

# Kahve Çekirdeği Üretimi ve İşlenmesinde Ortaya Çıkan Atıklarının Sürdürülebilirlik Kapsamında Değerlendirilmesi Önerisi

*Proposal for the Sustainable Assessment of Waste Generated in Coffee Bean Production and Processing*

Şehriban Gül BAĞIRSAKCI<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Antalya Belek Üniversitesi Sanat ve Tasarım Fakültesi Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Antalya, Türkiye

## Article info

**Keywords:** Coffee pulp, coffee silverskin, spent coffee grounds, sustainability.

**Anahtar Kelimeler:** Kahve pulpu, kahve çekirdeği zarı, kullanılmış kahve telvesi, sürdürülebilirlik.

**Received:** 16.10.2025

**Accepted:** 11.02.2026

**E-ISSN:** 2979-9511

**DOI:** 10.58625/jfng-3299

Bağırşakcı ŞG; Kahve Çekirdeği Üretimi ve İşlenmesinde Ortaya Çıkan Atıklarının Sürdürülebilirlik Kapsamında Değerlendirilmesi Önerisi.

Available online at <https://jfng.toros.edu.tr>

## Corresponding Author(s):

\* Şehriban Gül Bağırşakcı, [shribanguozcelik@gmail.com](mailto:shribanguozcelik@gmail.com)



## Özet

Kahve, kökeni bin yılı aşan ve günümüzde hem yüksek ticari değeri olan hem de yaygın tüketimiyle öne çıkan önemli bir tarımsal üründür. *Rubiaceae* familyasının *Coffea* cinsine ait olan kahvenin yaklaşık 80 türü bulunmakta, üretim büyük ölçüde *Coffea arabica* (Arabika) ve *Coffea canephora* (Robusta) türlerine yoğunlaşmaktadır. Kahve meyvesinin kavrulmuş çekirdeğe işlenmesi sürecinde kabuk, pulp, kahve zarı gibi önemli miktarda yan ürünler açığa çıkmaktadır. Bu yan ürünlerin kahve meyvesinin yarısından fazlasını oluşturduğu ve her yıl milyonlarca ton atık meydana getirdiği belirtilmektedir. Ayrıca kahve içeceğinin hazırlanmasının ardından geriye kalan katı kalıntılar da yine önemli miktarda atık oluşturmaktadır. Ortaya çıkan bu atıklar, çevresel açıdan ciddi sorunlara neden olmakta; sera gazı emisyonlarını artırmakta ve doğal kaynak israfına yol açmaktadır. Bu nedenle kahve yan ürünlerinin geri kazanımı ve yeniden değerlendirilmesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Araştırmalar, kahve yan ürünlerinin fonksiyonel gıda üretiminde diyet lifi ve antioksidan kaynağı olarak, enerji sektöründe biyoyakıt üretiminde, tarımda organik gübre olarak, inşaat sektöründe alternatif hammadde olarak ve kozmetikte nemlendirici katkı maddesi şeklinde birçok farklı şekilde değerlendirilebileceğini göstermektedir. Ayrıca kahve yan ürünlerinin döngüsel ekonomi ve biyorafineri yaklaşımları doğrultusunda ele alınmasının, atık miktarının azaltılması, kaynak verimliliğinin artırılması ve katma değeri yüksek ürünlerin geliştirilmesi açısından önemli fırsatlar yaratmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Kahve pulpu, kahve çekirdeği zarı, kullanılmış kahve telvesi, sürdürülebilirlik.

## Abstract

Coffee is an important agricultural product with origins spanning over a thousand years, and today it stands out both for its high commercial value and widespread consumption. Coffee, belonging to the genus *Coffea* within the *Rubiaceae* family, has approximately 80 species, but production is largely concentrated on *Coffea arabica* (Arabica) and *Coffea canephora* (Robusta). The process of processing coffee cherries into roasted beans generates a significant amount of by products such as husk, pulp, and coffee skin. These by products account for more than half

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

of the coffee fruit and generate millions of tons of waste each year. Furthermore, the solid residues left behind after preparing the coffee beverage also constitute a significant amount of waste. This waste causes serious environmental problems; it increases greenhouse gas emissions and leads to the waste of natural resources. Therefore, the recovery and recycling of coffee by products stands out as an important strategy for environmental sustainability.

Research shows that coffee byproducts can be utilized in many ways, including as a source of dietary fiber and antioxidants in functional food production, in biofuel production in the energy sector, as an organic fertilizer in agriculture, as an alternative raw material in the construction sector, and as a moisturizing additive in cosmetics. Furthermore, addressing coffee by products through circular economy and biorefinery approaches creates significant opportunities for reducing waste, increasing resource efficiency, and developing high value-added products.

**Keywords:** Coffee pulp, coffee silverskin, spent coffee grounds, sustainability.

## Extended Abstract

### Introduction

Coffee is a globally important agricultural commodity, and its production and processing generate various by products such as pulp, husk, silverskin, and spent coffee grounds. When inadequately managed, these residues may cause environmental problems; however, their rich chemical composition makes them promising resources for sustainable applications. The aim of this study is to review the existing literature on coffee production and processing wastes, evaluating their environmental, economic, and functional potential within the framework of sustainability, and to identify research gaps for future studies (1-3).

The coffee fruit consists of five concentric layers that play a crucial role in quality formation during processing. At the center are two elliptically shaped beans surrounded by a thin seed coat and a yellowish parchment layer (endocarp). Outside the parchment lies the pulp (mesocarp), which has a fibrous and sweet structure, followed by a semi-transparent mucilage layer characterized by high water-holding capacity. The outermost layer is the hard pericarp, which protects the fruit from external factors. During maturation, the coffee fruit changes color from green to dark red or

red-purple, and these structural features significantly influence fermentation dynamics, drying behavior, and aroma development (4).

### Coffee processing method

In international coffee trade, coffee cherries are processed using two main methods: dry and wet processing. The dry method, commonly applied in Robusta-producing regions, involves drying whole cherries under sunlight until the moisture content reaches approximately 10–11%, typically within 12–15 days. As the beans do not come into contact with water, the risk of mold formation is reduced and the natural color and aromatic properties of the beans are preserved. The wet method, which is generally associated with higher-quality Arabica coffees, consists of three stages: removal of the outer skin and pulp, elimination of mucilage through controlled fermentation, and separation of the parchment layer to obtain green coffee beans. After drying to about 10% moisture, the beans are roasted, during which the silverskin is removed, resulting in the final roasted coffee product (2, 4, 5).

### Material and Method

This study is a qualitative research aiming to evaluate the environmental, economic, and industrial dimensions of waste and by products generated in the coffee industry using a holistic approach. The data in this study was obtained using document analysis (6).

## Results

### Coffee by products generated during processing:

Coffee processing generates different by products depending on the applied method. In dry processing, husk, pulp, mucilage, and parchment are separated, while in wet processing, the by product containing husk and pulp is referred to as cascara (4, 7). More than 50% of the coffee fruit is removed as by products during processing, with coffee pulp being the most abundant, accounting for approximately 29% of the fruit on a dry weight basis (8, 9).

During roasting, coffee silverskin emerges as the main by product, representing about 4.2% of the bean weight, whereas spent coffee grounds are generated after beverage preparation. These residues are generally discarded, despite their large volumes and associated environmental concerns, highlighting the need for sustainable management strategies (8, 10, 11).

### Chemical composition of coffee by products:

Coffee pulp is particularly rich in carbohydrates, proteins, minerals, and bioactive compounds such as polyphenols, tannins, caffeine, and chlorogenic acids. Studies have reported the presence of diverse phenolic compounds, including flavan-3-ols, hydroxycinnamic acids, catechins, and anthocyanins, highlighting the antioxidant potential of coffee pulp and husk. Similarly, coffee mucilage and parchment, though less studied, are rich in polysaccharides, dietary fiber, cellulose, hemicellulose, and lignin, making them promising raw materials for agricultural, food, and industrial applications (1, 8, 10, 11). Roasting induces complex chemical reactions, particularly Maillard reactions, leading to the formation of aroma compounds and melanoidins with high antioxidant activity. Coffee silverskin has gained attention as a functional food ingredient due to its fiber and polyphenol content, while spent coffee grounds are generated in large quantities worldwide and contain significant amounts of dietary fiber, amino acids, lipids, and phenolic compounds (10, 12, 13).

### Environmental burden and circular economy-based management:

When managed within linear economic systems, coffee by products create considerable environmental pressure. Circular economy and green economy approaches emphasize waste prevention, resource efficiency, and valorization. Reintegrating coffee by products into production systems reduces environmental impacts while creating economic and social value (14).

**Use of coffee waste for energy production:** Coffee by products have been widely explored as renewable energy resources. Coffee husk, silverskin, and SCG can be converted into biochar, solid fuels, biodiesel, bioethanol, and hydrochar through thermochemical

and biochemical processes. Industrial case studies demonstrate the feasibility of energy recovery from coffee waste (15-18).

**Agricultural applications:** Coffee husk, silverskin, and SCG have shown potential as organic fertilizers, compost materials, and soil conditioners. Their application improves soil quality, nutrient availability, and plant growth while reducing dependency on synthetic fertilizers (19-22).

### Other industrial and commercial applications:

Coffee by products have been utilized in diverse sectors including mushroom cultivation, animal feed, construction materials, biodegradable composites, cosmetics, and packaging (11, 23-28).

### Applications in the food and dietary supplement industry:

Due to their high dietary fiber and antioxidant content, coffee by products such as cascara, silverskin, and SCG have been incorporated into functional foods and beverages. These applications enhance nutritional value and maintain acceptable sensory properties, supporting their use as novel food ingredients (29, 30).

**Economic analysis and feasibility:** The valorization of coffee by products supports circular business models and offers economic opportunities beyond waste disposal. Examples from industry illustrate cost reduction, new revenue streams, and improved sustainability performance (31-33).

### Future perspectives, research and development opportunities:

Further research is required to optimize detoxification processes, assess long-term safety, and develop integrated biorefinery approaches. Advances in processing technologies may enhance the economic and environmental feasibility of coffee by product valorization (34-36).

### Coffee waste in food and environmental legislation:

Several coffee by products have been approved as Novel Foods in the European Union. In Türkiye, the Zero Waste Regulation promotes food waste prevention, reuse, and valorization, supporting sustainable management of coffee by products (37, 38).

### Sustainability certifications in the coffee sector:

Certification schemes such as Organic, Fairtrade, Rainforest Alliance, and 4C promote sustainable coffee production by addressing environmental, social, and economic dimensions. Corporate sustainability programs further reinforce responsible practices throughout the coffee value chain (39, 40).

**Discussion:** Coffee processing by products represent valuable resources with significant potential to support environmental and economic sustainability. Their utilization can enhance resource efficiency, reduce waste generation, and contribute to circular economy practices across multiple sectors, including

food, energy, agriculture, construction, and cosmetics. The valorization of these by products not only creates economic added value but also supports sustainable waste management and industrial innovation. To maximize this potential, standardized utilization protocols should be developed, particularly for applications in functional foods, bioenergy, fertilizers, and cosmetic products. Further research should prioritize the extraction and functional characterization of bioactive compounds from coffee silverskin and spent coffee grounds. In addition, integrated recovery and reuse systems should be implemented within coffee processing facilities, supported by strengthened regulatory frameworks and sustainability certification schemes. Finally, cross-sectoral collaboration among relevant industries is essential to promote large-scale adoption and ensure long-term sustainability of coffee by product valorization strategies.

## Giriş

Kahve, tarihsel kökeni bin yılı aşan bir üründür. Günümüzde ise hem yaygın tüketimi hem de ticari değeri yüksek bir ürün olması ile öne çıkmaktadır. Küresel ölçekte en çok tüketilen içeceklerden biridir ve dünya ticaretinde stratejik bir konuma sahiptir. Böylece kahve yalnızca bir besin maddesi değil aynı zamanda ekonomik bir unsur haline gelmiştir. Literatürde, kahvenin ilk olarak M.S. 7-8. yüzyılda, günümüzde Etiyopya olarak bilinen ve o dönemde Habeşistan adıyla anılan bölgede keşfedildiği belirtilmektedir. Botanik açıdan Rubiaceae (kökboyasıgiller) familyasının *Coffea* cinsine dâhil olan kahvenin, yaklaşık 80 türü bulunmasına rağmen ticari üretim büyük ölçüde iki tür üzerine yoğunlaşmıştır. Bu iki tür; küresel üretimin yaklaşık %75'ini karşılayan *Coffea arabica* (Arabika) ve %25'ini sağlayan *Coffea canephora* (Robusta)'dır (1, 2).

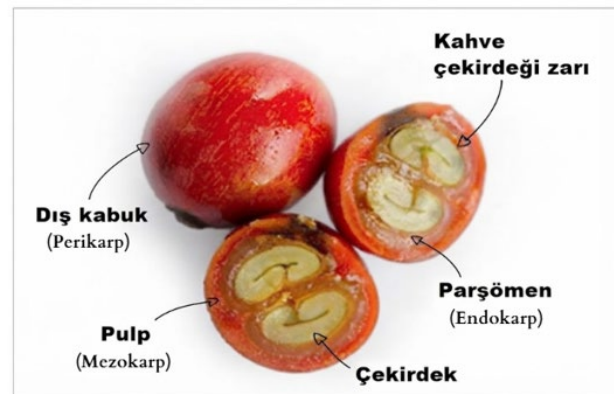
Kahve, üretiminden içeceğinin hazırlanmasına kadar olan süreçte birçok aşamadan geçmektedir. Öncelikle meyvesinden çekirdek elde edilmekte, daha sonra kavru olarak öğütülmektedir. Kahve içeceğinin hazırlanmasına kadar olan aşamalarda pulp (meyve eti), kabuk, müsilaj, çekirdek zarı (silverskin) ve kullanılmış kahve telvesi gibi çeşitli atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar çoğu zaman çevresel yük oluşturan unsurlar olarak değerlendirilmekte; uygun şekilde

yönetilmediğinde toprak, su ve hava kirliliğine neden olabilmektedir (2, 4, 5).

Bu çalışmanın amacı, kahve çekirdeği üretimi ve işlenmesi sürecinde ortaya çıkan yan ürünlere ilişkin mevcut bilimsel literatürü sistematik biçimde inceleyerek, söz konusu atıkların sürdürülebilirlik bağlamında çevresel, ekonomik ve fonksiyonel boyutlarıyla nasıl değerlendirildiğini ortaya koymaktır. Bu kapsamda, kahve atıklarının yönetimi ve değerlendirilmesine yönelik literatürdeki bilgi birikimi bütüncül bir bakış açısıyla ele alınacaktır. Böylece mevcut araştırma boşlukları belirlenecek ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara yönelik potansiyel araştırma olanaklarına yön verilecektir.

## Kahvenin Yapısı

Kahve meyvesi, yapısal olarak birbirini çevreleyen beş tabakadan meydana gelmektedir. Meyvenin merkezinde yer alan eliptik biçimli iki çekirdek, çekirdek zarı ile çevrilidir. Çekirdeğin üzerinde sarımsı renkteki parşömen tabaka (endokarp) bulunmakta, bunun dış kısmında ise lifli ve tatlı bir yapıya sahip pulp tabaka (mezokarp) yer almaktadır (Şekil 1.). Mezokarp tabakasını örten musilaj yapısı, yarı saydam ve yüksek su tutma kapasitesine sahip olmasıyla dikkat çeker. En dışta bulunan sert kabuk (perikarp) ise meyveyi dış etkenlere karşı korumaktadır. Meyve ham halde yeşil renkte iken, olgunlaşma sürecinde koyu kırmızıya ya da kırmızı-mor renge dönüşmektedir. Bu yapısal özellikler, kahve çekirdeğinin işlenme sürecinde hem kalite hem de aroma açısından belirleyici rol oynamaktadır (4).



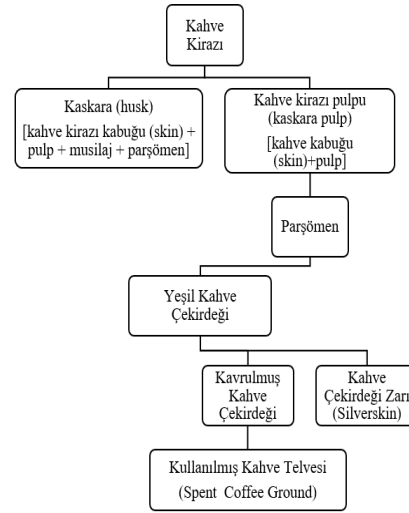
Şekil 1. Kahve meyvesinin kesiti (2).

## Kahve İşleme Yöntemi

Kahve meyvesinin işlenmesi ticari olarak iki temel yöntemle gerçekleştirilmektedir: kuru yöntem ve yaş yöntem.

Robusta kahvesinin üretiminin yoğun olduğu bölgelerde yaygın olarak kuru yöntem uygulanmaktadır. Kuru yöntemin, teknolojik olarak uygulanması daha kolaydır. Bu yöntemde kahve meyveleri hasat edildikten sonra doğrudan güneş altında kurutulmakta ve nem oranı %10–11 düzeyine düşüncü kurutma işlemi tamamlanmaktadır. Kurutma süresi genellikle 12–15 gündür ve meyvenin renginin kırmızı kiraza dönüşmesi, kurutma süresinin tamamlanmasının göstergesi olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, yapay kurutma için statik, döner, yatay veya dikey kurutucular kullanılabilir. Kuru yöntemde kahve çekirdeği suyla temas etmediğinden küf gelişme riski azalmakta ve ayrıca çekirdeğin renk, şekil ve aroma özellikleri korunarak kalite üzerinde olumlu bir etki sağlanmaktadır.

Yaş işleme yöntemi ise üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada meyvenin kabuğu ve pulp tabakası uzaklaştırılmakta, ikinci aşamada etli kısmından ayrılan çekirdekler su tankına yerleştirilerek fermente edilmekte ve kalan katmanların doğal bakteri ve mayalar yardımı ile parçalanarak temizlenmesi sağlanmaktadır. Bu aşamada çekirdekten musilaj ve çözümlü şekerler giderilmekte, üçüncü aşamada ise parşömen tabakası ayrılmaktadır. Böylece meyvenin preslenmesi aşamasında pulpun büyük kısmı uzaklaştırılmakta, kalan pulp ve musilaj kalıntıları ise kontrollü fermantasyon yoluyla parçalanmaktadır. Fermantasyondan sonra elde edilen parşömenli kahve çekirdekleri kurutma ızgaralarında %10 nem oranına ulaşıncaya kadar kurutulmaktadır. Ardından parşömen tabakası ayrılarak yeşil kahve çekirdeği elde edilmektedir. Yeşil çekirdeklerin kavrulmasından sonra çekirdek zarı (silver skin) uzaklaştırılmakta ve nihai ürün olan kavrulmuş kahve çekirdekleri ortaya çıkmaktadır (2; 4-5). Kahvenin işlenmesi akış şeması Şekil 2.'de verilmiştir.



Şekil 2. Kahve kirazının çekirdeğe işlenmesi (41).

## Gereç ve Yöntem

Bu çalışma, kahve endüstrisinde ortaya çıkan atık ve yan ürünlerin çevresel, ekonomik ve endüstriyel boyutlarını bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlayan nitel bir araştırma niteliğindedir. Nitel araştırma, gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi nitel veri toplama yöntemlerinin kullanıldığı; bireylerin algıları ile olguların, kendi doğal bağlamları içinde derinlemesine ele alındığı bir araştırma türüdür (6). Bu çalışmadaki veriler doküman analizi yöntemine dayalı olarak elde edilmiştir. Belgesel tarama olarak da bilinen doküman analizi yöntemi, araştırma amacına uygun olarak diğer kişi ya da kurumlar tarafından yazılmış, hazırlanmış ya da yaratılmış çeşitli yazılı, görsel veya dijital materyallerin sistematik biçimde incelenmesi ve bu materyallerden anlamlı verilerin elde edilmesine dayanan bir nitel araştırma yöntemidir (6). Çalışmaya dahil edilen dokümanlar, kahve endüstrisinde oluşan proses atıkları ve yan ürünlerin türleri, kimyasal bileşimi, çevresel etkileri, tarımsal ve endüstriyel değerlendirme potansiyeli, ekonomik uygulanabilirliği ve mevzuat boyutunu ele alan ulusal ve uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan bilimsel makaleler, tezler, kitap ve kitap bölümleri, ilgili kurum ve kuruluşların raporlarından oluşmaktadır. Literatürde sıkça atıf alan ve alana yön veren çalışmalar ile güncel kaynaklara öncelik verilmiştir.

## Bulgular

### Kahvenin İşlenmesi Esnasında Ortaya Çıkan Yan Ürünler

Şekil 2’de görüldüğü üzere kahve işleme sürecinde, kuru yöntemde ayrılan ilk yan ürünler arasında kahve kabuğu, pulp, musilaj ve parşömen yer almaktadır; yaş işleme sürecinde ise kabuk ve pulp içeren yan ürün “kaskara” olarak adlandırılmaktadır (4, 41). Bu ortaya çıkan yan ürünler, her yıl milyonlarca ton atık hâline gelmektedir. Kahve meyvesinin yaklaşık %50’sinden fazlasının işleme sırasında yan ürün olarak ayrıldığı bildirilmiştir (8). Bu ürünler arasında en yüksek miktarda atık, meyvenin kuru ağırlığının yaklaşık %29’unu meydana getiren kahve pulpu oluşturmaktadır. Kahve pulpu, özellikle yaş yöntemle işleme sırasında ortaya çıkarak, her 2 ton kahve üretiminden yaklaşık 1 ton yan ürün vermektedir (9). Kahve işlemenin diğer yan ürünleri olan parşömen ve musilaj literatür araştırmalarında daha az incelenmiştir. Ancak bu ürünler birçok biyoaktif bileşen içermektedir. Kahve parşömeni, çekirdeğin iki yarım küresini ayıran sert ve lifli bir endokarp olarak tanımlanmaktadır. Parşömen tabakası, yaş işleme yönteminde, kurutma ve kabuk ayırma aşamalarından sonra çekirdekten uzaklaştırılmaktadır. Kahve musilajı ise, yaş işleme yönteminde enzimatik ayırma uygulanmadan önce kahve çekirdeğine yapışık durumda bulunan ve yüksek su içeriğine sahip bir tabakadır. Bu ürünlerin ayrımından sonra elde edilen yeşil kahve çekirdekleri, üretici ülkelerden tüketici ülkelere ihraç edilmekte ve sonrasında kavurma işlemi uygulanmaktadır (21). Yeşil kahve çekirdeğinin kavurulması işleminde de kahve çekirdeği zarı (silverskin) ayrılmaktadır. Kavurma işlemi süresinde kahve çekirdeği zarı, başlıca yan ürün olarak ortaya çıkmakta ve toplam çekirdek ağırlığının yaklaşık %4,2’sini oluşturmaktadır. Her 120 ton kahvenin kavurulmasında, yaklaşık 1 ton kahve çekirdeği zarı ortaya çıkmaktadır. Atık olarak ortaya çıkan kahve çekirdeği zarı, hem gıda endüstrisinde hem de farklı sektörlerde kullanım potansiyeline sahiptir. Kavurma işlemi; kurutma, kavurma/piroliz ve soğutma

olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır. Kurutma aşamasında, çekirdekteki su ve uçucu bileşenler yavaşça ayrılır; bu sırada çekirdek rengi yeşilden sarıya dönüşmektedir. Piroliz aşamasında hem fiziksel hem de kimyasal değişimler meydana gelir ve maillard reaksiyonları sonucu polifenoller ve aroma bileşikleri oluşur. Son aşama olan kaynatma işleminde, kahve çözültüsü sıvıdan emülsiyon yapısına dönüşmektedir. Bu süreç sonucunda Türk kahvesi, espresso, filtre kahve ve cappuccino gibi farklı kahve türleri elde edilmektedir. Ayrıca, tüketim sonrası ortaya çıkan kahve telvesi de işleme sürecinin bir yan ürünü olarak değerlendirilir. Kavrulmuş kahve çekirdeğinin öğütülüp içecek olarak tüketimi sonrası da katı kalıntı kısmı yine doğrudan çöpe atılmaktadır (8, 10, 11). Kullanılmış kahve telvesi, kahve içeceğinin hazırlanmasının ardından geriye kalan katı kalıntıları ifade etmektedir ve çevresel açıdan önemli bir bertaraf sorunu oluşturmaktadır. Bu atıklar genellikle doğrudan çöpe atılmakta olup, aynı zamanda kavurulmuş ve öğütülmüş kahvenin sahteciliğinde kullanılabilmesi nedeniyle tespit edilmesi zor ek bir sorun teşkil etmektedir (42).

### Kahve Yan Ürünleri Bileşimi

Kahvenin işlenmesi esnasında ortaya çıkan yan ürünler ve kahve çekirdeği farklı sektörler açısından değerlendirilebilecek biyoaktif bileşenlere sahiptir. Kahve pulpu içerik bakımından oldukça zengin bir yapıya sahiptir; karbonhidrat, protein ve potasyum başta olmak üzere çeşitli minerallerin yanı sıra tanen, polifenol ve kafein gibi biyoaktif bileşenler de içermektedir. Kuru madde bazında pulpun kimyasal kompozisyonu incelendiğinde, %1.80–8.56 oranında tanen, %6.5 pektin, %12.4 indirgen şeker, %2.0 indirgen olmayan şeker, %1.3 kafein, %2.6 klorojenik asit ve %1.6 kafeik asit içermektedir (17). Ayrıca Arabika türü kahvelerin pulplarında flavan-3-oller, hidrokisisinnamik asitler, flavonoidler ve antosiyaninler olmak üzere dört temel polifenol grubuna rastlanmaktadır. Yüksek basınç sıvı kromatografisi (HPLC) analizleri, klorojenik asit (%42.2), epikateşin (%21.6), çeşitli dikafeoylkinik asit izomerleri, kateşin (%2.2),

rutin (%2.1), protokateşik asit (%1.6) ve ferulik asit (%1.0) gibi fenolik bileşiklerin varlığını göstermektedir. Daha güncel araştırmalar, bu bileşiklere ek olarak ferulokuinik asit türevleri ile antosiyanin grubundan siyanidin-3-rutinoside'in de kahve pulpunun bileşiminde yer aldığını göstermektedir (1). Castaldo vd. (43) tarafından yapılan çalışmada, kuru ve yarı kuru kahve kabuğu örneklerinin sırasıyla 367,45 ve 396,04 g/kg toplam diyet lifi içerdiği belirtilmiştir. Fu vd. (7) ise kahve kabuğunda bulunan siyanidin-3-glukozit ve siyanidin-3-rutinosid antosiyaninlerinin antioksidan, antienflamatuar ve kardiyoprotektif etkiler taşıdığını ve pro-apoptozis aktivitesine sahip olduğunu açıklamıştır.

Kahve musilajı, yaş işleme yönteminde enzimatik ayırım uygulanmadan önce kahve çekirdeğine yapışık durumda bulunan, yüksek su içeriğine sahip bir tabakadır. İçerik analizi, musilajın %84,2 su, %8,9 protein, %4,1 şeker, %0,91 pektin ve %0,7 kül içerdiğini göstermektedir.

Kahve parşömeni ise, çekirdeğin iki yarım küresini ayıran sert ve lifli bir endokarp olarak tanımlanmaktadır. Parşömen tabakası, yaş işleme yönteminde uygulanan kurutma ve kabuk ayırma aşamalarından sonra çekirdekten uzaklaştırılmaktadır. Parşömenin bileşiminde %40–49  $\alpha$ -selüloz, %25–32 hemiselüloz, %33–35 lignin ve %0,5–1 oranında kül bulunmaktadır. Kuru yöntemle işlenen kahvede ise parşömen tabakası, meyvenin dış kabuğu, pulp ve endokarp ile birlikte atık olarak ortaya çıkmaktadır. Kahve çekirdeğinin kuru ağırlığının yaklaşık %12'sini oluşturmaktadır. Bir ton kahve meyvesinden yaklaşık 0,18 ton parşömen elde edilmektedir. Bileşiminde %15 nem, %7 protein, %0,3 lipid, %72,3 karbonhidrat, %24,5 selüloz, %29,7 hemiselüloz, %23,7 lignin ve %6,2 kül yer almaktadır (8, 10, 11).

Yeşil kahve çekirdeğinde başlıca bileşenler, karbonhidrat, protein, lipid, mineraller, kül, kafein, klorojenik asit ve trigonellindir. Yeşil kahve, kavurma işlemiyle tüketilebilir forma dönüştürülmektedir. Kahvenin karakteristik

aroma ve lezzeti, kavurma ve kaynatma sırasında gerçekleşen çok sayıda kimyasal reaksiyonun sonucudur (1, 8, 11). Kavrulmuş kahve; karbonhidratlar, proteinler, yağlar ve mineraller gibi makro bileşenler ve klorojenik asit, trigonellin, kafein, tokoferoller ve diterpenler gibi biyoaktif bileşikler içerir. Ayrıca kavurma işlemi esansında meydana gelen maillard reaksiyonunun başlangıç aşamasında, kahve çekirdeklerinde doğal olarak bulunan indirgen şekerler (özellikle glikoz ve fruktoz) ile amino asitler arasında bir Schiff bazı ve ardından Amadori bileşikleri oluşur. Bu öncü bileşikler kavurma sıcaklığı arttıkça çeşitli bozunma reaksiyonlarına uğrayarak aroma ve renk maddelerine dönüşmektedir (44). Reaksiyonun ileri aşamalarında, pirazinler, piren türevleri, furfural ve hidroksimetilfurfural, tioller, aldehitler ve ketonlar gibi bileşikler oluşarak kavrulmuş kahvenin karakteristik tad ve aromasını oluşturmaktadırlar (45). Maillard reaksiyonu sonucu oluşan en önemli bileşiklerden biri de melanoidinlerdir. Bu yüksek molekül ağırlıklı polimerik bileşikler, kavrulmuş kahvenin koyu kahverengi rengini oluşturmaktadır. Kahvenin melanoidinleri ayrıca yüksek antioksidan kapasitesine sahiptir. Kahve çekirdeğinin kavurma işleminden sonra melanoidinler, fenolik bileşikler ve farklı lif bileşenlerinin oluşumu artmaktadır. Böylece, kahve yan ürünlerdeki biyoaktif bileşikler de oransal olarak yükselmektedir (46).

Yapılan çalışmalarda kahve çekirdeği zarı, lifler, şekerler ve polifenoller gibi değerli bileşikler içermektedir. Bu nedenle de çekirdek zarının yenilikçi ve işlevsel gıda bileşeni olarak kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır (10). Perdani ve Pranowo (13), farklı kahve çeşitlerinin (*C. arabica* ve *C. canephora*) fenolik profillere ve bileşimsel özelliklere sahip olduğunu ve gıda antioksidanları ve lif entegratörleri olarak başarıyla kullanıldığını bildirmiştir.

Yaklaşık bir ton yeşil kahve işlendiğinde ortalama 650 kg kullanılmış kahve telvesi (KKT) oluştuğu ve küresel ölçekte yıllık miktarının milyonlarca tonlar seviyesine ulaştığı

belirtilmektedir. Kullanılmış kahve telvesi, katma değerli ürünler için potansiyel bir hammadde olarak değerlendirilebilecek önemli birçok organik bileşik içermektedir. Bu yan ürünler, içeriğinde lif fraksiyonları, amino asitler, polifenoller, çeşitli yağ asitleri, lignin, selüloz, hemiselüloz ve diğer polisakkaritler gibi besleyici ve fonksiyonel bileşenler bulundukları için son yıllarda araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Özellikle diyet lifi açısından potansiyele sahip olduğu; toplam lif içeriğinin büyük bölümünü yaklaşık %54 oranındaki çözünmeyen lifin oluşturduğu ve buna ek olarak yaklaşık %6 düzeyinde dirençli nişasta içerdiği bildirilmektedir. (47). Biyoteknolojik ve endüstriyel uygulamalar için uygun bir kaynak teşkil etmektedir. Dolayısıyla kahve telvesi, atık olarak bertaraf edilmek yerine sürdürülebilir üretim, enerji ve değer yaratıcı uygulamalarda kullanılabilecek stratejik bir yan ürün olarak önem kazanmaktadır (12).

### **Kahve Atıklarının Ekosistem Üzerindeki Yükü ve Döngüsel Ekonomi Perspektifi**

Kahve endüstrisinde ortaya çıkan yan ürünler, çoğunlukla atık olarak değerlendirilmekte ve her yıl milyonlarca tonluk önemli bir çevresel yük oluşturmaktadır. Bu durum yalnızca çevresel açıdan değil; aynı zamanda gıda kayıpları ve atıklarına bağlı olarak gereksiz sera gazı emisyonlarının artması, su ve toprak kaynaklarının verimsiz kullanımı gibi çok boyutlu olumsuzluklara yol açmaktadır (48, 49). Kahve yan ürünlerinin sistem dışına itilmesi “al-üret-tüket-at” anlayışına dayalı doğrusal ekonomi modeliyle doğrudan ilişkilidir. Döngüsel ekonomi yaklaşımında ise; ürünlerin, malzemelerin ve kaynakların yaşam döngüsü boyunca mümkün olduğunca sistem içinde tutulmasını, atık oluşumunun en aza indirilmesini ve yan ürünlerin yeniden kullanım, geri dönüşüm veya geri kazanım yoluyla ekonomik değere dönüştürülmesini hedeflemektedir (50). Döngüsel ekonomi ilkeleriyle uyumlu biçimde, yeşil ekonomide “insan refahını ve sosyal eşitliği artırırken, çevresel riskleri ve ekolojik kısıtları önemli

ölçüde azaltan bir ekonomik sistem” olarak tanımlanmaktadır.

Kahve endüstrisi açısından değerlendirildiğinde, yeşil ekonomi ve döngüsel ekonomi ilkeleri, üretim süreçleri sonucunda ortaya çıkan yüksek hacimli organik yan ürünlerin yalnızca bertaraf edilmesi gereken atıklar olarak değil, katma değer yaratan bir ekonomik döngünün girdileri olarak değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (33, 51). Kahve kirazı posası, müsilaj, silverskin ve kullanılmış kahve telvesi gibi yan ürünler; uygun yönetim stratejileri ve teknolojik uygulamalar aracılığıyla çevresel etkileri azaltan ve aynı zamanda ekonomik değer üreten kaynaklara dönüştürülebilmektedir (34, 36).

Kahve yan ürünlerinin biyolojik ve fonksiyonel açıdan zengin bileşenler içermesi, bu materyallerin farklı endüstriyel uygulamalarda değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca bu yan ürünlerin farklı sektörlerde değerlendirilme potansiyeli, gıda güvenliğinin iyileştirilmesi, gelir artışı ve açlıkla mücadele gibi sosyal hedeflere katkı sunabilecek önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (48, 52).

### **Kahve Atıklarının Enerji Üretiminde Kullanımı**

Literatürde, kahve yan ürünlerinin farklı sektörlerde değerlendirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar mevcuttur. Fernández vd. (16) kahve kabuğundan elde edilen biyokömür ve küllerini, transesterifikasyon reaksiyonu yoluyla biyodizel sentezinde heterojen katalizörler olarak kullandığını açıklamışlardır. Elde edilen sonuçlar, kahve kabuklarının, kimyasal modifikasyona ihtiyaç duymadan ve verimli şekilde, heterojen katalizde ilgi duyulan malzemelerin üretimi için ucuz ve çevre dostu bir kaynak olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir. Carneiro vd. (53) I (>5,3 mm), II (>2,6 mm ve <5,3 mm) ve III (<1,77 mm) şeklinde farklı kimyasal bileşimlere ve granülometrilere sahip üç kahve kabuğu tipi seçmişlerdir. Bu çalışmada biyokütle, temel, yapısal ve yaklaşık bileşim açısından karakterize edilmiştir. III. menşeli peletler (%1,62), uluslararası ticaret için

azot içeriği gerekliliğini (%2'dn az) karşılamıştır. Kahve kabuğu, pelet üretimi için potansiyelini kanıtlamış ve bu atığın temiz enerji üretimi için değerlendirilmesini ve kullanılmasını, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunmasını ve döngüsel ekonomiyi güçlendirmesini vurgulamıştır.

Diğer bir yan ürün olan kahve çekirdeği zarı ise, biyokütle olarak yeniden değerlendirilebilecek bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Kahve çekirdeği zarı, özümüzdeki yıllarda yenilenebilir enerji üretimi, biyoyakıt, elektrot malzemesi gibi uygulamalarda kullanılabilir. Bu özelliği, kahve çekirdeği zarını sürdürülebilir ve çok yönlü bir endüstriyel hammadde adayı olarak değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır (2). Procentese vd. (17) kahve çekirdeği zarını lignoselülozik biyokütle olarak seçmiş ve fermante edilebilir şekerler üretmek için kullanmıştır. Hidrolize şekerler, ABE (aseton-bütanol-etanol) fermantasyonu ile başarıyla fermente edilerek bütanol üretilmiştir. Biyorafineri konsepti, tüm biyokütle bileşenlerinden yararlanmak için entegre bir proses yaklaşımı gerektirmektedir. Bu sebeple yüksek katma değerli moleküller ve fermente edilebilir şekerler aynı anda üretilirse, kendi kendine sürdürülebilirlik hedefine ulaşabilmektedir. Gopinandhan vd. (28) pirolitik sıcaklıklarda (400°C, 500°C ve 600°C) üretilen kahve çekirdeği zarından elde edilen biyokömürün toprak sağlığını iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Geleneksel olarak kazan yakıtı olarak değerlendirilen kahve telvesi, son yıllarda alternatif kullanım alanlarının geliştirilmesine yönelik çalışmalara konu olmuştur (54). Karmee vd. (18) kullanılmış kahve telvesinden biyopolimerler, karotenoidler, biyosorbentler, antioksidanlar ve biyokompozitler gibi katma değerli ürünler elde edilebileceği ifade etmiş ve kullanılmış kahve telvesinin biyodizel, yenilenebilir dizel, biyoetanol, biyo-yağ ve biyokömür üretimi için kullanımını laboratuvar ölçeğinde başarıyla gerçekleştirmiştir. Kullanılmış kahve telvesinin yerinde transesterifikasyonu pilot ölçekte (4 kg) gerçekleştirilmiş ve verim (% olarak kullanılmış

kahve telvesindeki yağa dayalı kütle) %80-83 olmuştur. Ayrıca kullanılmış kahve telvesinin yaklaşık %7-15 oranında yağ içerdiğini belirtmiş ve kahve yağının kimyasal ve biyokatalitik yöntemler kullanılarak biyodizele dönüştürüldüğünü göstermiştir. Kahve çekirdekleri ve kullanılmış kahve telvelerinin önemli miktarda karbonhidrat içerdiği bilinmektedir. Bu çalışmada ayrıca kahve telvesinden fermantasyonla biyoetanol üretimi gerçekleştirilmiştir. Fermantasyonda *Saccharomyces cerevisiae* kullanılmıştır. Piroliz kullanılarak, karbon içeren malzemeler biyo-yağ ve biyokömüre dönüştürülmüştür.

Ivashchuk vd. (55), kahve, arpa ve hindiba atıklarından oluşan kullanılmış kahve telvesinin katı yakıt briketleri üretiminde kullanılabilirliğini incelemiştir. Kurutulmuş atık karışımı hidrolik presleme yöntemiyle briket hâline getirilmiş ve bu yaklaşımın endüstriyel atık birikimini azaltma, atıkların ikincil kullanımını teşvik etme ve çevresel etkileri sınırlama potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Katı yakıt briketlerinin üretimi, kahve üretim atıklarının kapsamını genişletecek ve aynı zamanda kömür ve odun gibi geleneksel, yenilenmesi zor yakıt kaynaklarının yerini alacak ek bir fırsat yaratacaktır. Hu vd. (56) ise, hidrotermal karbonizasyonun kullanılmış kahve telvesinden katı yakıt üretiminde etkili bir yöntem olduğunu ve elde edilen hidrokömürün evsel ve endüstriyel uygulamalarda kullanım potansiyeli taşıdığını bildirmiştir. Ayrıca endüstriyel boyutta ifade edildiğinde, Nestlé 20'den fazla Nescafé fabrikasında kahve telvesini yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanmıştır (15).

### Tarım Yönetiminde Değerlendirme

Kahve kabuğunun tarımsal uygulamalarda kullanımını da literatürde yer almaktadır (57). Hema vd. (58), pirinç ve kahve kabuğu karışımının bakla bitkisi yetiştiriciliğinde kök uzunluğu, sürgün uzunluğu, yaprak sayısı, taze ve kuru ağırlık üzerinde olumlu etkiler sağladığını rapor etmiştir. Jiang vd. (20) ise kahve kabuğunun gübre olarak

uygulanmasının genç kahve ağaçlarının kök bölgesindeki toprak koşullarını iyileştirdiğini ve bitki büyümesini desteklediğini göstermiştir. Bu bulgular, kahve kabuğunun hem gıda hem de tarım alanında işlevsel ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek çok yönlü bir yan ürün olduğunu ortaya koymaktadır.

Kahve çekirdeği zarının kompost/gübre olarak kullanımına ilişkin çeşitli başarılı çalışmalar da yine literatürde mevcuttur. Picca vd. (22) kahve zarını budama atığı ve biyokömürle farklı oranlarda karıştırarak dört kompost karışımı hazırlamış ve 60 gün boyunca izlemiştir. Yapılan çalışma, Avrupa'da üretilen tüm kahve zarının kompostlanmasıyla 2420-3481 ton azot ve 1873 ton potasyumun geri kazanılacağını, mineral gübrelere olan bağımlılığın azaltılacağını ve böylece sürdürülebilir ve düşük maliyetli katkı maddelerine olan artan talebin karşılanacağını göstermiştir. Fatiqin vd. (8) karabiber fidelerin (*Piper nigrum L.*) büyümesinde farklı oranlarda P0 (kontrol), P1 (90 g), P2 (135 g), P3 (180 g) ve P4 (225 g) kahve kabuğu atığı gübreleme için kullanılmıştır. P1 uygulamasında (90 g), karabiber kesim fidelerinde (*Piper nigrum L.*) sürgün yüksekliğini ve yaprak sayısını önemli ölçüde artırdığını ifade etmiştir.

Diğer bir yan ürün olan kullanılmış kahve telveleri de yine gübreleme amacıyla kullanılmıştır (54). Cervera-Mata vd. (59) ticari gübre ve kullanılmış kahve telvesi ile gübreleme sonrası marul bileşimi farklarını incelemiştir. Sonuç olarak, kullanılmış kahve telvesi ilavesi daha yüksek element içeriğine sahip marullar üretmiştir. Yine Mesmar vd. (60) kimyasal gübre, solucan gübresi ve kullanılmış kahve telvesi ilaveli gübrelerin kırmızı turp (*Raphanus sativus*) büyümesi ve toprak kalitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlar, kullanılmış kahve telvesinin sürdürülebilir bir gübre alternatifi olarak potansiyelini, bitki büyümesini ve toprak kalitesini iyileştirmeye katkıda bulunarak sürdürülebilir tarım uygulamalarını ve döngüsel ekonomiyi desteklediğini göstermektedir.

## Diğer Endüstriyel ve Ticari Uygulamalar

Tarımsal gıda katı atıklarının kullanımı üzerine yapılan bazı çalışmalar, bu tür kalıntıların mantar büyümesi için substrat olarak kullanılmasına odaklanmıştır (5). Leifa vd. (23), yenilebilir *Flammulina* mantarlarının üretimi için substrat olarak kahve kabukları ve kullanılmış kahve telvesi kullanan karşılaştırmalı bir çalışma sunmuştur. İlk meyve verme aşılardan 25 gün sonra gerçekleşmiş ve biyolojik verimlilik, iki hasatla 40 gün sonra yaklaşık %56'ya ulaşmıştır. Yazarlar, hem kahve kabuklarının hem de kahve telvesinin, herhangi bir besin takviyesi olmaksızın, yenilebilir mantarların yetiştirilmesi için potansiyel substratlar olduğu sonucuna varmışlardır. 2015 yılında Ramirez Velez ve Jaramillo Lopez, insan veya hayvan tüketimine yönelik ürünlerde, ilaçlarda ve kozmetiklerde veya yakıt (etanol) için alkol üretiminin hammaddesi olarak kullanılmak üzere kahve kaskarasından bal veya un ekstraksiyonunun patentini almıştır (61). Bu yan ürün için önerilen bir diğer uygulama alanı hayvan yemi olarak kullanılmasıdır (25). Belan vd. (62), kapalı alanda yulaf samanı ile beslenen kuzuların beslenmesinde yulaf samanının yerine %0, %7,5, %15 ve %22,5 oranlarında kahve kabuğu kullanmanın, kuzuların günlük ortalama ağırlık artışını önemli ölçüde etkilemediğini ifade etmiştir ( $p > 0,05$ ). Ekonomik uygulanabilirlik açısından ise, %7,5'lik diyet en yüksek karlılığa sahip olan diyet olarak öne çıkmış ve üretilen her kg karkas için 3,25 ABD doları kar sağlanmıştır. Ayrıca 2024 yılında yapılan bir diğer çalışmada Marew vd. (26) doğal merada beslenen Bonga koçlarının beslenmesine haşlanmış kahve kabuğu takviye edildiğinde maksimum günlük vücut ağırlığı artışı elde etmiştir ( $p < 0,001$ ). İnşaat sektöründe ise Acchar vd. (63) granit kesme atığı ve kahve kabuğu külünü seramik çatı kiremiti formülasyonlarına dahil etmiştir. Kil bazlı ürünlerin üretiminde alternatif hammadde olarak granit atığı ve kahve kabuğu külünün kullanılması, feldispat tüketimindeki stresi azaltacak ve atık bertarafı endişelerini

hafifletecektir. Bir diğer çalışmada Maghfirah vd. (27) kum, pomza, kahve kabuğu ve polyester-poliüretan karışımı reçinelerin karışımı kullanılarak polimer beton üretmiştir. Bu karışım kullanılarak üretilen polimer betonun gözenekliliği, su emilimini, basınç dayanımını ve eğilme dayanımını artırdığını ve ayrıca yoğunluğu azalttığını göstermiştir.

Kozmetik alanında kahve çekirdeği zarının değerlendirilebileceğini belirten çalışmalar literatürde mevcuttur (1, 11). Rodrigues vd. (48) %2,5 (a/a) oranında kahve çekirdeği zarı ekstresi içeren bir el kremi formülasyonunun üretim süresinde ve 6 aylık raf ömrü sonrasında stabil fiziksel özellikler gösterdiğini belirtmiştir. Formülasyonunun antioksidant aktivitesi ve toplam fenolik bileşen içeriği, baz formülasyona kıyasla önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca üründe sitotoksik etki gözlenmemiştir. Bu alanda üretilen birçok ürüne patent alınabilmiştir. 2023 yılı itibariyle de Mello vd. (64) kahve ve yan ürünlerinin ekstraktlarını içeren toplam 52 adet ürüne patent başvurusunda bulunulduğunu ifade etmiştir. Bunlardan üçü kahve zarı içerikli olduğunu belirtmişlerdir.

Dordevic vd. (65) ise çalışmasında kahve telvesi yağını, yenilebilir/biyolojik parçalanabilir aktif gıda ambalajlamada kullanmıştır. Çalışma sonuçlarında kahve telvesi yağının etkili ve gelecek vaat eden bir potansiyeli bulunduğunu belirtmişlerdir.

Kullanılmış kahve telvesinin inşaat ve kozmetik gibi farklı sektörlerde de değerlendirilebileceğine dair çalışmalar mevcuttur (25). Örneğin, Moussa vd. (66) kullanılmış kahve telvesi alçı kompozitlerde kullanılmış ve ısı iletkenlikte önemli bir azalma olduğu açıklamışlardır. Araştırma sonuçları bu malzemenin binalarda verimli bir yalıtım malzemesi olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Bu çalışma ile ilk kez, geleneksel hidrolik bağlayıcıların (sıradan Portland çimentosu ve doğal hidrolik kireç) farklı karışımları kullanılarak numuneler üretilmiş ve karşılaştırılmıştır; agrega karışımı için kullanılmış kahve telvesi kısmen ikame

edilmiş kum (%15 ağırlıkça kadar, %2,5 artışla) kullanılmıştır. Sonuç olarak, güçlü bir ısı iletkenlik azalması (%72'ye kadar) gözlemlenmiş ve bu da harçları binalarda enerji tasarrufu amaçlı kullanımlar için oldukça uygun hale getirmiştir. Son olarak, üretim maliyetinde bir azalma (%8'e kadar) hesaplanmış ve bu da endüstriyel simbiyoz ışığında önemli bir mali tasarruf sağlamıştır. Bu sonuçlar, kullanılmış kahve telvesinin yeniden kullanılmasının yalnızca genel bina performansı ve yönetimine çok sayıda fayda sağlamakla kalmayıp aynı zamanda olağan kullanılmış kahve telvesi bertarafına geçerli bir alternatif olduğunu da göstermiştir.

Kullanılmış kahve telveleri diğer kahve yan ürünlerinde de olduğu gibi kozmetik sektörünün de ilgisini çekmiştir. Lourith vd. (67) araştırmalarında, özütlerin (%8-16) ve yağ asitlerinin (%78-94) karşılaştırmalı verimlerini açıklamışlardır. Araştırma sonucunda, palmitik ve linoleik asitler ana yağ asidi bileşenleri olarak belirlenmiş bunun yanısıra oleik ve stearik asitler saptanmıştır. Elde edilen yağ, %95,05 ± 3,05 makyaj temizleme pratiği belirlenmiş ve özellikleri nedeniyle kozmetikler için pratik olduğu kanıtlanmıştır. Stabil kullanılmış kahve yağı gidericiler geliştirilmiş ve bunların arasında %40 yağ içeren formülasyon, %35'lik formülasyona kıyasla önemli ölçüde daha iyi etkinlik göstermiştir (90,35 ± 1,30 ve %81,76 ± 1,06 p < 0,01). Bu ürün, 20 kadın gönüllüde güvenli ve memnun edici bulunmuştur. Bu bağlamda sürdürülebilir/doğal kaynaklı kozmetik içeriklere eğilimin nedeniyle, kahve telvesi ve kahve yağının kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde kullanılarak yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülecektir. Bu çalışma, kahve işleme atıklarının daha yüksek kârlı bir kozmetik ürüne dönüştürülmesini vurgulamaktadır. Senarath Mudalige Don vd. (68) ise soğuk demleme ile elde edilen kullanılmış kahve telvesinin etanol ve etil asetat özütlerinin, cilt bakım formülasyonları geliştirmiştir. Böylece, kullanılmış kahve telvesinin sürdürülebilir atık yönetimi için iyi antioksidan ve hafif fotokoruyucu faydalar

sunan sürdürülebilir bir kozmesötik bileşen kaynağı olarak potansiyelini vurgulamaktadır.

### Gıda ve Takviye Gıda Sektöründe Kullanım Potansiyeli

Kahve kabuğu, yüksek diyet lifi ve antioksidan içeriği nedeniyle düşük kalorili ve fonksiyonel gıda ürünlerinde kullanılabilir potansiyele sahiptir (19). Iriondo-DeHond vd. (24), kaskara özütünü yoğurt üretiminde kullanmıştır. Üretilen yoğurtlar hem duyuşal açıdan kabul görmüş ve hem de diyet lifi açısından zengin bir ürün elde etmiştir. Rios vd. (12), araştırmalarında kahve kaskarası diyet lifini glutensiz ekmeklerde kullanılmışlar ve araştırma sonucunda glutensiz ekmeklerde hem besin değerini hem de duyuşal kaliteyi iyileştirdiğini rapor etmişlerdir. Eckhardt vd. (69) tarafından yapılan çalışmada, buğday ununun %5-10'unun kaskara tozu ile değiştirilmesiyle geleneksel balady ekmeğine benzer yapıda ekmek elde edilebileceği gösterilmiştir. Kahve kabuğu ayrıca yüksek lif ve fenolik bileşik içerdiği için antioksidan kapasitesi artırılmış tuzlu kurabiyelerde de kullanılabilir (70).

Rizkaprilisa vd. (29) ise kahve zarını farklı oranlarda ekmeğe ilave etmiş ve ekmek hamuruna kahve kabuğu eklenmesinin dokuyu önemli ölçüde iyileştirdiği ifade etmiştir. Ayrıca bu ekmeğin, geleneksel ekmeğe göre (%8 protein) daha yüksek protein (%11,33, a/a) içerdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, diyet lifi ve antioksidanlar içeriği nedeniyle fonksiyonel bir ekmek elde edilmiştir. Ayrıca Martinez-Saez vd. (30) kahve çekirdeği zarı özütü kullanılarak antioksidan açıdan zengin bir içecek üretmeyi başarmışlardır. Özhamamcı (71), tavuk köfteleri üretiminde kahve çekirdeği zarını kısmen yağın yerine kullanmış ve köftelerin tüm duyuşal özelliklerinin değiştiğini göstermiştir. Çalışmada, %2 CS içeren ve %2 yağ azaltımına sahip formülasyon, kontrol grubuna en yakın duyuşal değerlendirme puanlarını vermiştir. Tınaz ve Bağırsakçı (72), süt dilimlerine kahve çekirdeği zarı ilave etmiş ve duyuşal özellikleri değerlendirmişlerdir. Kahve çekirdeği zarı ile zenginleştirilmiş süt dilimi örneklerinin

görünüş ve tat özellikleri kontrol grubu örneğine kıyasla daha çok beğenilirken iki ürün kokusu arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Tekstür özelliklerine bakıldığında ise kontrol örneği daha nemli, yumuşak, yapışkan ve elastik yapıda iken kahve çekirdeği zarının yüksek lif içeriği ürüne daha kolay ufalanabilirlik özelliği kazandırmıştır. Kahve çekirdeği zarı tozunun süt dilimi kekine ilavesi genel tüketici beğenisi olarak çok iyi olarak nitelendirilmiştir.

Ahanchi (73), %2,0, %4,0, %6,0, %8,0 ve %10,0 oranında kahve telvesi kullanılarak üretilen ekmeklerin kimyasal özelliklerini değerlendirmiştir. %10,0 kahve telvesi içeren ekmeğin, en yüksek protein, kül seviyesine sahip olduğu, normal beyaz buğday ununa kıyasla yüksek miktarda inorganik element bulunduğunu ifade etmiştir. Lif seviyesi, toplam karbonhidratlar, fenolik ve flavonoidler, %2,0 ve %4,0 oranında kullanılmış kahve telvesi içeren örneklerde daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Campos-Vega vd. (74) sağlıklı kilolu gönüllülerde, kullanılmış kahve telvesi veya antioksidan diyet lifi içeren bisküvilerin akut alımının tokluk, enerji alımı ve gastrointestinal tolerans üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Kullanılmış kahve telvesi ve lif alımının tokluk algısını önemli ölçüde artırarak, geleneksel bisküvi reçetesine (lif eklenmemiş) kıyasla ad libitum enerji alımını etkilediğini ifade etmiştir.

### Ekonomik Analiz ve Uygulanabilirlik

Kahve yan ürünleri pazarı, bu materyallerin toplanması, işlenmesi ve ticarileştirilmesini kapsayan, parasal değişimin ötesinde çok boyutlu bir ekonomik değer alanı oluşturmaktadır. Bu değer, kahve yan ürünlerinin yenilikçi yaklaşımlar aracılığıyla ürünlere, hizmetlere ve yeni ekonomik fırsatlara dönüştürülmesinden kaynaklanmaktadır. Farklı ölçeklerdeki kahve işletmeleri, yan ürünleri döngüsel ekonomi çerçevesinde değerlendirmeye yönelik uygulamalar geliştirmektedir. Türkiye'de Wastespresso, kullanılmış kahve atıklarını kompostlama temelli süreçlerle biyobozunur

tek kullanımlık ürünlere dönüştürerek kafe ve otel işletmelerinin atık yönetim sistemlerine entegre etmektedir. Benzer şekilde, Starbucks kullanılmış kahve tavelerini gübre olarak değerlendirirken, Coffee Tropic güneş enerjili kurutma sistemleri kullanmakta ve fermantasyon süreçlerinde kullanılan suyu arıtarak yeniden sulama amacıyla kullanmaktadır. Ayrıca sürdürülebilir çiftliklerde kahve yan ürünlerinin kompost hâline getirilerek doğal gübre olarak kullanılması, toprak verimliliğini artırmakta; bazı bölgelerde kullanılmış kahve tavelerinin kompost veya gübre olarak pazarlanması ise bu yan ürünlerin yerel ölçekte ekonomik değer yarattığını göstermektedir (31–33).

### Gelecek Perspektifleri ve Ar-Ge Fırsatları

Döngüsel ekonomi yaklaşımının yaygınlaşmasıyla birlikte, kahve üretiminden kaynaklanan tarımsal yan ürünlerin değerlendirilmesine yönelik ilgi artmıştır. Kahve kabuğu ve posası üzerine yapılan çalışmalar, bu materyallerin hayvan yemlerinde takviye bileşen olarak kullanım potansiyeline odaklanmakta; ancak kafein ve tanen gibi bileşenlerin varlığı, farklı hayvan türlerinde kullanımını sınırlandırmaktadır (75, 34). Detoksifikasyon ve fermantasyon işlemlerinin bu bileşenlerin düzeylerini azaltabildiği bildirilmekle birlikte, uzun dönemli etkiler ve güvenli kullanım oranlarına ilişkin veriler sınırlıdır (35). Kahve kabuklarının tarımsal kullanımında, potasyumca yetersiz topraklarda malç veya kompost olarak değerlendirilmesi ön plana çıkmaktadır (36). Enerji üretimi açısından kahve kabuklarının ısı değerinin karbonizasyon ve piroliz gibi işlemlerle artırılabilirliği bilinmektedir; ancak doğrudan katı yakıt olarak kullanımlarında emisyonlar, kül oluşumu ve ekipman korozyonu gibi teknik sorunlar ortaya çıkmaktadır (70). Mikrodalga pirolizi umut verici sonuçlar sunsa da bu sorunlar henüz tamamen çözülememiştir. Biyogaz üretiminde, uzun hidrolik bekleme süreleri ve düşük sıcaklıklarda azalan gaz verimi nedeniyle kahve kaynaklı katı atıkların uygulanabilirliği sınırlı görünmektedir (76, 77). Kullanılmış kahve taveli ise ağırlıklı olarak adsorban üretimi ve çevresel arıtım uygulamalarında değerlendirilmektedir (36). Genel olarak, kahve yan ürünlerinin

biyorafineri yaklaşımıyla ele alınması, daha bütüncül ve sürdürülebilir değerlendirme stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilir; ancak bunun için yan ürünlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ayrıntılı biçimde karakterize edilmesi gerekmektedir (34).

### Gıda ve Çevre Mevzuatında Kahve Atıkları

Gıda ve çevre mevzuatı kapsamında kahve atıklarının değerlendirilmesi, sürdürülebilirlik politikaları doğrultusunda giderek önem kazanmaktadır. Avrupa Birliği'nde "yeni gıda" kavramı, 15 Mayıs 1997'den önce önemli ölçüde tüketilmemiş gıdaları ifade etmekte olup; kavrulmuş kahve çekirdeği kabuğu, kahve taveli yağı ekstraktı, kahve yaprakları ve kurutulmuş kahve kirazı posasından (kaskara) elde edilen infüzyonlar bu kapsamda onaylanmıştır. Türkiye'de ise kahve atıklarına ilişkin mevzuat çalışmaları, Sıfır Atık Yönetmeliği ile kurumsal bir çerçeve kazanmış; gıda atıklarının önlenmesi ve azaltılmasına yönelik planların hazırlanması teşvik edilmiştir. Bu düzenleme ile gıda hiyerarşisi ilk kez mevzuata dâhil edilmiş ve önceliğin insani tüketime verilmesi, bunun mümkün olmadığı durumlarda ise gıdaların hayvan yemi veya gıda dışı ürünlere dönüştürülmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu yaklaşım, kahve atıklarının döngüsel ekonomi ilkeleri doğrultusunda değerlendirilmesine yönelik önemli bir yasal dayanak oluşturmaktadır (37, 38).

### Sürdürülebilir Sertifikasyonlar

Sürdürülebilirlik, kahve endüstrisinde güncel konulardan biridir. Partzsch, L. (40) daha sürdürülebilir kahve üretimi için blok zinciri ve sertifikasyon öneminden bahsetmiştir. Robichaud ve Yu (78) Z kuşağının sertifikalı kahvenin satın alma niyetlerini önemli ölçüde etkilediğini bildirmiştir. Kahve sektöründe en çok tanınan ve uygulanan Kırsal Sürdürülebilirlik Sistemleri arasında Organik Sertifikasyon, Adil Ticaret, Yağmur Ormanı İttifakı ve Kahve Topluluğu için Ortak Kod (4C) yer almaktadır. Organik sertifikasyon; sağlık, ekoloji, adalet ve özen ilkelerine dayalı olup, iyi tarım uygulamalarını teşvik ederek tarım kimyasalları ve genetiği değiştirilmiş

organizmaların kullanımını sınırlandırmayı, biyolojik çeşitlilik ve hayvan refahını korumayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda organik kahve, birçok Avrupa ülkesinde doğal gıda ve Dünya Mağazalarında pazarlanmaktadır. Adil Ticaret (Fairtrade) sertifikasyonu, küçük ölçekli üreticilerin sosyal ve ekonomik koşullarını iyileştirmeyi hedeflerken, çevre dostu tarım uygulamalarını ve iklim değişikliğine uyumu da desteklemektedir; Fairtrade sertifikalı çiftliklerin yaklaşık %50'sinin aynı zamanda organik sertifikaya sahip olduğu bildirilmektedir (79, 80). Rainforest Alliance sertifikasyonu (UTZ ile birleşmiştir) biyolojik çeşitliliğin korunmasına odaklanmakta; 4C sertifikasyonu ise sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarını kapsayan çok paydaşlı bir çerçeve sunmaktadır. Ayrıca Starbucks ve Nestlé (Nespresso) gibi büyük firmalar, kendi tedarik zincirlerine özgü sürdürülebilirlik standartlarını uygulamaktadır (38).

### Sonuç ve Öneriler

Kahve işleme yan ürünleri, biyolojik ve fonksiyonel açıdan önemli bileşikler içermektedir. Pulpu, kabuğu, çekirdek zarı ve kullanılmış kahve taveleri, antioksidanlar, diyet lifi, fenolik bileşikler, kafein ve çeşitli mineraller açısından zengindir. Bu özellikleri sayesinde yan ürünler yalnızca gıda endüstrisinde değil; enerji üretimi, tarım, inşaat ve kozmetik sektörlerinde de işlevsel olarak değerlendirilebilmektedir. Araştırmalar, kahve pulpu, kabuğu, çekirdek zarı ve kullanılmış kahve tavelerinin, fonksiyonel gıdalarda diyet lifi ve antioksidan katkı maddesi olarak, enerji üretiminde biyoyakıt ve biyodizel kaynağı olarak, tarımda organik gübre ve toprak iyileştirici olarak, inşaat ve malzeme sektöründe alternatif hammadde olarak ve kozmetik ürünlerinde antioksidan olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, hayvan yemlerinde ve enerji üretiminde kullanımın, içerdikleri besin karşıtı bileşenler ile teknik ve ekonomik sınırlamalar nedeniyle hâlen kısıtlı olduğu belirlenmiştir. Bu alanlarda uygulanacak detoksifikasyon, fermantasyon ve ileri dönüşüm teknolojilerinin,

yan ürünlerin kullanım potansiyelini artırabileceği öngörülmektedir.

Gıda ve çevre mevzuatı ile sürdürülebilir sertifikasyon sistemleri, kahve atıklarının yönetimi ve değerlendirilmesinde yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır. Mevzuat ve sertifikasyon uygulamaları, çevresel koruma, sosyal sorumluluk ve ekonomik sürdürülebilirliği birlikte ele alarak, üretici ve işletmelerin sürdürülebilir uygulamalara yönelmesini teşvik etmektedir. Kahve yan ürünlerinin endüstriyel olarak değerlendirilmesi, yalnızca ekonomik katma değer yaratmakla kalmayacak, aynı zamanda doğal kaynak kullanımının etkinliğini artıracak ve atık yönetiminde sürdürülebilir çözümler sunacaktır.

Bu kapsamda, kahve yan ürünlerinin sistematik değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Kahve çekirdeği zarı ve kullanılmış telve gibi yan ürünlerin fonksiyonel bileşenlerinin çıkarılması ve katma değerli ürünlerde kullanılması için araştırmalar yoğunlaştırılmalı, işleme tesislerinde yan ürünlerin geri kazanımı ve yeniden kullanımını teşvik edecek entegre sistemler kurulmalıdır. Ulusal ve uluslararası düzeyde, kahve yan ürünlerinin sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesine yönelik düzenlemeler güçlendirilmelidir. Ayrıca, gıda, tarım, enerji, inşaat ve kozmetik sektörlerinde yan ürünlerin katma değerli kullanımına yönelik sektörler arası işbirlikleri teşvik edilmelidir. Tüm bu uygulamalar, kahve yan ürünlerinin ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğe katkısını artıracak, döngüsel ekonomi ve endüstriyel inovasyon açısından yeni fırsatlar yaratacaktır.

### Araştırmanın Etik Yönü

Bu makale **bir derleme çalışması** olduğundan etik kurul onayı gerektirmemektedir.

### Yazar Katkısı

Kavramsallaştırma: ŞGB; Veri iyileştirme: ŞGB; Biçimsel analiz: ŞGB; Fon edinimi: ŞGB; Araştırma: ŞGB; Metodoloji: ŞGB; Proje yönetimi: ŞGB; Kaynaklar: ŞGB; Yazılım: ŞGB; Denetleme: ŞGB; Doğrulama: ŞGB;

Görselleştirme: ŞGB; Yazım –orijinal taslak: ŞGB; Yazım incelemesi ve düzenleme: ŞGB

### Teşekkür

Bu çalışma konusu 27.08.2025 tarihli Toros Üniversitesi 3. Kahve Sempozyumu'nda özet bildiri olarak sunulmuştur. Sempozyumun düzenlenmesi ve yürütülmesi süreçlerinde emeği geçen tüm ekibe teşekkürlerimi borç bilirim.

### Finansal Destek

Bu araştırma, kamu, ticari veya kâr amacı gütmeyen sektörlerdeki finansman kuruluşlarından herhangi bir özel hibe almamıştır.

### Çıkar Çatışması

Çıkar çatışması yoktur.

### Kaynakça

1. Ateş, G., ve Elmacı, Y. (2017). Potansiyel fonksiyonel bileşen: Kahve çekirdeği zarı. *Akademik Gıda*, 15(1), 66-74. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.306069>
2. Boğa, T., ve Dertli, E. (2021). Kullanılmış kahve telvesinin lif kaynağı olarak değerlendirilme potansiyeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 114-120. <https://doi.org/10.31590/ejosat.909736>
3. Arnaud, M. J. (1993). Components of coffee. *Caffeine, coffee, and health*, 43, 666.
4. Narita, Y., ve Inouye, K. (2014). Review on utilization and composition of coffee silverskin. *Food Research International*, (61), 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.023>
5. Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., Brand, D., Mohan, R., ve Roussos, S. (2000). Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 6(2), 153-162. [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00084](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00084)
6. Sak, R., Sak, İ. T. Ş., Şendil, Ç. Ö., & Nas, E. (2021). Bir araştırma yöntemi olarak doküman analizi. *Kocaeli Üniversitesi Eğitim Dergisi*, 4(1), 227-256.
7. Fu, X., Shen, X., Yin, X., Zhang, Y., Wang, X., Han, Z., Lin, Q., ve Fan, J. (2021). Antioxidant and pro-apoptosis activities of coffee husk (*Coffea arabica*) anthocyanins. *International Food Research Journal*, 28(6), 1187-1195. <http://www.ifrj.upm.edu.my>
8. Fatiqin, A., Lestari, D., Amalia, R. H. T., Sunarti, R. N., Apriani, I., Raharjeng, A. R. P., Wulan, R. M. S., Suprayogi, T., Febrianto, Y., ve Rahman, S. (2025). Innovation and utilization of coffee skin waste (*Coffea robusta* L) as a superior compost for the growth of pepper cuttings (*Piper nigrum* L.). Paper presented at the AIP Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1063/5.0234698>
9. Blinová, L., Sirotiak, M., Bartošová, A., ve Soldán, M. (2017). Utilization of waste from coffee production. *Vedecké Práce Materiálovotechnologickej Fakulty Slovenskej Technickej Univerzity v Bratislave so Sídлом v Trnave*, 25(40), 91. <https://www.proquest.com/docview/1945302628?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Scholarly%20Journals>
10. Borrelli, R. C., Esposito, F., Napolitano, A., Ritieni, A., ve Fogliano, V. (2004). Characterization of a new potential functional ingredient: coffee silverskin. *Journal of agricultural food chemistry*, 52(5), 1338-1343. <https://doi.org/10.1021/jf034974x>
11. Murthy, P. S., ve Naidu, M. M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation recycling*, 66, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
12. Rios, M. B., Iriundo-DeHond, A., Iriundo-DeHond, M., Herrera, T., Velasco, D., Gómez-Alonso, S., Callejo, M. J., ve Del Castillo, M. D. (2020). Effect of coffee cascara dietary fiber on the physicochemical, nutritional and sensory properties of a gluten-free bread formulation. *Molecules*, 25(6), 1358. <https://doi.org/10.3390/molecules25061358>
13. Perdani, C., ve Pranowo, D. (2019). Total phenols content of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) in East Java. Paper presented at the IOP Conference

- Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012093>
14. Urugo, M. M., Getachew, P., Lambe, B. T., Yohannis, E., Afework, A., Meteke, N., ... & Worku, M. (2025). Green Valorization of Coffee Industry Residues: Emerging Innovations and Their Role in Sustainable Food and Feed Applications. [https://www.preprints.org/frontend/manuscript/ae9369c6edece95bf6dfd78f3fc08604/download\\_pub](https://www.preprints.org/frontend/manuscript/ae9369c6edece95bf6dfd78f3fc08604/download_pub)
  15. Nestlé in society, Creating Shared Value and, meeting our commitments 2016, [https://www.nestle.com/sites/default/files/asset-library/documents/library/documents/corporate\\_social\\_responsibility/nestle-csv-full-report-2016-en.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.nestle.com/sites/default/files/asset-library/documents/library/documents/corporate_social_responsibility/nestle-csv-full-report-2016-en.pdf?utm_source=chatgpt.com)
  16. Fernández, J. V., Faria, D. N., Santoro, M. C., Mantovaneli, R., Cipriano, D. F., Brito, G. M., Carneiro, M. T. W., Schettino Jr, M. A., Gonzalez, J. L., ve Freitas, J. C. (2023). Use of unmodified coffee husk biochar and ashes as heterogeneous catalysts in biodiesel synthesis. *BioEnergy Research*, 16(3), 1746-1757. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-022-10516-z>
  17. Procentese, A., Raganati, F., Olivieri, G., Russo, M. E., ve Marzocchella, A. (2019). Combined antioxidant-biofuel production from coffee silverskin. *Applied microbiology biotechnology*, 103(2), 1021-1029. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9530-3>
  18. Karmee, S. K. (2018). A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites. *Waste management*, 72, 240-254. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.042>
  19. Prihadi, A. R., Maimulyanti, A., Mellisani, B., ve Nurhasanah, N. (2020). Antioxidant activity, tannin content and dietary fiber from coffee husk extract and potential for nutraceutical. *Rasayan Journal of Chemistry*, 13(2), 955-959. <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2020.1325613>
  20. Jiang, Z., Liu, X., Sun, W., Cui, N., Guo, J., Chen, H., ve Huang, W. (2024). Fertilizer optimization combined with coffee husk returning to improve soil environmental quality and young coffee tree growth. *Journal of Soil Science Plant Nutrition*, 24(1), 650-665. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01572-1>
  21. Martuscelli, M., Esposito, L., Di Mattia, C. D., Ricci, A., ve Mastrocola, D. (2021). Characterization of coffee silver skin as potential food-safe ingredient. *Foods*, 10(6), 1367. <https://doi.org/10.3390/foods10061367>
  22. Picca, G., Plaza, C., Madejón, E., ve Panettieri, M. (2023). Compositing of coffee silverskin with carbon rich materials leads to high quality soil amendments. *Waste Biomass Valorization*, 14(1), 297-307. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01879-7>
  23. Leifa, F., Pandey, A., & Soccol, C. R. (2001). Production of Flammulina velutipes on coffee husk and coffee spent-ground. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 44, 205-212.
  24. Iriondo-DeHond, A., Iriondo-DeHond, M., ve Del Castillo, M. D. (2020). Applications of compounds from coffee processing by-products. *Biomolecules*, 10(9), 1219. <https://doi.org/10.3390/biom10091219>
  25. Oropeza-Mariano, E., Cerrilla, M. E. O., Herrera-Haro, J. G., Ramírez-Briebesca, E. J., ve Salinas-Ríos, T. (2022). Use of pulp and husk of coffee in animal feed. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i9.2171>
  26. Marew, L., Meheret, F., ve Asmare, B. (2024). Effect of processed coffee husk on feed intake, nutrient digestibility, body weight changes and economic feasibility of Bonga sheep fed on natural pasture hay as a basal diet. *Veterinary Medicine Science*, 10(6), e70118. <https://doi.org/10.1002/vms3.70118>
  27. Maghfirah, A., Asmara, A. P., Sinuhaji, P., ve Marlianto, E. (2020). Improving the characterization of polymer concrete based on coffee shell and pumice waste with mixture of polyester resin and polyurethane resin. Paper presented at

- the AIP Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1063/5.0003173>
28. Gopinandhan, T., Channabasamma, B., ve Hareesh, S. (2025). Production and Physico-chemical Characterization of Biochar Obtained from Coffee Silver Skin. *Ecology, Environment Conservation*, 31. <https://doi.org/10.53550/EEC.2025.v31i03s.052>
  29. Rizkaprilisa, W., Hapsari, M. W., Paramastuti, R., ve Pebrianti, S. A. (2023). Improvement of Bread Nutrition With The Addition of Coffee Silverskin as a Source Of Dietary Fiber And Antioxidants. *Food ScienTech Journal*, 5(2), 166-176. <https://core.ac.uk/download/pdf/595442629.pdf>
  30. Martinez-Saez, N., Ullate, M., Martin-Cabrejas, M. A., Martorell, P., Genovés, S., Ramon, D., ve del Castillo, M. D. (2014). A novel antioxidant beverage for body weight control based on coffee silverskin. *Food chemistry*, 150, 227-234. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.100>
  31. Peluso, M. (2023, August). Coffee by-products: economic opportunities for sustainability and innovation in the coffee industry. In Proceedings (Vol. 89, No. 1, p. 6). MDPI.
  32. Tekin, Z. (2021, December). Kahve üretiminde sürdürülebilirlik ve yeşil işletmecilik uygulamaları: Dünyadan örnekler. In 7th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference, Aralık (pp. 10-12).
  33. Mete, M., H., (2024). Eko-Girişimcilik, E. İ. V. Yeşil Ekonominin Dinamiği. Metroloji ve Sanayi Ürünleri Güvenliği Genel Müdürlüğü
  34. Mussatto, S. I., Ballesteros, L. F., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and purification technology*, 83, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.09.036>
  35. Janissen, B., & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and recycling*, 128, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001>
  36. Campos-Vega, R., Loarca-Pina, G., Vergara-Castañeda, H. A., & Oomah, B. D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 45(1), 24-36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>
  37. Sivil Toplum Destek Programı-II, Türkiyede gıda atığını önleme ve azaltımı için GKTD kapasite artırımı, Gıda Atığı ve Kaybına İlişkin Mevzuat Değerlendirmesi
  38. European Comission, 2025, [https://food.ec.europa.eu/food-safety/novel-food\\_en](https://food.ec.europa.eu/food-safety/novel-food_en).
  39. Ponte, S. (2004). Standards and sustainability in the coffee sector. International Institute for Sustainable Development. Available at <http://www.iisd.org>.
  40. Partzsch, L. (2025). Hardening sustainability: Supply chain laws complement cocoa and coffee certifications. *Forest Policy and Economics*, 181, 103661. Gashema, C. (2021). Daha sürdürülebilir kahve üretimi için blok zinciri ve sertifikasyon. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2025.103661>
  41. Klingel, T., Kremer, J. I., Gottstein, V., Rajcic de Rezende, T., Schwarz, S., & Lachenmeier, D. W. (2020). A review of coffee by-products including leaf, flower, cherry, husk, silver skin, and spent grounds as novel foods within the European Union. *Foods*, 9(5), 665. <https://doi.org/10.3390/foods9050665>
  42. Akgün, B., Çavuş, F., & Güzelsoy, NA (2025). Öğütülmüş Kavrulmuş Kahvede Katkı Maddesinin Tespiti için SPME/GC/Q-ToF-MS ve Kemometrik Yaklaşımlar. *Coffee Science-ISSN 1984-3909*, 20, e202362-e202362
  43. Castaldo, L., Graziani, G., Gaspari, A., Izzo, L., Luz, C., Mañes, J., Rubino, M., Meca, G., ve Ritieni, A. (2018). Study of the chemical components, bioactivity and antifungal properties of the coffee husk. <https://doi.org/10.5539/jfr.v7n4p43>
  44. López-Galilea, I., Fournier, N., Cid, C., & Guichard, E. (2006). Changes in headspace volatile concentrations of coffee brews caused by the roasting process and the brewing procedure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,

- 54(22), 8560-8566.  
<https://doi.org/10.1021/jf061178t>
45. Moon, J. K., & Shibamoto, T. (2009). Antioxidant assays for plant and food components. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(5), 1655-1666.  
<https://doi.org/10.1021/jf803537k>
  46. del Castillo, M. D., Ames, J. M., & Gordon, M. H. (2002). Effect of roasting on the antioxidant activity of coffee brews. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(13), 3698-3703.  
<https://doi.org/10.1021/jf011702q>
  47. Salazar-López, N. J., López-Rodríguez, C. V., Hernández-Montoya, D. A., & Campos-Vega, R. (2020). Health benefits of spent coffee grounds. *Food Wastes and By-products: Nutraceutical and Health Potential*, 327-351.  
<https://doi.org/10.1002/9781119534167.ch11>
  48. Rodrigues, F., Palmeira-de-Oliveira, A., das Neves, J., Sarmiento, B., Amaral, M. H., ve Oliveira, M. B. P. (2015). Coffee silverskin: A possible valuable cosmetic ingredient. *Pharmaceutical Biology*, 53(3), 386-394.  
<https://doi.org/10.3109/13880209.2014.922589>
  49. Yılmaz, A. E. Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi. *Journal of Ecological Harmony*, 1(1), 32-39.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1575496>
  50. Kurdoğlu, B. Ç., & Parlak, P. Ö. (2022). Döngüsel Ekonomi-Döngüsel Şehirler. *Mimarlık, Planlama ve Tasarımda Güncel Araştırmalar*, 2, 110-126.
  51. Reyhan, A. S. (2014). Sürdürülebilir Üretim-Tüketim Politikaları Çerçevesinde "Yeşil Ekonomi" Üzerine Bir Değerlendirme. *Memleket Siyaset Yönetim*, 9(22), 327-347.  
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2952813>
  52. Pongsiriyakul, K., Wongsurakul, P., Kiatkittipong, W., Premashthira, A., Kuldilok, K., Najdanovic-Visak, V., Adhikari, S., Cognet, P., Kida, T., ve Assabumrungrat, S. (2024). Upcycling coffee waste: Key industrial activities for advancing circular economy and overcoming commercialization challenges. *Processes*, 12(12), 2851.  
<https://doi.org/10.3390/pr12122851>
  53. Carneiro, A. D. C. O., Zanoncio, A. J. V., Carvalho, A. G., Jorge, J. A. C. G., dos Santos, R. J. C., Demuner, I. F., ... & Araújo, S. D. O. (2025). Sustainable production of coffee husk pellets: applying circular economy in waste management and renewable energy production. *Resources*, 14(2), 26.  
<https://doi.org/10.3390/resources14020026>
  54. Franca, A. S., ve Oliveira, L. S. (2022). Potential uses of spent coffee grounds in the food industry. *Foods*, 11(14), 2064.  
<https://doi.org/10.3390/foods11142064>
  55. Ivashchuk, O. S., Atamanyuk, V. M., Chyzhovych, R. A., & Sobechko, I. B. (2022). Using coffee production waste as a raw material for solid fuel. *Journal of Chemistry and Technologies*, 30(4), 588-594.
  56. Hu, Y., Gallant, R., Salaudeen, S., Farooque, A. A., ve He, S. (2022). Hydrothermal carbonization of spent coffee grounds for producing solid fuel. *Sustainability*, 14(14), 8818.  
<https://doi.org/10.3390/su14148818>
  57. Torres-Valenzuela, L. S., Serna-Jiménez, J. A., ve Martínez, K. (2020). Coffee by-products: Nowadays and perspectives. *Coffee Production Research*, 1-18.
  58. Hema, S., Vijayalakshmi, A., ve Silpa, M. (2024). Impact of paddy and coffee husk as the bio compost and its effect on the growth and yield of black gram [Vigna mungo (L.) Hepper]. *Agricultural Science Digest*, 44(1), 184-188.  
<https://doi.org/10.18805/ag.D-5623>
  59. Cervera-Mata, A., Pastoriza, S., Rufián-Henares, J. Á., Párraga, J., Martín-García, J. M., & Delgado, G. (2018). Impact of spent coffee grounds as organic amendment on soil fertility and lettuce growth in two Mediterranean agricultural soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(6), 790-804.  
<https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1387651>
  60. Mesmar, A. K., Albedwawi, S. T., Alsalami, A. K., Alshemeili, A. R., Abu-Elsaoud, A. M., El-Tarabily, K. A., ve Al Raish, S. M. (2024). The effect of recycled spent coffee grounds fertilizer, vermicompost, and chemical fertilizers on the growth and soil quality of red radish (*raphanus sativus*) in the united arab emirates: a sustainability

- perspective. *Foods*, 13(13), 1997. <https://doi.org/10.3390/foods13131997>
61. Velez, A. R., & Jaramillo Lopez, J. C. (2015). Process for obtaining honey and/or flour of coffee from the pulp or husk and the mucilage of the coffee bean (U.S. Patent Application No. US20150017270 A1). United States Patent and Trademark Office.
  62. Belan, L., Rego, F. C. D. A., de Castro, F. A. B., Serafim, C. C., Gasparini, M. J., Zundt, M., ... & Eleodoro, J. I. (2019). Replacing oat hay with coffee husk in the feed of finishing lambs.
  63. Acchar, W., Dultra, E. J. V., & Segadães, A. M. (2013). Untreated coffee husk ashes used as flux in ceramic tiles. *Applied Clay Science*, 75, 141-147. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.03.009>
  64. de Mello, V., de Mesquita Júnior, G. A., Alvim, J. G. E., Costa, J. D. C. D., & Vilela, F. M. P. (2023). Recent patent applications for coffee and coffee by-products as active ingredients in cosmetics. *International Journal of Cosmetic Science*, 45(3), 267-287. <https://doi.org/10.1111/ics.12843>
  65. Dordevic, D., Dordevic, S., Abdullah, F. A. A., Mader, T., Medimorec, N., Tremlova, B., & Kushkevych, I. (2023). Edible/biodegradable packaging with the addition of spent coffee grounds oil. *Foods*, 12(13), 2626. <https://doi.org/10.3390/foods12132626>
  66. Moussa, T., Maalouf, C., Bliard, C., Abbes, B., Badouard, C., Lachi, M., do Socorro Veloso Sodr e, S., Bufalino, L., Bogard, F., ve Beaumont, F. (2022). Spent coffee grounds as building material for non-load-bearing structures. *Materials*, 15(5), 1689. <https://doi.org/10.3390/ma15051689>
  67. Lourith, N., Xivivadh, K., Boonkong, P., ve Kanlayavattanukul, M. (2022). Spent coffee waste: A sustainable source of cleansing agent for a high-performance makeup remover. *Sustainable Chemistry Pharmacy*, 29, 100826. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100826>
  68. Senarath Mudalige Don, A. H., Mat Saad, H., Abdullah, E., Elengoe, A., Lim, S. H., ve Tan, C. H. (2025). Biological Investigation of Spent Coffee Ground for Potential Cosmeceutical Applications. National Academy Science Letters, 48(2), 179-184. <https://doi.org/10.1007/s40009-024-01590-2>
  69. Eckhardt, S., Franke, H., Schwarz, S., & Lachenmeier, D. W. (2022). Risk assessment of coffee cherry (cascara) fruit products for flour replacement and other alternative food uses. *Molecules*, 27(23), 8435. <https://doi.org/10.3390/molecules27238435>
  70. Moreno, J., Cozzano, S., P erez, A. M., Arcia, P., ve Curutchet, A. (2019). Coffee pulp waste as a functional ingredient: Effect on salty cookies quality. *J. Food Nutr. Res*, 7(9), 632-638. <https://doi.org/DOI:10.12691/jfnr-7-9-2>
  71.  zhamamcı,  . (2024). Coffee Silverskin as a Fat Replacer in Chicken Patty Formulation and Its Effect on Physicochemical, Textural, and Sensory Properties. *Applied Sciences*, 14(15), 6442. <https://doi.org/10.3390/app14156442>
  72. Tınaz, S., & Bağırsakçı,  . G. (2025).  retim Atığı Kahve  ekirdeđi Zarı ile Zenginleştirilmiş Fonksiyonel S t Dilimi  retimi ve Duyusal Analizi. *S rd r lebilir M hendislik Uygulamaları ve Teknolojik Geliřmeler Dergisi*, 8(2), 256-262. <https://doi.org/10.51764/smutgd.1821842>
  73. Ahanchi, M., Sugianto, E. C., Chau, A., & Khoddami, A. (2024). Quality properties of bakery products and pasta containing spent coffee grounds (SCGs): A review. *Foods*, 13(22), 3576. <https://doi.org/10.3390/foods13223576>
  74. Campos-Vega, R., Arregu n-Campos, A., Cruz-Medrano, M. A., & del Castillo Bilbao, M. D. (2020). Spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds promote satiety and attenuate energy intake: A pilot study. *Journal of Food Biochemistry*, 44(6), e13204. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13204>
  75. Esquivel, P., & Jimenez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food research international*, 46(2), 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>
  76. Yadvika, Sreekrishnan, T. R., Santosh, S., & Kohli, S. (2007). Effect of HRT and slurry concentration on biogas production in cattle dung based

- anaerobic bioreactors. *Environmental technology*, 28(4), 433-442. <https://doi.org/10.1080/09593332808618804>
77. Singh, S. P., & Prerna, P. (2009). Review of recent advances in anaerobic packed-bed biogas reactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1569-1575. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.006>
78. Robichaud, Z., & Yu, H. (2022). Do young consumers care about ethical consumption? Modelling Gen Z's purchase intention towards fair trade coffee. *British Food Journal*, 124(9), 2740-2760. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2021-0536>
79. Valkila, J. (2009). Fair Trade organic coffee production in Nicaragua—Sustainable development or a poverty trap?. *Ecological economics*, 68(12), 3018-3025. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.07.002>
80. Becchetti, L., & Costantino, M. (2008). The effects of fair trade on affiliated producers: An impact analysis on Kenyan farmers. *World Development*, 36(5), 823-842. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2007.05.007>