 1	-	44.80	5.90	0.38	[9]
Avocado powder	<i>Persea Americana.</i> Mill	Firm, ripe	SD	Pre-treated with citric acid, MD	160	5% (w/w) MD	6.53	2.64	0.23	[13]
					-	10% (w/w) MD	12.35	2.14	0.20	
					-	15% (w/w) MD	16.89	2.28	0.20	
					-	20% (w/w) MD	19.33	1.80	0.16	
					-	Mean	13.77	2.21	0.20	

*All values are measured to 2 decimal places.

(OD: Oven drying; CFM: Convective foam-mat drying; FD: Freeze drying; MFM: Microwave foam-mat; SD: Spray drying; INT: Inlet temperature; OUT: Outlet temperature; MD: Maltodextrin; - : not available or evaluated)

Table 5. Review of the effects of different drying methods on the color of avocado powder in terms of L*, a*, b* values.

Product	Cultivar	Ripeness	Drying method	Pre-treatment	Processing Temperature (°C)	Independent Variable	Color			Reference
							L*	a*	b*	
Avocado powder	<i>Persea americana</i> Mill. var. <i>Pollock</i>	Harvested at unripe stage	OD	-	60		30.97 ± 0.31	2.79 ± 0.10	13.17 ± 0.18	[12]
Avocado powder	<i>Persea americana</i> Mill. var. <i>Pollock</i>	Harvested at unripe stage	FD	-	Condenser: -44 Heating: 24		82.96 ± 0.59	-14.32 ± 0.02	60.38 ± 0.29	[12]
Avocado powder	<i>Persea americana</i> Mill. var. <i>Pollock</i>	-	SD	Pre-treated with citric acid, MD	150		66.36	0.26	19.73	[13]
					160		68.27	0.65	27.44	
					170		68.93	2.36	28.53	
					180		72.17	3.44	31.84	
					Mean		68.93	1.68	26.88	
					Fresh		49.21	-3.40	34.93	
Avocado powder	<i>Persea Americana</i> Mill	Firm, ripe	SD	Pre-treated with citric acid, MD	160	5% (w/w) MD	60.16 ± 0.34	-1.14 ± 0.06	30.22 ± 0.25	[28]
						10% (w/w) MD	64.85 ± 0.34	0.49 ± 0.06	27.53 ± 0.25	
						15% (w/w) MD	69.05 ± 0.34	1.29 ± 0.06	24.51 ± 0.25	
						20% (w/w) MD	71.87 ± 0.34	3.22 ± 0.06	23.29 ± 0.25	
						Mean	66.47 ± 0.34	1.53 ± 0.06	26.39 ± 0.25	
Avocado powder	Hass	-	SD	Pre-treated with lemon juice, 6.96% (w/w) MD	160		74.80 ± 0.20	-5.00 ± 0.10	27.60 ± 0.30	[10]
Avocado powder	<i>Persea americana</i> Mill.	-	SD	Homogenized with milk, sugar, 23% (w/w) MD	80		44.80	5.90	0.38	[9]

*All values are measured to 2 decimal places.

(OD: Oven drying;; FD: Freeze drying; SD: Spray drying; INT: Inlet temperature; OUT: Outlet temperature; MD: Maltodextrin; - : not available or evaluated)

Table 6. Review of the effects of different drying methods on the powder yield, moisture content and water activity of banana powder.

Product	Cultivar	Ripeness	Drying method	Pre-treatment	Temperature (°C)	Independent variable	Powder yield (%)	Moisture content (%)	Water activity	Reference
Banana powder	-	-	CD	-	63	-	-	9.31	0.21	[14]
Banana powder	Pisang Awak, M. sapientum Linn	Maturity stage: 5	CD	Pre-treated with 0.5% w/w citric acid	60	-	-	4.24 ± 0.24	-	[17]
Foamed banana powder	Pisang Awak, M. sapientum Linn	Maturity stage: 5	CD	Pre-treated with 0.5% w/w citric acid, MD Foaming agent: whey protein concentrate	60	-	-	4.67 ± 0.27	-	[17]
Foamed banana powder	Pisang Awak, M. sapientum Linn	Maturity stage: 5	VD	Pre-treated with 0.5% w/w citric acid, MD Foaming agent: whey protein concentrate	60	-	-	4.32 ± 0.30	-	[17]
Foamed banana powder	Pisang Awak, M. sapientum Linn	Maturity stage: 5	FD	Pre-treated with 0.5% w/w citric acid, addition of MD, pureed, stored refrigerated Foaming agent: whey protein concentrate incorporated into ~200g of banana puree	Pre-frozen: -20	-	-	4.39 ± 0.26	-	[17]
Banana powder	-	-	FD	Banana mixed with banana puree and concentrate (°Brix: 70) in ratio 4:1	-	-	-	1.05	0.12	[16]
Banana cube	Musa acuminata Colla, cv. AAA Cavendish	Harvested at commercial stage	FD	-	Pre-frozen: 65 Min: -40 Max: 55	-	-	8.20	-	[40]

Banana cube	Musa acuminata Colla, cv. AAA Cavendish	Harvested commercial stage	at MFD	-	Pre-frozen: -65 Min: -40 Max: 55	-	-	6.60	-	[40]
Banana powder	-	-	SD	MD and AG	160	26.21 ± 0.52	6.22 ± 0.09	-	[15]	
	-	-	-	-	170	43.17 ± 1.78	4.01 ± 0.09	-		
	-	-	-	-	180	40.44 ± 1.34	3.83 ± 0.07	-		
	-	-	-	-	190	28.38 ± 1.07	3.03 ± 0.04	-		
	-	-	-	-	200	14.92 ± 2.20	3.01 ± 0.07	-		
Banana pseudo-stem powder	cv. Palayankodan	-	SD	0.3% citric acid solution, blanched at 100°C for 1 min, fortified with milk.	185	78.73	-	0.38	[18]	
	-	-	-	Raw material composition: 30% horse gram extract, 50% milk, 20% pseudostem juice	190	79.25	-	-		
	-	-	-	-	200	47.05	-	0.22		
Banana powder	-	-	SD	Raw material composition: 32.3% banana, 22.5% MD, 45.2% water	130-160	-	2.03	0.22	[16]	
Banana powder	-	Brown spots; considered as overripe and unacceptable to consumers	SD	Raw material composition: 80g banana, 125ml water, 20g maltodextrin	190	12.60	9.31	0.21	[14]	
	-	-	-	-	Fresh	74.30	-	-		
Banana powder	Musa Colla	acuminata	-	SD	30% maltodextrin	140	44.30 ± 1.32	1.98 ± 0.08	0.30 ± 0.02	[19]
	-	-	-	-	-	150	51.49 ± 0.55	1.30 ± 0.03	0.31 ± 0.01	

						160			48.99 ± 0.33	1.18 ± 0.01	0.28 ± 0.01	
						170			48.73 ± 0.63	1.13 ± 0.02	0.26 ± 0.02	
						180			48.86 ± 1.02	1.01 ± 0.02	0.26 ± 0.01	
Banana powder	Musa Colla	acuminata	-	SD	MD: 10-15%	160	10% MD	(w/w)	20.06 ± 0.80	0.44 ± 0.02	0.32 ± 0.01	[19]
							20% MD	(w/w)	35.67 ± 0.46	0.36 ± 0.02	0.29 ± 0.01	
							30% MD	(w/w)	51.50 ± 0.68	0.29 ± 0.01	0.25 ± 0.01	
							40% MD	(w/w)	43.68 ± 1.02	0.23 ± 0.02	0.22 ± 0.01	
							50% MD	(w/w)	37.88 ± 0.90	0.18 ± 0.02	0.21 ± 0.00	

*All values are measured to 2 decimal places.

(CD: Convective drying; VD: Vacuum drying; FD: Freeze drying; MFD: Microwave freeze drying; SD: Spray drying; INT: Inlet temperature; OUT: Outlet temperature; MD: Maltodextrin; AG:Arabic gum; - : not available or evaluated)

Table 7 Review of the effects of different drying methods on the colour of banana powder in terms of L*, a*, b* values.

Table 7. Review of the effects of different drying methods on the colour of banana powder in terms of L*, a*, b* values.

Product	Cultivar	Ripeness	Drying method	Pre-treatment	Temperature (°C)	Independent variable	Color			Reference
							L*	a*	b*	
Banana powder	Pisang Awak, <i>M. sapientum</i> Linn.	Maturity stage: 5	CD	0.5%w/w citric acid	60		Lower L* than foamed banana powder	Higher a* than formed banana powder	Lower b* than foamed banana powder	[17]
Banana powder	Pisang Awak, <i>M. sapientum</i> Linn	Maturity stage: 5	FCD	0.5%w/w citric acid, MD	60		Foaming increased L*	Foaming reduced a*	Foaming increased b*	[17]
Banana powder	Pisang Awak, <i>M. sapientum</i> Linn	Maturity stage: 5	FVD	Foaming agent: whey protein concentrate incorporated into ~200g of banana puree	60		Freeze drying > vacuum drying > Convective drying	Convective drying > vacuum drying > freeze drying		[17]
Banana powder	Pisang Awak, <i>M. sapientum</i> Linn	Maturity stage: 5	FFD		-					[17]
Banana powder	-	-	FD	Banana mixed with banana puree and concentrate (°Brix: 70) in ratio 4:1	-		73.20	3.50	28.30	[16]
Banana cube	Musa acuminata Colla, cv. AAA Cavendish	Harvested at commercial stage	FD	-	Pre-frozen: 65 Min: -40 Max: 55	-	67.09 ± 0.48	1.09 ± 0.08	22.43 ± 0.22	[40]
Banana chip	Musa AAA Cavendish	Harvested at commercial stage	FD	-	Pre-frozen: 30 Min: -40 Max: 55	-	74.53 ± 0.33	-1.04 ± 0.17	18.66 ± 0.20	[20]
Banana cube	Musa acuminata Colla, cv. AAA Cavendish	Harvested at commercial stage	MFD	-	Pre-frozen: 65 Min: -40 Max: 55	-	55.70 ± 0.15	-0.58 ± 0.01	12.42 ± 1.67	[40]
Banana chip	Musa AAA Cavendish	Harvested at commercial stage	MFD	-	Pre-frozen: 30 Min: -40 Max: 55	-	67.38 ± 1.11	-0.47 ± 0.09	14.34 ± 0.45	[20]
Banana powder	-	-	SD	Pre-treated with MD and AG	160		98.79 ± 0.26	-1.17 ± 0.03	2.24 ± 0.04	[15]
					170		98.85 ± 0.16	-1.21 ± 0.03	2.37 ± 0.03	

					180		97.81 ± 0.04	-1.19 ± 0.02	2.13 ± 0.04	
					190		96.78 ± 0.13	-1.13 ± 0.01	2.16 ± 0.02	
					200		95.35 ± 0.09	-1.01 ± 0.02	1.87 ± 0.03	
Banana pseudo-stem powder	cv. Palayankodan	-	SD	0.3% citric acid solution, blanched at 100°C for 1 min; fortified with milk.	185		90.03	4.94	15.19	[18]
					190		88.00	5.50	18.82	
					200		81.49	8.15	18.82	
				Raw material composition: 30% horse gram extract, 50% milk, 20% pseudostem juice						
Banana powder	-	-	SD	Mix banana puree and banana concentrate (°Brix: 70) in ratio 4:1	130-160		88.80	0.40	12.20	[16]
				Raw material composition: 32.3% banana, 22.5% MD, 45.2% water						
Banana powder	Musa acuminata Colla	-	SD	30% w/w MD	140		91.33 ± 0.22	0.61 ± 0.03	11.05 ± 0.23	[19]
					150		90.60 ± 0.31	0.55 ± 0.02	10.10 ± 0.07	
					160		89.89 ± 0.21	0.29 ± 0.02	9.37 ± 0.08	
					170		82.52 ± 0.16	0.14 ± 0.02	8.63 ± 0.12	
					180		82.47 ± 0.20	0.07 ± 0.03	8.38 ± 0.26	
Banana powder	Musa acuminata Colla	-	SD	MD: 10-15%	160	10% (w/w) MD	91.89 ± 0.24	0.49 ± 0.01	7.92 ± 0.02	[19]
						20% (w/w) MD	91.70 ± 0.14	0.43 ± 0.02	7.88 ± 0.02	
						30% (w/w) MD	91.73 ± 0.05	0.39 ± 0.01	7.53 ± 0.04	
						40% (w/w) MD	91.82 ± 0.22	0.33 ± 0.01	7.24 ± 0.01	
						50% (w/w) MD	92.13 ± 0.29	0.20 ± 0.02	6.47 ± 0.04	

*All values are measured to 2 decimal places.

(CD: Convective drying; FCD: Foam-mat convective drying; FVD: Foam-mat Vacuum drying; FD: Freeze drying; FFD: Foam-mat freeze drying; MFD: Microwave freeze drying; SD: Spray drying; INT: Inlet temperature; OUT: Outlet temperature; MD: Maltodextrin; AG: Arabic gum; - : not available or evaluated)

Pre-treatment of the fruits was carried out in certain studies that aimed to aid the drying process, thereby improving the quality of the fruit powders. Naknaen et al. (2016) and Koç and Yüksel (2020) utilized foamed banana and avocados, respectively, where the foamed banana was also pre-treated with citric acid and 10% MD before drying. Dantas et al. (2018) utilized a homogenous mixture of avocados, milk, sugar, and 23% (w/w) MD. In studies that utilized the spray drying technique, carrier agent MD was added for its protective effects on color and to minimize the problem of sticking. The influence of MD concentration on the properties of the spray dried banana powder was evaluated by Wong et al. (2018), and a relationship was established. As the inlet temperature also influences the properties of the powder produced, Wong et al. (2018), Chen et al. (2010), and Karthik Nayaka et al. (2020) determined the relationship between inlet temperature and the quality of the powders produced.

Hawkins (1999), Jiang et al. (2010), Naknaen et al. (2016), Koç and Yüksel (2020), Mujaffar and Dipnarine (2020) specified the maturity level of the fruits when being dried. The lack of information on the other remaining studies hinders the possibility of determining a relationship between the ripeness of the fruits and the properties of the final products.

3.1 Effect of drying on powder yield

The powder yield of spray dried bananas ranged greatly from 12.6-79.0%. The great difference in percentage yield could be due to differences in the processing conditions and variables involved in the studies Hawkins (1999), Chen et al. (2010), Saranya and Sudheer (2018), Wong et al. (2018). A positive relationship between inlet temperature and powder yield is observed [15, 19], attributed to the greater rates and, thus, efficiency of heat and mass transfer process [21]. However, product yield decreased as the inlet temperature increased beyond 160°C due to stickiness problems and temperatures used beyond their glass transition temperatures [22]. Adding MD could solve the problem of sticking through product recovery, ultimately increasing the product yield. Wong et al. (2018) observed a positive relationship between MD concentration and powder yield, with 30% w/w MD achieving the greatest yield of 51.50%. This is considered efficient as defined [23]. However, a significant decrease in powder yield was observed when MD concentration increased further to 40 and 50% w/w. This is caused by the increase in the viscosity of the mixture [19].

Similar trends were also found in the spray drying of avocados, where the powder yield increased with increasing inlet temperature from 150-160°C but experienced a decrease at higher temperatures [13]. Similar to the spray drying of bananas, the primary cause of this loss in yield is the stickiness and melting of the powders in the drying due to their glass transition temperatures. In this study, a low powder yield was obtained ranging from 6.04-9.79%. On the other hand, Marulanda et al. (2018) found that the spray drying of avocado achieved a powder yield of >50%, thus efficient [23]. This difference in powder yield could be attributed to the inconsistencies in pre-treatment and processing conditions, limited quantitative information on the effects of the convective, vacuum and freeze drying on the powder yield of both bananas and avocados.

3.2 Effect of drying on moisture content

As seen in Tables 4 and 6, the moisture content of avocados and bananas was significantly lower in their powdered form than in their fresh counterparts [11, 13, 14]. Low-moisture dry foods have a longer shelf life and are more stable oxidatively due to the reduced microbial growth and chemical deterioration [24]. A moisture content of less than 10% [25] is ideal for preventing microbial growth, and this level of moisture content was successfully achieved in studies conducted by Hawkins (1999), Chen et al. (2010), Jiang et al. (2013), Fegus et al. (2014), Naknaen et al. (2015), Wong et al. (2018), Dantas et al. (2018), Marulanda et al. (2018), Mujaffar and Dipnarine (2020) and Karthik Nayaka et al. (2020). Food powders with a moisture content below 3% are characterized by suitable flowing properties, as stated by Jayasundera et al. (2009).

In the spray drying of bananas ([15], [19]) and avocados ([13], [28]) into powdered form (Table 5 and 7), increasing the inlet temperature led to lower final moisture content. This is attributed to the higher heat transfer rate that drives the evaporation process, thus reducing the moisture content [19]. Despite Chen et al. (2010) and Wong et al. (2018) observing similar trends in the spray drying of bananas, the absolute moisture content value at specific temperatures differs. Chen et al. (2010) measured the moisture content to be 6.22% at 160°C inlet temperature, while Wong et al. (2018) obtained a value of 1.18%. This difference could be due to various reasons, such as the differences in processing conditions, the cultivar and the maturity of the bananas used, which affects the initial moisture content. Kulkarni et al. (2011) found that the banana pulp moisture content increases with increased ripeness. The addition of MD as a carrier agent further reduced the moisture content of the spray dried banana powder [19]. This is attributed to the increase in feed solids and, thus, the reduction of moisture available for drying.

In the case of avocados, even though Karthik Nayaka et al. (2020) and Marulanda et al. (2018) utilized an inlet temperature of 160°C, there is a slight difference in the final moisture content of the avocado powder, as seen in Table 5. This could be due to the difference in MD concentration Karthik Nayaka et al. (2020a) used where Karthik Nayaka et al. (2020) and Marulanda et al. (2018) maintained a MD concentration of 10% and 6.96%, respectively.

Jiang et al. (2010) found that microwave assisted freeze drying further reduced the moisture content compared to unassisted freeze-drying. This is expected as the microwave allows for a more even and deeper heating of the food, while conventional freeze drying only dries the outermost layer, making the drying process slow and gradual [29]. The effect of microwave assisted drying was also observed in Koç and Yüksel's (2020) study comparing convective and microwave assisted foam-mat drying of avocados. Results showed a lower moisture content in microwave-dried than convective dried foamed avocado powder. A further decrease in moisture content was achieved when microwave power was increased from 120W to 700W [11].

One advantage of achieving a lower moisture content is increased in rehydration capacity, which is a desirable property of fruit powders [13]. However, a lower moisture content also makes the powder more hygroscopic, thus enhancing its ability to absorb water from an environment of greater humidity [30].

3.3 Effect of drying on water activity

As seen in Tables 4 and 6, drying reduced the a_w of fresh avocados and bananas. Foods with high a_w values are more susceptible to microorganism attacks as they provides water source for the microbes to feed on and grow [31]. Hawkins (1999), Feguš et al. (2015), Saranya and Sudheer (2018), and Wong (2017) evaluated the impact of spray drying on the a_w of the banana powder produced. These studies found that the a_w of the powder achieved from drying is less than 0.6, making it safe from the growth of microorganisms [31].

Martins et al. (2019) found that the ideal a_w for food powders is 0.198 and the literature a_w values of other food powders such as coffee, malted milk and chocolate powders ranged from 0.10 to 0.30 [33]. Feguš et al. (2015) evaluated the effects of freeze drying on the a_w of banana powder, while Hawkins (1999) evaluated the effect of convective drying on a_w . The a_w values were measured to be 0.12 and 0.21, respectively, as seen in Table 6. This shows that the freeze and convective drying banana successfully produces powder of acceptable a_w . Spray dried banana powder generally exhibited a_w values of less than 0.3 [14, 16, 18, 19]. An inverse relation between inlet temperature and a_w was observed where the a_w decreased with increasing inlet temperatures. However, a_w the spray dried banana powder at lower inlet temperatures was greater than 0.3 [18, 19]. Increasing the inlet temperatures leads to higher heat transfer rates and a greater driving force for evaporation, reducing the moisture content [18]. This, along with a high sugar concentration, reduces the amount of water available for microbial growth and thus the a_w decreases.

Hence, an association of moisture content and sugar concentration was suggested with a_w of the powder [18].

Mujaffar and Dipnarine (2020), Karthik Nayaka et al. (2020), Marulanda et al. (2018), Dantas et al. (2018) evaluated the effect of oven, freeze and spray drying on the a_w of avocado powder, respectively. However, only spray dried avocado exhibited $a_w < 0.3$, while the oven and freeze-dried avocado powder exhibited a_w of 0.64 and 0.36 respectively. Although the oven and freeze dried powders are still safe for consumption, these drying methods are not ideal as too high of an a_w could affect other properties such as the texture and thus the quality of the fruit [34]. However, as the results were obtained just based on one experiment, it is not representative of the suitability of these methods. Further research and experimentation should be implemented to allow for the cross reference between studies.

3.4 Effect of drying on color

Color is one of the most significant quality criteria for dried food products. Thermal processing of heat sensitive foods like fruits can alter their color due to its high water and carbohydrate content as well as the degradation of carotenoids [35]. High temperature heat processes can greatly degrade the final quality. The presence of carotenoids in bananas and avocados gives their natural creamy yellow and pale green color, respectively.

L^* value represents the lightness, with $L^*=0$ yielding black and $L^*=1$ yielding white [36]. As seen in Table 7, spray dried banana powder generally has a higher L^* value than freeze dried bananas. Studies conducted by Chen et al. (2010), Saranya and Sudheer (2017), Wong et al. (2018) evaluating spray dried bananas obtained L^* values ranging from 80-100. The high L^* value of more than 80.0 indicates that all powders produced had a light shade, possibly contributed by the presence of the MD powder which is white [19]. On the other hand, studies conducted by Jiang et al. (2010), Feguš et al. (2015) evaluating the effects of freeze drying on L^* obtained values ranging from 55-75. Naknaen et al. (2016) also found that vacuum and convective drying produce banana powder with even lower L^* values. Results showed that spray drying produced the lightest banana powder, followed by freeze drying, vacuum drying and convective drying. This could be due to the long drying periods required in convective drying to achieve the same results, thus causing greater thermal degradation to the product [17]. On the other hand, the spray drying of powders involves a one-step process of converting feed into powder, thus minimizing the production process [37, 38].

As seen in Table 7, the spray drying of bananas observed an inverse relationship between the inlet temperature and L^* value, where higher inlet temperatures produced lower L^* values [13]. This means that powders produced at higher temperatures are darker in color. This could be attributed to the highly concentrated powders obtained at high temperatures due to lower moisture content [39]. Another reason would be the caramelization sugars present which produce brown pigments [13].

Based on Jiang et al. 2010, and Jiang et al. (2013) microwave-assisted freeze drying produced darker colored banana powder than the freeze-dried sample (Table 7). This is attributed to the caramelization caused by the additional microwave power and the high microwave loss factors of starch present in bananas [41]. As the starch content reduces with ripening, microwave freeze drying of the bananas at a greater ripeness level could reduce the caramelization caused by the microwave powder.

In the case of avocados, spray and freeze-dried avocados did not observe any significant difference in L^* value. However, Karthik Nayaka et al. (2020b) observed an increase in L^* value with increasing spray drying inlet temperature, suggesting a depletion of the original dark green color to a lighter green color (Table 5). Oven dried avocado powder achieved a L^* value of 30.97 as seen in Table 5 [12], which is lower than that of spray and freeze-dried avocado powders with a L^* value $L^* > 66.00$. As with banana powder,

this is attributed to the extended drying process due to relatively low temperatures in oven drying, thus causing greater thermal degradation.

Pre-treatment processes such as foaming involve the whipping of the liquid feed into foam and then the stabilization by the addition of a foaming agent. This increases the surface area and reduces the drying times [24]. Foaming is thus ideal for heat sensitive, viscous and sticky products like fruits. The foaming of the banana prior to drying achieved a higher L^* value [17], attributed to the shorter drying times and thus minimized thermal degradation. An enhanced moisture removal rate is achieved since the water present in the formed banana pulp has a thin-film structure, aiding the vaporization process [24]. Furthermore, the high surface areas of the films quickened the drying process and thus minimizing the Maillard reactions and degradation of the carotenoids present. Naknaen et al. (2016) also found that foaming achieved lower a^* and higher b^* as seen in Table 7.

a^* value represents the position of the color on the red-green axis, with negative a^* indicating greenness and positive a^* indicating redness [36]. As seen in Table 7, the majority of studies recorded a positive a^* value for the spray dried bananas compared to the other drying methods [15,16,18,19]. A positive a^* indicates a slight reddish color, possibly due to Maillard reactions and thus the production of brown pigments. Chen et al. (2010) and Wong et al. (2018) observed that a^* value of banana powder decreased with increasing inlet temperature from 140°C to 170°C. This is attributed to the faster drying rates associated with higher inlet temperatures and thus shorter exposure to heat, minimizing the formation of brown pigments because of thermal degradation. However, an increase in a^* was observed when the inlet temperature is increased beyond 180°C. The caramelization process of sugars such as sucrose that begins at 160°C, accounted for higher a^* values when inlet temperature increased beyond 180°C [42].

Feguš et al. (2015), compared the spray to freeze drying of banana powder and found that the freeze-dried banana powder exhibited a higher a^* value (Table 7). This suggests a greater intensity of redness in freeze dried powders. Since freeze drying and microwave-assisted freeze drying is carried out in a low oxygen and temperature environment, the browning of the powder is due to non-enzymatic browning such as Maillard reaction, caramelization and chemical oxidation of phenolic compounds [20]. The addition of MD into the spray dried powder also had protective effects against color deterioration, thus preserving the yellowness of the banana powder [19].

In the case of avocados, Karthik Nayaka et al. (2020b) found that the a^* values of the spray dried avocados were slightly positive. The a^* value increased with increasing inlet temperature, suggesting the presence of Maillard reaction occurring and thus the degree of greenness is retained at lower inlet temperatures. However, this contradicts the results obtained by Marulanda et al. (2018) and Dantas et al. (2018). where the a^* value is negative and thus indicates a greenness in color. This could be due to the low inlet temperature of 80°C or the presence of milk in Dantas's study.

Freeze dried avocados had a negative a^* [12], indicating retention of the green color of avocados. This is ideal regarding the physical attractiveness of the powders perceived by the consumers. Compared to spray drying, which utilizes high temperatures, freeze drying does not involve the use of b^* value represents the position of the color on the yellow-blue axis, with negative b^* indicating blueness and positive b^* indicating yellowness [36]. As seen in Table 7, all b^* values of the banana powders obtained by different drying methods were positive, which indicates a yellowish color. There is also no significant difference in b^* values between the drying methods. In the spray drying of bananas, the b^* value generally decreased with increasing inlet temperatures [15,19]. This means powder loses its original yellowish color when dried at higher temperatures.

Freeze drying produced powders with positive b^* values. Jiang et al. (2010) and Jiang et al. (2013) compared freeze drying to microwave freeze drying on banana chips and cubes, respectively. Both studies

observed a decrease in b^* values as seen in Table 5. It can be deduced that the addition of microwave heating caused the banana powder to lose its yellow color. Although the final product from the studies was not in powdered form, it is likely expected that (microwave) freeze dried banana powder would exhibit the same properties.

When comparing freeze, spray and oven dried avocado powders, the freeze-dried powder exhibited the greatest b^* value (Table 5), suggesting an intense yellow color obtained. The low b^* values of oven and spray dried powders could be due to the high drying temperatures. Karthik Nayaka et al. (2020a, b) evaluated the effect of inlet temperature and MD concentration on the b^* value of spray dried avocado powder, respectively. As seen in Table 6, the b^* increases with increasing inlet temperature. This indicates an increase in yellowness caused by the bleaching effects on the greenness in the powders [13]. Additionally, an inverse relationship was observed between MD concentration and b^* value, suggesting that the addition of high levels of MD was responsible for the discoloration of its natural color [28].

4. CONCLUSION

Drying avocados and bananas has great potential in improving the quality of fruits produced in Alanya to minimize losses and maximize returns for the local farmers. It has been proven that the various drying techniques such as convective, vacuum, spray and freeze drying of fresh fruits into dried powdered form achieved acceptable moisture content and water activity levels. This significant reduction in moisture content to $<10\%$ and a_w to approximately 0.2 ensures food safety and extended shelf life. However, these drying techniques have some downsides, especially when high temperatures are involved. Problems such as Maillard reactions, the caramelization of sugars and stickiness of powders could be detrimental to the acceptability of the final product. They could pose difficulty in processing these fruits.

When comparing the different drying techniques, it is evident that modern drying techniques, such as freeze and spray drying can produce higher quality powders due to their high drying efficiency. Traditional drying methods such as convective drying can lead to greater thermal degradation due to the extended drying process because of low heat transfer and drying rates. Extended exposure to heat can cause greater color changes to the product.

Therefore, as the great potential of drying fresh avocados and bananas into value added products with extended shelf life and low perishability is being explored, it is important to consider other physicochemical properties and the physical appearance (color) of the final product. The final appearance of the powder is important as it is a great contributing factor influencing one's decision when purchasing a product. Other properties to be considered include the bulk density, wettability and hygroscopicity etc. of the final powder. Hence, further collation of reviews and studies on these properties should be conducted to achieve a greater overview of the quality of the powders obtained from these drying techniques.

Acknowledgement

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors and includes a dissertation work by Lee Kelly.






REFERENCES

- [1] Giray H. Turkish agriculture at a glance. *J Food, Agric Environ*; 10: 292–295, 2012.
- [2] Aytop Y., Çukadar M and Şahin A. Agricultural sector profile of Turkey in the World. *Turkish J Agric Nat Sci*; 1: 688–694, 2014.
- [3] TÜİK. Tarım Alanları, <https://data.tuik.gov.tr/tr/main-category-sub-categories-sub-components2/#>. 2020.
- [4] Yahaya S.M., Mardiyya A.Y. Review of post-harvest losses of fruits and vegetables. *Biomed J Sci Tech Res*; 13: 10192–10200, 2019.
- [5] FAO. Food and Agricultural Organization. Statistical-Database. 2021.
- [6] Mustapha Y., Yahaya S.M. Isolation and Identification of Post-harvest fungi of Tomato (*L. esculentum*) and Pepper (*Capsicum annum*) sample from selected Irrigated sites in Kano. *Biol Environ Sci J Trop*; 3: 139–141, 2006.
- [7] T.C Tarım ve Orman Bakanlığı. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı Avokado Raporu, https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF_Tarim_Urunleri_Piyasaları/2021-Haziran_Tarim_Urunleri_Raporu/Avokado_Haziran-2021_Tarim_Urunleri_Piyasa_Raporu_TEPGE.pdf. 2021. (accessed 27 May 2022).
- [8] Karam M.C., Petit J., Zimmer D., Djantou E.B. and Scher, J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *J Food Eng*; 188: 32–49, 2016.
- [9] Dantas D., Pasquali M.A., Cavalcanti-Mata M., Duarte M.E., and Lisboa H.M. Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. *Food Chem*; 266: 284–291, 2018.
- [10] Marulanda A., Ruiz-Ruiz M. and Cortes-Rodríguez M. Influence of spray drying process on the quality of avocado powder: a functional food with great industrial potential. *Vitae*; 25: 37–48, 2018.
- [11] Koç G.Ç., Yüksel A.N. The Foam-Mat Convective And Microwave Dried Avocado Powder: Physical, Functional, And Powder Properties. *Lat Am Appl Res Int J*; 50: 291–297, 2020.
- [12] Mujaffar S., Dipnarine T.A. The production of dried avocado (*Persea Americana*) powder. International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology (IConETech), November 2020.
- [13] Karthik Nayaka V.S, Azeez S., Suresha G.J, Tiwari R.B., Prasanth J., Karunakaran G. and Suresha K.B. Influence of Intel Drying Temperature on the Physical Attributes of Spray Dried Avocado (*Persea americana* Mill) Powder. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*. 9(12): 1761-1770, 2020.
- [14] Hawkins L.A. Chemical, physical, and sensory characteristics of spray dried banana powder. San Jose State University, 1999.
- [15] Chen Q., Huang H., Wang J., Hu K. and Zeng L. Optimization of spray drying technology in processing banana powder. *Trans Chinese Soc Agric Eng*; 26: 331–337, 2010.
- [16] Feguš U., Žigon U., Petermann M. and Knez Z. Effect of drying parameters on physiochemical and sensory properties of fruit powders processed by PGSS-, Vacuum-and Spray-drying. *Acta Chim Slov*; 62: 479–487, 2015.
- [17] Naknaen P., Charoenthaikij P. and Kerdsup P. Physicochemical properties and nutritional compositions of

- foamed banana powders (Pisang Awak, *Musa sapientum* L.) dehydrated by various drying methods. *Walailak J Sci Technol*; 13: 177–191, 2016.
- [18] Saranya S., Sudheer K.P. Development of fortified banana pseudostem juice powder utilizing spray drying technology. *J Trop Agric*; 55: 145–151, 2018.
- [19] Wong C.W., Teoh C.Y. and Putri C.E. Effect of enzymatic processing, inlet temperature, and maltodextrin concentration on the rheological and physicochemical properties of spray-dried banana (*Musa acuminata*) powder. *J Food Process Preservation*; 42: e13451, 2018.
- [20] Jiang H., Zhang M., Mujumdar A.S. Physico-chemical changes during different stages of MFD/FD banana chips. *J Food Eng*; 101: 140–145, 2010.
- [21] Cai Y-Z., Corke H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. *J Food Sci*; 65: 1248–1252, 2000.
- [22] Fazaeli M., Emam-Djomeh Z., Ashtari AK. and Omid M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food Bioprod Process*; 90: 667–675, 2012.
- [23] Fang Z., Bhesh B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Res Int*; 48: 478–483, 2012.
- [24] Hardy Z, Jideani V.A. Foam-mat drying technology: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*; 57: 2560–2572, 2017.
- [25] Zambrano M.V., Dutta B., Mercer D.G., MacLean H.L. and Touchie M.F. Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. *Trends Food Sci Technol*; 88: 484–496, 2019.
- [26] Jayasundera M., Adhikari B., Aldred P. and Ghandi A. Surface modification of spray dried food and emulsion powders with surface-active proteins: a review. *J Food Eng*; 93: 266–277, 2009.
- [27] Kulkarni S.G., Kudachikar V. and Keshava Prakash M. Studies on physico-chemical changes during artificial ripening of banana (*Musa* sp) variety 'Robusta'. *J Food Sci Technol*; 48: 730–734, 2011.
- [28] Karthik Nayaka V., Azeez S., Suresha G.J, Tiwari R.B., Prasanth J., Karunakaran G. and Suresha K.B. Influence of maltodextrin on the physical attributes of microencapsulated avocado (*Persea americana* Mill.) powder obtained through co-current spray drier. *Int J Chem Stud*;8(6):2449-2452, 2020.
- [29] Chandrasekaran S., Ramanathan S. and Basak T. Microwave food processing—A review. *Food Res Int*; 52: 243–261, 2013.
- [30] Juarez-Enriquez E., Olivas G.I., Zamudio-Flores P.B., Ortega-Rivas E., Perez-Vega S. and Sepulveda D.R. Effect of water content on the flowability of hygroscopic powders. *J Food Eng*; 205: 12–17, 2017.
- [31] FDA. Food and Drug Administration Water activity (aw) in foods. 2014.
- [32] Martins E., Cnossen D.C., Silva C.R.J., Cezarinpo Junior J.C., Nero L.A., Perrone I.T. and Carvalho A.F. Determination of ideal water activity and powder temperature after spray drying to reduce *Lactococcus lactis* cell viability loss. *J Dairy Sci*; 102: 6013–6022, 2019.

- [33] Barbosa-Cánovas G.V., Fontana Jr A.J., Schmidt S.J., et al. Water activity in foods: fundamentals and applications. John Wiley & Sons, 2020.
- [34] Rockland L.B., Stewart G.F. Water activity: influences on food quality: a treatise on the influence of bound and free water on the quality and stability of foods and other natural products. Academic Press, 2013.
- [35] Kardile N.B., Nanda V. and Thakre S. Thermal Degradation Kinetics of Total Carotenoid and Colour of Mixed Juice. *Agric Res*; 1–10, 2019.
- [36] Rathore V.S., Kumar M.S. and Verma A. Colour based image segmentation using $L^* a^* b^*$ colour space based on genetic algorithm. *Int J Emerg Technol Adv Eng*; 2: 156–162, 2012.
- [37] Chegini G.R., Ghobadian B. Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World J Agric Sci*; 3: 230–236, 2007.
- [38] Murugesan R., Orsat V. Spray drying for the production of nutraceutical ingredients—a review. *Food Bioprocess Technol*; 5: 3–14, 2012.
- [39] Tonon R.V., Brabet C., Pallet D., Brat P. and Hubinger M. Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced with different carrier agents. *Int J food Sci Technol*; 44: 1950–1958, 2009.
- [40] Jiang H., Zhang M., Liu Y., Mujumdar A.S. and Liu H. The energy consumption and color analysis of freeze/microwave freeze banana chips. *Food Bioprod Process*; 91: 464–472, 2013.
- [41] Ala'a H., Hararah M.A., Megahey E.K., McMin W.A.M. and Magee T.R.A. Dielectric properties of microwave-baked cake and its constituents over a frequency range of 0.915–2.450 GHz. *J Food Eng*; 98: 84–92, 2010.
- [42] Tondi G, Wieland S, Wimmer T, Schanabel T. and Petutschnigg A. Starch-sugar synergy in wood adhesion science: basic studies and particleboard production. *Eur J Wood Wood Prod*; 70: 271–278. 2012.

Denim Endüstrisinde Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi

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

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

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

*nazkadinkiz@gmail.com

Özet

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

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

Current Status Analysis on Sustainable Studies in the Denim Industry

Abstract

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

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

1. GİRİŞ

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



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

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

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



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

2. DENİM ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAM MADDE ÇEŞİTLERİ

2.1 Kullanılan Geleneksel Lifler

2.1.1 Pamuk ve organik pamuk

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

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

2.2 Güncel Sürdürülebilir Alternatif Ham Malzemeler

2.2.1 Kenevir ve keten

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



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

2.2.2 Isırgan otu lifi

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

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



Şekil 4. Velcorex ısırğan içerikli denim [28]

2.2.3 Jüt lifi

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

2.2.4 Tencel lifi

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

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

2.2.5 Hanji kâğıt iplikleri

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

2.2.6 Nane lifi

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

2.2.7 Geri dönüştürülmüş tekstil elyafları

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

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

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

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

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

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

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

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



Şekil 5. Geri dönüşüm temeli elyafların logoları

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

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

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

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



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

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

4. KORUYUCU TEKNİK TEKSTİLLERDE KULLANILAN DENİMLER (PERFORMANS DENİMLERİ)

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

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

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



Şekil 7. Teknik motorcu denim pantolonu

5. BOYAMA SÜRECİNDEKİ YENİLİKLER

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



Şekil 8. Jeanologia G2 dynamic teknolojisi [66]

5.1 Doğal Boyaların Denimde Kullanımı

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



Şekil 9. Tonello Wake serisi [68]

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



Şekil 10. Artistik Milliners Purecolor serisi [69]

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

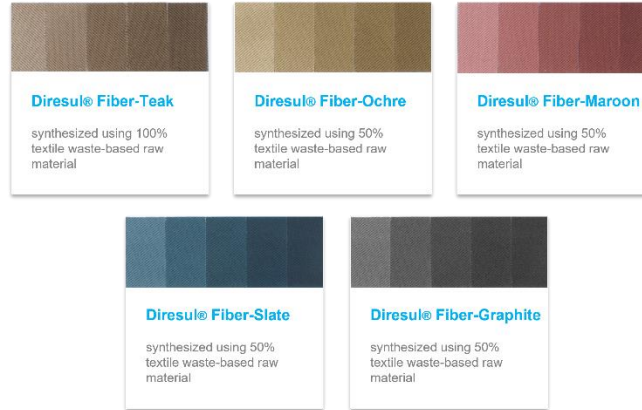
Terra Denim üretiminde kil boyama tekniği kullanıldığı için oksidasyon işlemine ve sentetik kimyasal kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu özellikler sayesinde Terra serisi, verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından öne çıkmaktadır [70].



Şekil 11. Maritaş Denim Terra serisi [70]

5.2 Tekstil Atıklarından Boyama Prosesi

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



Şekil 12. Archroma Fiber-Colors renk paleti

6. BİTİM İŞLEMLERİ

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

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

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

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

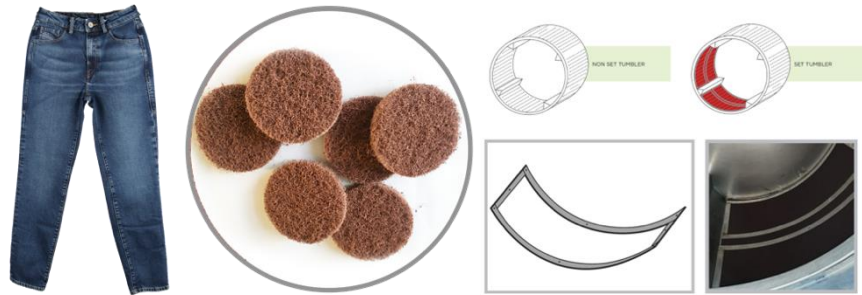
Pazar baskısı ve denim endüstrisinin kot üretimini daha sürdürülebilir hale getirme hedefiyle çamaşırhaneler, ponza taşlarının yerine ekolojik taşları kullanmaya başlamıştır. Ekolojik taşlar, pürüzlü bir yüzeye sahip plastik veya yapay taşlardan yapılmıştır. Bu taşlar, daha az kum üreterek daha fazla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

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



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

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



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

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

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

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



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

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

7. SU AYAK İZİ

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

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

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



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

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

8. KARBON AYAKIZI

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

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

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

9. ENDÜSTRİ 4.0 VE DENİM ENDÜSTRİSİ

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

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

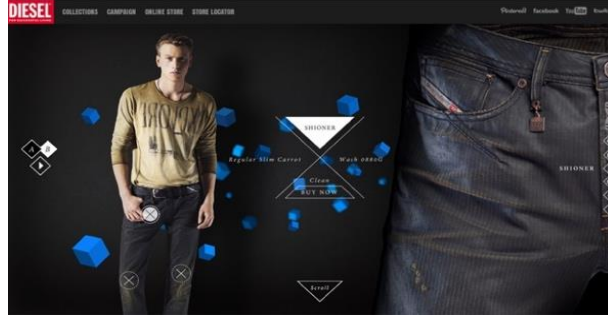


Şekil 17. Saitex'in Amerika'da bulunan fabrikası [90]

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

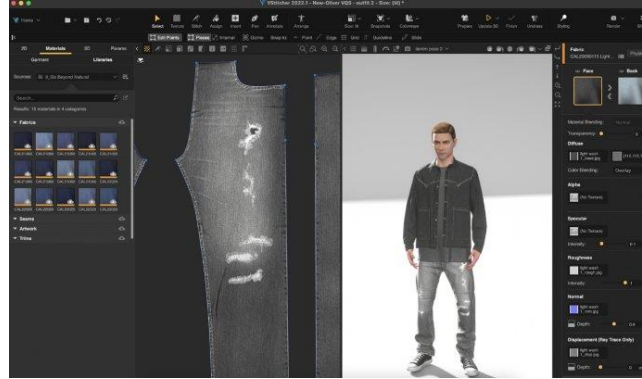
Metaverse kavramının hayatlarımıza girişi, teknolojinin yardımıyla farklı bir evrene kapı açma olanağını sunmaktadır. Bu durum, sektörün daha sürdürülebilir ve dijital bir yapıya kavuşmasına yönelik teknolojilerin uygulanmasını ve firmaların metaverse evrenine geçiş yapmalarını teşvik etmektedir. Bu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

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



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

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



Şekil 19. VStitcher 3D tasarım platformu

11. DENİM GERİ KAZANIMI

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

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

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

11.1 Düğmeler, Fermuarlar, Jakronlar

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



Şekil 20. Tommy Jeans lazer baskılı jakron [98]

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

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



Şekil 21. YKK Natulon gizli fermuar [99]

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



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

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

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

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

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

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

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



Şekil 23. Blue Jean Go Green kampanyası [101]

12.SONUÇ VE TARTIŞMA

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

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

13. TEŞEKKÜR

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

14. ÇIKAR ÇATIŞMASI

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

REFERANSLAR

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

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

- [42] Y. News. [Online]. Available: <https://news.yahoo.com/scientific-way-old-clothes-becoming-120206434.html?guccounter=1>.
- [43] EVRNU. [Online]. Available: <https://www.evrnu.com/>.
- [44] I. İ. Textiles. [Online]. Available: <https://www.innovationintextiles.com/birlas-liva-reviva-project-applauded>.
- [45] [Online]. Available: <https://www.birlacellulose.com/liva-reviva.php>.
- [46] Texloop, [Online]. Available: <https://circularsystems.com/texloop#what-is-texloop>.
- [47] R. H. a. M. O. C Piroi, "Regarding the effect of finishing processes on some properties," 2018.
- [48] A. K. M. A. H. A. A. R. M. R. H. S. S. M. O. F. Md. Zayedul Hasan, "An Experimental Investigation of Different Washing Processes on Various Properties of Stretch Denim Fabric," 2021.
- [49] V. P. S. &. A. Mukhopadhyay, "Behaviour of Stretch Denim Fabric under Tensile Load," 2021.
- [50] T. I. T. S. R. K. U. M. a. M. A. J. Md. Reazuddin Repon, "Stretchable denim properties dependency on industrial washing techniques," 2021.
- [51] Lycra, "Why choose Lycra® dualFX® technology?," 02 September 2020. [Online]. Available: <https://www.lycra.com/en/business/news/why-choose-lycra-dualfx-technology>. [Accessed 22 02 2022].
- [52] "Kings of Indigo," [Online]. Available: <https://www.kingsofindigo.com/pages/bio-stretch>.
- [53] [Online]. Available: <https://emf.thirdlight.com/link/TheJeansRedesign2021CommsPack/@/preview/2>.
- [54] S. G. M. Ş. A. B. K. K. Onur Kurtulmuş, "Design and Development of Denim Fabrics with Improved Strength and Impact Abrasion Resistance for Motorcyclist Clothing," FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, p. 53–58, 2018.
- [55] [Online]. Available: https://c/dyneema/en_GB/applications/ropes-lines-slings-chains/mooring-and-tow-ropes/low-environmental-footprint.html.
- [56] [Online]. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kevlar#:~:text=Kevlar%2C%20%20%20A7ok%20hafif%20karbon%20k%C3%B6kenli,yanmayan%20koruyucu%20giysi%20yap%C4%B1m%C4%B1nda%20kullan%C4%B1maktad%C4%B1r>.
- [57] S. R. K.Sudhan, "Sustainability analysis of kevlar and banana fiber composite," International Research Journal in Global Engineering and Sciences. , pp. 70-84, 2016.
- [58] A. E. T. A. Ş. M. G. Hakan Macit, "Tekstil Sektöründe Geri Dönüşüm Olanakları ve Uşak İli'nde," Usak University Journal of Science and Natural Sciences, pp. 91-102, 2019.
- [59] M. N.Meksi, "Woodhead Publishing Series in Textiles," in DENİM, Woodhead Publishing Series in Textiles, 2015.
- [60] R. Chavan, "Indigo dye and reduction techniques," in Denim: manufacture, finishing and applications, Amsterdam, Woodhead Publishing, 2015, pp. 37-38.
- [61] "dogal-indigo," Natural Dyes Doğal Boya Hammaddeleri San. ve Dış Tic. Ltd.Şti., 2022. [Online]. Available: <http://www.naturaldyes.com.tr/dogal-indigo/>. [Accessed 17 2 2022].
- [62] J. Chakraborty, "Dyeing with indigo," in Fundamentals and practices in colouration of textiles, India, New Delhi., Woodhead Pub, 2014, pp. 110-111.
- [63] E. Parliament, "The impact of textile production and waste on the environment (infographic)," European Parliament, 03 03 2021. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographic>. [Accessed 10 01 2022].
- [64] "Kingpins Show," [Online]. Available: <https://kingpinsshow.com/is-natural-plant-based-indigo-dye-more-sustainable-than-synthetic-indigo/>.
- [65] Archroma, "Dyeing," 2021. [Online]. Available: <https://www.archroma.com/solutions/coloration-denim-casual-wear>. [Accessed 10 01 2022].
- [66] Jeanologia, "Jeanologia:G2Dynamic," [Online]. Available: <https://www.jeanologia.com/wp-content/uploads/2021/01/logo-g2dynamic.png>. [Accessed 22 02 2022].
- [67] R. Chavan, "Indigo dye and reduction techniques," in Denim: manufacture, finishing and applications , Woodhead Publications , 2015, pp. 37-67 .

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

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