

Discrimination, Quantitation, and Identification of Edible Vegetable Oil Blends Based on Their Fatty Acid Profiles

Graciela Artavia  ✉, Fabio Granados-Chinchilla 

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Sede Rodrigo Facio, P.O. 11501-2060, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

Received (Geliş Tarihi): 08.03.2021, Accepted (Kabul Tarihi): 11.07.2021

✉ Corresponding author (Yazışmalardan Sorumlu Yazar): graciela.artavia@ucr.ac.cr (G. Artavia)

☎ +506 25117215 📠 +506 22533762

ABSTRACT

Based on the most common vegetable oil blends, binary and ternary analytical mixtures were constructed in mass fractions from 0.50 to 0.97, and their fatty acid profile was determined and represented graphically. The fatty acids with discriminatory power were selected to construct equations to predict commercial oil blend proportions. Three different linear equations resulted from the analysis for i. palm oil-based blends: $y = (0.3713 \pm 0.0217)x + (11.401 \pm 0.68)$ for C_{18:2} and $(0.4357 \pm 0.0254)x + (51.281 \pm 2.90)$ for C_{16:0} ii. soybean oil-based blends $y = (-0.0789 \pm 0.0046)x + (30.686 \pm 1.71)$ for C_{18:1} and $(0.0686 \pm 0.0040)x - (0.1395 \pm 0.0081)$ for C_{18:3} and iii. sunflower oil-based blends $y = (-0.0552 \pm 0.0032)x + (12.167 \pm 0.6105)$ for C_{16:0}. Finally, the fatty acid profiles of $n = 10$ commercial samples (i.e., vegetable oil blends) were determined, and the model was applied to them with satisfactory results.

Keywords: Oil quality, Edible vegetable oil blends, Fatty acid profile, GC/FID, Guaranteed label

Yağ Asidi Profillerine Dayalı Yenilebilir Bitkisel Yağ Karışımlarının Ayırt Edilmesi, Nicelenmesi ve Tanımlanması

ÖZ

En yaygın bitkisel yağ karışımlarına dayalı olarak, ikili ve üçlü analitik karışımlar 0.50 ile 0.97 arasında kütle fraksiyonlarında oluşturulmuş ve bunların yağ asidi profilleri belirlenmiş ve grafiksel olarak gösterilmiştir. Ticari yağ karışım oranlarının tahmini için denklemler oluşturmak amacıyla ayırt edici güce sahip yağ asitleri seçilmiştir. Yapılan analizden üç farklı lineer denklem elde edilmiştir: (i) palm yağı bazlı karışımlar, C_{18:2} için $y = (0.3713 \pm 0.0217)x + (11.401 \pm 0.68)$ ve C_{16:0} için $(0.4357 \pm 0.0254)x + (51.281 \pm 2.90)$, (ii) soya fasulyesi yağı bazlı karışımlar, C_{18:1} için $y = (-0.0789 \pm 0.0046)x + (30.686 \pm 1.71)$ ve C_{18:3} için $(0.0686 \pm 0.0040)x - (0.1395 \pm 0.0081)$ ve (iii) ayçiçeği yağı bazlı karışımlar, C_{16:0} için $y = (-0.0552 \pm 0.0032)x + (12.167 \pm 0.6105)$. Son olarak, ticari numunenin ($n = 10$, bitkisel yağ karışımları) yağ asidi profilleri belirlenmiş ve model, tatmin edici sonuçlarla bunlara uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yağ kalitesi, Yenilebilir bitkisel yağ karışımları, Yağ asidi profili, GC/FID, Garanti edilen etiket

INTRODUCTION

Cooking oils are food products cataloged as essential commodities [1], accounting for a worldwide demand of 177.5 million tons in 2015 [2]. At least 13 vegetable oils are frequently commercialized, but particular focus is given to palm, soybean, rapeseed, and sunflower oils [2, 3].

Edible oils consist mainly of diacylglycerols, triglycerides, and phospholipids [4]. Since the composition and abundance of fatty acids present in vegetable oils depend on the plant species from which they were obtained [5], the differentiation of pure oil samples and blends can be based on fatty acid profiles.

Fatty acid profiling is a common practice in food analysis, and chromatographic techniques are the most common in analyzing edible oil samples. Several examples can be cited as to the application of gas chromatography in the quality analysis of edible oils [6-8]. Additionally, gas chromatography and discriminatory analysis have already been used to distinguish between argan oil and other edible oils based on the fatty acid profile [9]. Recently, a successful differentiation of edible oils was based on their fatty acid profile and Raman spectra [10]. However, research is mostly focused on the quality assessment of pure vegetable oils [11].

Despite that the current legislative Costa Rican framework (RTCA 67.04.40:07) does contain parameters to assess pure oils, it does not contemplate oil mixtures, which are the products mostly found commercially [12]. A blending of oils combines each edible oil's strong points while offering a balance of fatty acids and antioxidants [12]. This approach is also used to enhance oils' oxidative and thermal stability [12].

Herein we describe the use of fatty acid profiling by gas chromatography applied to vegetable oil blends. We demonstrated that certain indicator fatty acids could serve as a guide to verify or identify fraudulent oils mixtures and even help quantify each oil proportion.

MATERIALS and METHODS

Sampling

Samples were randomly procured from local supermarkets by government officials from the Ministry of Economy, Industry, and Commerce. A total of $n = 10$ commercial oil blend samples were selected and tested.

Sample Preparation and Derivatization

Exactly 0.1 g of vegetable oil were measured and quantitatively transferred to a 15 mL glass vial. Immediately, 2 mL of a boron trifluoride solution (~14 g $\text{BF}_3/100$ mL methanol, B1252, Sigma-Aldrich, St. Louis,

Missouri, USA) and 1 mL of toluene were added. The vial was hermetically closed and heated for 45 minutes in a shaking water bath at 100°C and constant gentle agitation (TSSWB15, Thermo Scientific™, Precision™, Waltham, Massachusetts, USA). Once cooled, 5 mL of ultrapure water [type I, 0.055 $\mu\text{S cm}^{-1}$ at 25 °C, 5 $\mu\text{g L}^{-1}$ TOC] was obtained using an A10 Milli-Q Advantage system and an Elix 35 system (EMD Millipore Burlington, MA, USA) and 1 mL hexane (≥ 95 mL/100 mL, 650552, Sigma-Aldrich,) were added to the vial and both layers are let to segregate. Then, the upper phase was recovered and pass-through sodium sulfate (798592, Sigma-Aldrich, anhydrous, granular, free-flowing, Redi-Dri™, ACS reagent, $\geq 99\%$) which was used as desiccant. Finally, 1 mL of the organic phase was sifted using a syringe filter (hydrophobic PTFE membrane, 0.45 μm , Acrodisc®, PALL®, NY, USA) and transferred to a conical glass 350 μL insert and 2 mL HPLC vial (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) for injection.

Oil Blend Preparation

Pure analytical standards were acquired to produce known oil binary and ternary mixtures (i.e., palm and soybean oil, soybean and sunflower oil, sunflower and corn oil, palm, soybean, and sunflower oil; Table 1). Then, the fatty acid profile from each oil and mixture was characterized (for an example see Figure 1A). All standards were purchased from SUPLECO (47122, 47123, 47112-U, and 46962 for soybean, sunflower, corn, and palm oil, respectively (Bellefonte, Pennsylvania, USA). All mixtures were prepared and measured individually five times. Additionally, fatty acid methyl ester (FAME) standard mixes (SUPELCO, 18919 and CRM 47885, $> 99\%$, $\text{C}_4\text{-C}_{24}$) were dissolved at 10 mg mL^{-1} in dichloromethane and containing 0.01 g/100 mL 2,6-di-*tert*-butyl-4-methylphenol. These mixtures were separated quantitatively, used to calibrate the chromatographic equipment, and set each FAME retention time. A reagent blank and a standard mix were run in parallel before each determination as quality control.

Chromatographic Equipment Used during Fatty Acid Determination

All fatty acid profiles were performed using OMASM AOAC and AOCS methods 996.06 and Ce 1e-91 using a GC/FID system model GC-2014 equipped with an AOC-20i automatic liquid sample injection system (Shimadzu Corporation, Nakagyo-ku, Kyoto, Japan) and J&W DB-23, 20 m \times 0.18 mm \times 0.2 μm (50% polybis(cyanopropyl)siloxane, Agilent Technologies Santa Clara, Ca, USA).

Chromatographic Conditions for Fatty Acid Determination

A gradient was used to separate the FAMES, the temperature program was established as follows: Initial temperature 80°C, hold for 0.5 min, ramp 3°C min⁻¹ to 85°C, ramp 60°C min⁻¹ to 175°C, ramp 10°C min⁻¹ to 185°C, hold 5 min, and finally ramp 2.5°C min⁻¹ to 210°C, hold 2 min. The flame ionization detector

temperature was set to 260°C, operating with hydrogen, helium (as a makeup gas) and air flow set at 75, 65, and 60 kPa (Ultra-high purity gases, Praxair, Uruca, San José, Costa Rica). The linear velocity of hydrogen carrier gas was kept constant at 41 cm s⁻¹ (for a resulting total and column flow of 225.8 and 1.11 mL min⁻¹, respectively). A 2 µL 200:1 split injection was performed where the port was set at 250°C and 193 kPa.

Table 1. Preparation of the standard oil blends for fatty acid determination

<i>Mixture proportions and mass fraction in mg</i>						
50/50	60/40	70/30	80/20	90/10	94/6	97/3
<i>Soybean and sunflower</i>						
250/250	300/200	350/150	400/100	450/50	470/30	485/15
<i>Sunflower and corn oil</i>						
75/75	90/60	105/45	120/30	135/15	470/30	485/15
<i>Palm and soybean oil</i>						
75/75	90/60	105/45	120/30	135/15		
<i>Ternary mixture</i>						
<i>Palm, soybean, and sunflower</i>						
45/45/10	60/30/10	70/20/10	80/15/5	85/10/5		

Statistical Analysis

Fano factors (i.e., index of dispersion for windowed data expressed as variance-to-mean ratios, VMR) were obtained for the most promising fatty acids to serve as markers that might help discriminate between oils. Pearson Product Moment $\alpha = 0.05$ was selected to prove variable association, where positive correlation and p values below 0.05 suggest an increasing trend. Linear regression models were constructed from the fatty acids selected as markers to prepare a model that permits quantification. Absolute values of determination close to one were an assessment of the goodness of fit. All tests were performed using Sigma Plot 14.0 (Systat Software Inc, San José, California, USA).

RESULTS and DISCUSSION

Overview of the Fatty Acid Profile of Oil Blends

Standard Oil Blends

Fatty acid profile of palm based oil blends has a higher content of saturated fatty acids with the 50:50 mixture of palm and soybean oil exhibiting a ratio of 1:1:1 poly, mono, and saturated fatty acids with C_{16:0}, C_{18:1}, and C_{18:2} as the most abundant acids (Figure 2A, Table 2). In terms of the least representative fatty acids within the profile, of palm oil blends are the sole source of C_{12:0} (input of ca. 2 g/100 g). Palm oil based blends are characterized for myristic and α -linoleic acids at ca. 2 and 5 g/100 g, respectively (Figure 2A and Table 2).

In contrast, for soybean and sunflower based blends the majority of the profile relies on unsaturated fatty acids (ca. 88 g/100 g of the total profile consists in MUFA and PUFA with the prevalence of C_{18:1} and C_{18:2}) (Table 2). Dietary C_{16:0} input of palm oil or palm oil-based blends (from ca. 36 to 51 g/100 g, Table 2) is the reason as for the demonstrated increase in low density lipoprotein [13] and reduction in antioxidant capability despite of palm oil being the only oil tested here which inputs beneficial fatty acids such as EPA and DHA (ca. 0.20 g/100 g, respectively, Table 2) [14].

The blends prepared herein behave as expected as the main input. For example, as soybean oil is included to palm oil, the resulting blends reflect an increase fatty acids such as C_{18:2} and C_{18:3}. These trend has been also observed in other experiments involving oil blends where palm oil fraction is substituted; even by fish oil [15]. Finally, an interesting result is that all oil mixtures have more or less similar levels of C_{18:0} and C_{18:1} (ca. 2-4 and 28-35 g/100 g, respectively, Table 2).

Commercial Oil Blends

Despite some differences in processing techniques (see below) both palm olein and palm oil based blends does not reflect any significant ($p < 0.05$) differences in both general and individual fatty acid profiling (Table 3). In general terms the profile of commercial palm oil/olein blends (Figure 1B, Table 3) is similar to the one obtained for the 50-60 palm oil inclusion standard mixture (Table 2). This includes minor fatty acids such C_{14:0}, C_{18:0}, α - and γ -linolenic (with levels < 4 g/100 g, Table 2 and Table 3).

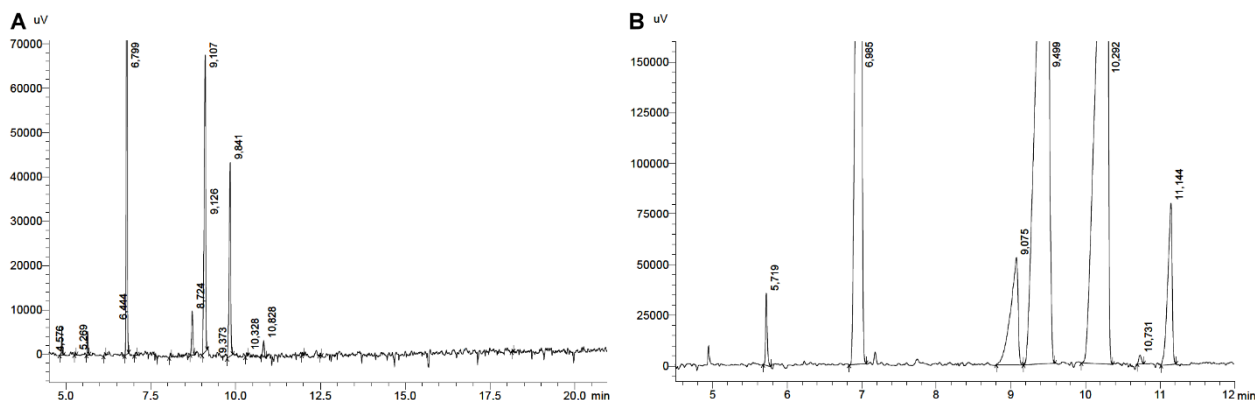


Figure 1. Experimental chromatograms for A. Palm:soybean oil standard blend at 70:30 ratio. B. a selected section of obtained for sample E, for which $n = 7$ signals are evident.

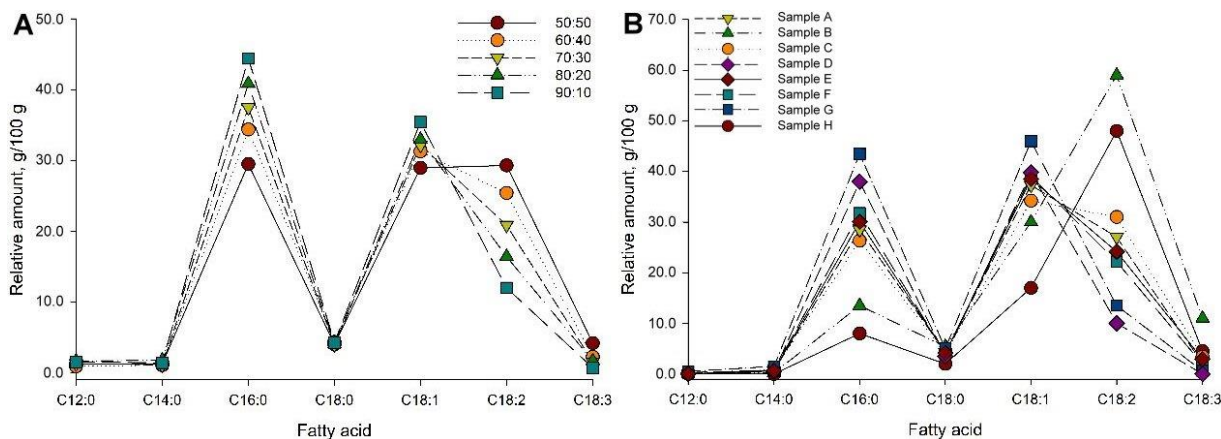


Figure 2. Fatty acid profile for A. Palm and soybean oil blends using pure standards B. Commercial oil samples labeled as palm or palm olein mixtures with soybean oil. Key: Sample A, Palm olein 1; Sample B, Palm olein 2; Sample C, Palm olein: Soybean oil 1, Sample D, Palm olein: Soybean oil 2; Sample E, Palm: Soybean oil; Sample F, Soybean oil: Palm olein; Sample G, Soybean oil 1; Sample H, Soybean oil 2.

Table 3 also demonstrates that general profile of the commercial soybean and sunflower oil and sunflower and corn oil blends are quite similar with polyunsaturated fatty acid proportion varying from ca. 50-60 g/100 g. Interestingly, soybean and sunflower oil blends show concentrations (ca. 0.5 g/100 g) of γ -linolenic acid (Table 3). Meanwhile, commercial blends based on sunflower and corn oil are devoid of this fatty acid. This indicates that soybean oils are responsible for the input of γ -linolenic acid in the oil blends. The impact of soybean oil in the input of γ -linolenic acid has been also tested *in vivo* [16]. A similar scenario is observed with erucic acid in blends containing palm oil [see binary and ternary standard blends containing palm oil (inputs of 0.35 and 0.64 g/100 g, respectively), Table 2] [17]. On another hand, when compared to the sunflower and corn oil blends, the main difference observed for the profile of the ternary mixture of sunflower, corn, and canola oil lies within a couple minor fatty acids (i.e., the presence palmitoleic and tricosanoic acids; 0.15 and 1.21 g/100 g, respectively, Table 3).

Selected Fatty Acid Content in Pure Oils and With Highest Differentiation Potential

Palm oil contains approximately 50 g/100 g saturated fatty acids [i.e., palmitic acid ($C_{16:0}$) and stearic acid ($C_{18:0}$) 44 and 5 g/100 g, respectively]. Unsaturated fatty acids are oleic acid ($C_{18:1}$) and linolenic acid (ca. 40 and 10 g/100 g respectively) [18]. Commercially, some oils contain palm olein instead of palm oil in their formulations. In this regard, palm olein is the liquid fraction obtained during the fractionation of palm oil, which involves crystallization under controlled temperature and removal of crystals by filtration. Palm olein contains higher amounts of oleic (i.e., $C_{18:1}$, 39–45 g/100 g) and linoleic acids ($C_{18:2}$, 10–13 g/100 g) compared to palm oil [19].

Sunflower oil contains mostly unsaturated fatty acids (ca. 85 g/100 g) and consisting of oleic ($C_{18:1}$) and linoleic acids ($C_{18:2}$), ranging from 14–43 and 44–75 g/100 g, respectively [20].

Table 2. Quantitative fatty acid profiles obtained for each oil blend obtained from analytical standards^a

<i>Binary mixtures</i>							
<i>Palm and soybean oil</i>							
Fatty acid ^b	Mass fraction						
	50-50	60-40	70-30	80-20	90-10		
	Concentration, g/100 g						
Lauric C _{12:0}	1.21	0.90	1.29	1.64	1.49		
Tridecanoic C _{13:0}	-	-	0.12	-	-		
Myristic C _{14:0}	1.23	1.06	1.11	1.74	1.40		
Pentadecanoic C _{15:0}	-	-	0.15	-	-		
Palmitic C _{16:0}	29.48	34.36	37.46	40.83	44.40		
Palmitoleic C _{16:1}	-	-	0.32	-	0.30		
Margaroleic C _{17:1}	-	-	0.30	-	-		
Stearic C _{18:0}	4.01	4.34	3.97	4.04	4.24		
Oleic C _{18:1} (ω-9)	28.93	31.27	32.14	32.94	35.41		
Linoleic C _{18:2} (ω-6)	29.28	25.39	20.87	16.41	11.98		
γ-linolenic C _{18:3} (ω-6)	-	0.16	0.28	-	0.09		
α-linolenic C _{18:3} (ALA, ω-3)	4.18	2.23	1.55	1.68	0.68		
8,11,14-Eicosatrienoic C _{20:3} (ω-9)	0.64	-	-	-	-		
Arachidic C _{20:0}	-	-	0.18	-	-		
Behenic C _{22:0}	0.30	-	-	0.56	-		
cis-11-eicosenoic C _{20:1} (ω-9)	-	-	0.15	-	-		
Erucic C _{22:1} (ω-9)	0.35	-	-	0.17	-		
cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoic EPA C _{20:5} (ω-3)	-	0.28	-	-	-		
cis-13,16-docosadienoic C _{22:2} (ω-6)	0.20	-	-	-	-		
Lignoceric C _{24:0}	-	-	0.13	-	-		
Docosahexenoic DHA C _{22:6} (ω-3)	0.18	-	-	-	-		
<i>General profile, g/100 g^b</i>							
ΣSFA	36.23	40.66	44.41	48.81	51.53		
ΣMUFA	29.28	31.27	32.91	33.11	35.71		
ΣPUFA	34.48	28.06	22.70	18.09	12.75		
ΣPUFA/ΣSFA	0.95	0.69	0.51	0.37	0.25		
ω-6/ω-3	6.75	10.20	13.67	9.79	17.82		
<i>Soybean and sunflower oil</i>							
Fatty acid	Mass fraction						
	50-50	60-40	70-30	80-20	90-10	94-6	97-3
	Concentration, g/100 g						
Palmitic C _{16:0}	8.84	9.25	9.67	10.23	10.62	10.79	10.86
Stearic C _{18:0}	3.22	3.60	3.61	3.78	3.65	3.37	3.67
Oleic C _{18:1} (ω-9)	26.59	25.94	25.28	24.69	23.46	23.11	22.90
Linoleic C _{18:2} (ω-6)	58.19	57.18	56.63	56.02	55.30	55.89	54.86
α-Linolenic C _{18:3} (ALA, ω-3)	3.17	4.03	4.81	5.28	6.12	6.83	6.41
γ-Linolenic C _{18:3} (ω-6)	-	-	-	-	0.21	-	0.37
Arachidic C _{20:0}	-	-	-	-	0.27	-	0.43
cis-11-eicosenoic C _{20:1} (ω-9)	-	-	-	-	0.16	-	0.50
cis-11,14-eicosadienoic C _{20:2} (ω-6)	-	-	-	-	0.10	-	-
Lignoceric C _{24:0}	-	-	-	-	0.11	-	-
ΣSFA	12.06	12.85	13.28	14.01	14.65	14.16	14.96
ΣMUFA	26.59	25.94	25.28	24.69	23.62	23.11	23.40
ΣPUFA	61.36	61.21	61.44	61.30	61.73	62.72	61.64
ΣPUFA/ΣSFA	5.09	4.76	4.63	4.38	4.21	4.43	4.12
ω-6/ω-3	84.10	57.22	57.28	57.19	54.60	58.26	58.60

^aValues expressed as means. Both, standard deviation among replicates or uncertainty is not presented as invariably lies below 5.73% (using a conservative approach). ^bΣ represents the summation of SFA: Saturated Fatty Acids, MUFA: Monounsaturated Fatty Acids, and PUFA: Polyunsaturated Fatty Acids.

Like sunflower oil, corn oil is also mostly unsaturated with linoleic (C_{18:2}), oleic (C_{18:1}), and palmitic (C_{16:0}) acids with 54, 27, and 11 g/100 g [21].

Finally, soybean oil is mostly composed of stearic acid (C_{18:0}), palmitic acid (C_{16:0}), linoleic acid (C_{18:2}), linolenic

acid (C_{18:3}), oleic acid (C_{18:1}). These fatty acids in soybean oil average 4, 10, 13, 18, and 55 g/100g, respectively [22]. We suggest the reader toward the work of Dorni and coworkers [23], which show the complete profile of several pure oils as reference.

Table 2. Quantitative fatty acid profiles obtained for each oil blend obtained from analytical standards^a (Continuing)

<i>Sunflower and corn oil</i>							
Fatty acid	Mass fraction						
	50-50	60-40	70-30	80-20	90-10	94-6	97-3
Concentration, g/100 g							
Palmitic C _{16:0}	9.41	8.81	8.22	7.98	8.65	6.64	6.72
Stearic C _{18:0}	2.78	2.78	2.93	3.18	3.86	3.84	3.55
Oleic C _{18:1} (ω-9)	30.09	31.19	31.57	31.66	32.90	31.27	31.13
Linoleic C _{18:2} (ω-6)	56.70	57.22	57.28	57.19	54.60	58.26	58.60
α-Linolenic C _{18:3} (ALA, ω-3)	0.67	-	-	-	-	-	-
Arachidic C _{20:0}	0.34	-	-	-	-	-	-
ΣSFA	12.53	11.59	11.15	11.16	12.51	10.48	10.27
ΣMUFA	30.09	31.19	31.57	31.66	32.9	31.27	31.13
ΣPUFA	57.37	57.22	57.28	57.19	54.6	58.26	58.6
ΣPUFA/ΣSFA	4.58	4.94	5.14	5.12	4.36	5.56	5.71
ω-6/ω-3	18.34	14.18	11.76	10.62	9.09	8.18	8.61
<i>Ternary mixtures</i>							
Fatty acid	Mass fraction						
	45-45-10	60-30-10	70-20-10	80-10-10	85-10-5		
Concentration, g/100 g							
Lauric C _{12:0}	0.73	0.87	0.91	1.11	1.27		
Myristic C _{14:0}		0.74	1.24	1.09	1.38		
Palmitic C _{16:0}	28.55	31.12	36.06	40.08	42.51		
Stearic C _{18:0}	3.86	4.03	4.44	6.27	4.20		
Oleic C _{18:1} (ω-9)	30.98	32.59	33.05	34.27	34.89		
Linoleic C _{18:2} (ω-6)	33.60	28.05	22.08	17.18	15.40		
α-Linolenic C _{18:3} (ALA, ω-3)	1.98	1.41	2.22	0.51			
8-11,14- Eicosatrienoic C _{20:3} (ω-9)	0.30	-	-	-	-		
cis-5,8,11,14,-Eicosatetraenoic C _{20:4} (ω-6)	-	0.54	-	-	-		
Erucic C _{22:1} (ω-9)	-	0.64	-	-	-		
Docosahexenoic DHA C _{22:6} (ω-3)	-	-	-	-	0.34		
ΣSFA	33.13	36.77	42.66	48.54	49.37		
ΣMUFA	30.98	33.23	33.05	34.27	34.89		
ΣPUFA	35.88	30.00	24.29	17.18	15.74		
ΣPUFA/ΣSFA	1.08	0.82	0.57	0.35	0.32		
ω-6/ω-3	15.14	14.44	15.33	33.70	45.51		

^aValues expressed as means. Both, standard deviation among replicates or uncertainty is not presented as invariably lies below 5.73% (using a conservative approach). ^bΣ represents the summation of SFA: Saturated Fatty Acids, MUFA: Monounsaturated Fatty Acids, and PUFA: Polyunsaturated Fatty Acids.

Selected Quality Parameters of Commercial Oil Blends

Moisture was not detected in any samples (i.e., below limit of quantitation, 0.1 g/100 g). Two samples exceeded the maximum of 0.1 g/100 g free fatty acids expressed as palmitic acid with a median and maximum values for the $n = 10$ samples of 0.067 and 0.266 g/100 g, respectively. The use of free fatty acids as a shelf-life indicator has a structural reason as triglycerides are an amalgamation of glycerol and free fatty acids [24]. An increase in free fatty acids will indicate a higher oil hydrolysis rate [25]. All samples were below the five meq O₂ kg⁻¹ threshold for peroxide index with values ranging from 1.33 to 2.33 meq O₂ kg⁻¹. These values are well below those reported for oil parameters elsewhere [26, 27]. The quality of the blends justifies applying a model to quantitate the oil proportion.

Selection of Marker Fatty Acids per Oil Blend

With the data generated from the standard fatty acid profiles, the information was plotted to analyze fatty acids whose concentration changes could be fitting to use as indicators [to achieve this, different oil proportions were selected and analytes exhibiting significant ($p < 0.05$) differences were preferred] and thus propose a predictive model for the commercial samples analyzed. In this regard, in palm/soybean oil blends the fatty acids that exhibited discrimination capabilities were C_{18:2} and, to a lesser extent, C_{16:0} (Figure 2A, 2B). Interestingly most blend proportions can be estimated using similar makers (i.e., discrimination limited to C_{16:0}, C_{18:1}, and C_{18:2}; Figures 3A, 3B, 3C) even when a ternary mixture is prepared (Figure 4). In fact, under our conditions, the standard binary blend of palm and soybean oil (Figure 3A) has striking resemblance to the palm, soybean, and sunflower oils ternary blend (Figure 4) and its fatty acid input does not seem to disturb considerably the profile.

Table 3. Quantitative fatty acid profiles obtained for each oil blend obtained from the commercial samples tested

<i>Sample C (Palm olein and soybean oil 1)</i>				
Fatty acid	Retention time, min		Mean \pm SE _x , g/100 g ^a	
Myristic C _{14:0}	5.604		0.85 \pm 0.21	
Palmitic C _{16:0}	6.744		26.32 \pm 2.07	
Stearic C _{18:0}	8.663		3.93 \pm 0.46	
Oleic C _{18:1} (ω -9)	9.038		34.23 \pm 1.91	
Linoleic C _{18:2} (ω -6)	9.776		31.03 \pm 3.83	
γ -linolenic C _{18:3} (ω -6)	10.361		0.65 \pm 0.16	
α -linolenic C _{18:3} (ALA, ω -3)	10.748		3.41 \pm 0.67	
<i>General profile, g/100 g^b</i>				
Σ SFA	Σ MUFA	Σ PUFA	Σ PUFA/ Σ SFA	ω -6/ ω -3
31.10	34.10	35.10	1.13	9.29
<i>Sample D (Palm olein and soybean oil 2)</i>				
Lauric C _{12:0}	4.700		0.27 \pm 0.01	
Myristic C _{14:0}	5.584		0.75 \pm 0.02	
Palmitic C _{16:0}	6.734		31.77 \pm 0.32	
Palmitoleic C _{16:1}	7.002		0.16 \pm 0.01	
Stearic C _{18:0}	8.634		4.01 \pm 0.23	
Oleic C _{18:1} (ω -9)	9.022		39.13 \pm 0.23	
Linoleic C _{18:2} (ω -6)	9.731		22.18 \pm 0.77	
α -linolenic C _{18:3} (ALA, ω -3)	10.693		1.93 \pm 0.23	
Σ SFA	Σ MUFA	Σ PUFA	Σ PUFA/ Σ SFA	ω -6/ ω -3
36.80	39.28	24.11	0.65	11.51
<i>Sample E (Palm and soybean oil)</i>				
Myristic C _{14:0}	5.584		0.64 \pm 0.03	
Palmitic C _{16:0}	6.734		30.07 \pm 1.98	
Stearic C _{18:0}	8.634		4.14 \pm 0.17	
Oleic C _{18:1} (ω -9)	9.022		38.52 \pm 1.42	
Linoleic C _{18:2} (ω -6)	9.731		24.14 \pm 2.41	
α -linolenic C _{18:3} (ALA, ω -3)	10.693		2.92 \pm 0.71	
Σ SFA	Σ MUFA	Σ PUFA	Σ PUFA/ Σ SFA	ω -6/ ω -3
34.85	38.52	27.05	0.78	8.27
<i>Sample F (Soybean and palm olein)</i>				
Myristic C _{14:0}	5.591		0.68 \pm 0.11	
Palmitic C _{16:0}	6.738		28.48 \pm 3.19	
Stearic C _{18:0}	8.639		4.24 \pm 0.23	
Oleic C _{18:1} (ω -9)	9.028		37.28 \pm 2.85	
Linoleic C _{18:2} (ω -6)	9.734		27.04 \pm 5.46	
γ - linolenic C _{18:3} (ω -6)	10.339		0.30 \pm 0.09	
α -linolenic C _{18:3} (ALA, ω -3)	10.696		2.07 \pm 0.73	
Σ SFA	Σ MUFA	Σ PUFA	Σ PUFA/ Σ SFA	ω -6/ ω -3
33.40	37.28	29.42	0.88	13.19
<i>Sample I (Soybean and sunflower oil 1)</i>				
Palmitic C _{16:0}	6.732		10.14 \pm 0.22	
Stearic C _{18:0}	8.668		4.47 \pm 0.18	
Oleic C _{18:1} (ω -9)	9.035		23.14 \pm 0.52	
Linoleic C _{18:2} (ω -6)	9.822		55.80 \pm 0.65	
α -linolenic C _{18:3} (ALA, ω -3)	10.744		6.45 \pm 0.20	
Σ SFA	Σ MUFA	Σ PUFA	Σ PUFA/ Σ SFA	ω -6/ ω -3
14.61	23.14	62.25	4.26	8.65
<i>Sample J (Soybean and sunflower oil 2)</i>				
Palmitic C _{16:0}	6.727		10.69 \pm 0.21	
Stearic C _{18:0}	8.671		5.15 \pm 0.43	
Oleic C _{18:1} (ω -9)	9.041		23.17 \pm 1.32	
Linoleic C _{18:2} (ω -6)	9.832		54.34 \pm 1.48	
γ - linolenic C _{18:3} (ω -6)	10.339		1.16 \pm 0.40	
α -linolenic C _{18:3} (ALA, ω -3)	10.736		5.87 \pm 0.39	
Σ SFA	Σ MUFA	Σ PUFA	Σ PUFA/ Σ SFA	ω -6/ ω -3
15.85	23.17	61.37	3.87	9.45

Table 3. Quantitative fatty acid profiles obtained for each oil blend obtained from the commercial samples tested (Continuing)

<i>Sample K (Soybean and sunflower oil 3)</i>				
Palmitic C _{16:0}		6.759		10.68 ± 0.42
Stearic C _{18:0}		8.719		4.92 ± 0.13
Oleic C _{18:1} (ω-9)		9.091		24.01 ± 0.08
Linoleic C _{18:2} (ω-6)		9.891		54.20 ± 0.64
γ-linolenic C _{18:3} (ω-6)		10.305		0.58 ± 0.02
α-linolenic C _{18:3} (ALA, ω-3)		10.797		6.00 ± 0.25
ΣSFA	ΣMUFA	ΣPUFA	ΣPUFA/ΣSFA	ω-6/ω-3
15.60	24.01	60.78	3.89	9.14
<i>Sample L (Soybean and sunflower oil 4)</i>				
Myristic C _{14:0}		5.636		0.33 ± 0.02
Palmitic C _{16:0}		6.779		11.45 ± 0.55
Stearic C _{18:0}		8.722		5.23 ± 0.08
Oleic C _{18:1} (ω-9)		9.092		24.29 ± 0.37
Linoleic C _{18:2} (ω-6)		9.877		53.26 ± 1.19
γ-linolenic C _{18:3} (ω-6)		10.409		0.51 ± 0.02
α-linolenic C _{18:3} (ALA, ω-3)		10.796		5.09 ± 0.43
ΣSFA	ΣMUFA	ΣPUFA	ΣPUFA/ΣSFA	ω-6/ω-3
17.01	24.29	58.8	3.46	10.57
<i>Sample N (Sunflower and corn oil 1)</i>				
Myristic C _{14:0}		5.593		0.70 ± 0.07
Palmitic C _{16:0}		6.742		14.48 ± 10.99
Stearic C _{18:0}		8.648		3.54 ± 0.36
Oleic C _{18:1} (ω-9)		9.037		33.06 ± 2.64
Linoleic C _{18:2} (ω-6)		9.759		47.99 ± 15.11
α-linolenic C _{18:3} (ALA, ω-3)		10.704		2.06 ± 0.21
ΣSFA	ΣMUFA	ΣPUFA	ΣPUFA/ΣSFA	ω-6/ω-3
18.72	33.06	50.05	2.67	23.33
<i>Sample P (Sunflower, corn, and canola oil)</i>				
Myristic C _{14:0}		5.621		0.30 ± 0.14
Palmitic C _{16:0}		6.787		13.44 ± 6.82
Palmitoleic C _{16:1}		7.014		0.15 ± 0.08
Stearic C _{18:0}		8.729		3.96 ± 0.54
Oleic C _{18:1} (ω-9)		9.127		36.01 ± 1.38
Linoleic C _{18:2} (ω-6)		9.872		44.28 ± 8.18
α-linolenic C _{18:3} (ALA, ω-3)		10.787		1.64 ± 0.74
Tricosanoic C _{23:0}		17.861		1.21 ± 0.61
ΣSFA	ΣMUFA	ΣPUFA	ΣPUFA/ΣSFA	ω-6/ω-3
18.90	36.16	45.93	2.43	26.95

^aValues expressed as the mean and standard error of the mean (SE_x) of three independent replicates. ^bΣ represents the summation of SFA: Saturated Fatty Acids, MUFA: Monounsaturated Fatty Acids, and PUFA: Polyunsaturated Fatty Acids.

In both cases, C_{16:0} and C_{18:2} are the discriminatory fatty acids. Hence, it stands to reason that as long as sunflower oil does not exceed 10 g/100 g the ternary blend can be treated as a two oil blend. The impact of incorporating sunflower oil in higher proportions into the ternary blend should be examined further. A similar scenario can be observed with the sunflower, corn, and canola oil (Figure 3C). In this case, according to the order of ingredients, sunflower should be the predominant oil (Table 3). It would seem that some departure in behavior is observed in C_{18:2} when compared to the binary mixture of sunflower: corn oil (Figure 3D, sample P and Figure 4).

Our data clearly indicates that the graphical expression of the results can also aid in the assessment of samples suspected to be spurious. For example, it is easy to see

that the profile of the analytical mixtures for sunflower and soybean oil (Figure 3A) are almost a perfect match to the commercial sunflower and soybean oil blends (Figure 3B). In contrast, when commercial sunflower/corn oil blends are compared to the mixtures prepared with analytical standards (Figure 3D), sample M can easily be out of the trend for sunflower and corn oil blends and hence can be ruled out as an outlier ($p < 0.05$, Figure 3D). A similar scenario occurs with samples B and H (Figure 2B) that significantly ($p < 0.05$) differ from, both, the rest of the samples and the behavior of analytical mixtures (Figure 2A). These differences between pure standard oil blends and commercial blends might be explained by the differences in oil nature and refinement process. As the composition of crude oil is highly variable, depending upon the plant species, geographical location of the source and method

of oil extraction [28]. Additionally, unintentional or intentional use of cheaper (i.e., lower quality), less pure, or mislabeled raw materials can occur during the oil blending or extraction process [29, 30]. Addition of unwanted additives or mislabeling (especially if a manufacturer produce several type of oil blends in parallel) could also occur within the final product [29, 30]. This might also explain why some trace fatty acids (i.e., < 1 g/100 g) are lost when the standard mixture profile ($n = 22$ fatty acids) is compared with those

profiles obtained in commercial samples ($n = 7$ fatty acids).

Albeit, the capacity of discrimination for the individual fatty acids, in blends were sunflower oil is involved, is somewhat limited when compared, for example, to palm oil blends (Figure 3A). Interestingly, similar fatty acid makers have been previously used to distinguish among pure palm, blend palm, and packet oils [31]. As MUFA are more stable in terms of oxidation [32], considerable oil degradation would restrict the model scope as when PUFA are used as markers (e.g., $C_{18:2}$, see below).

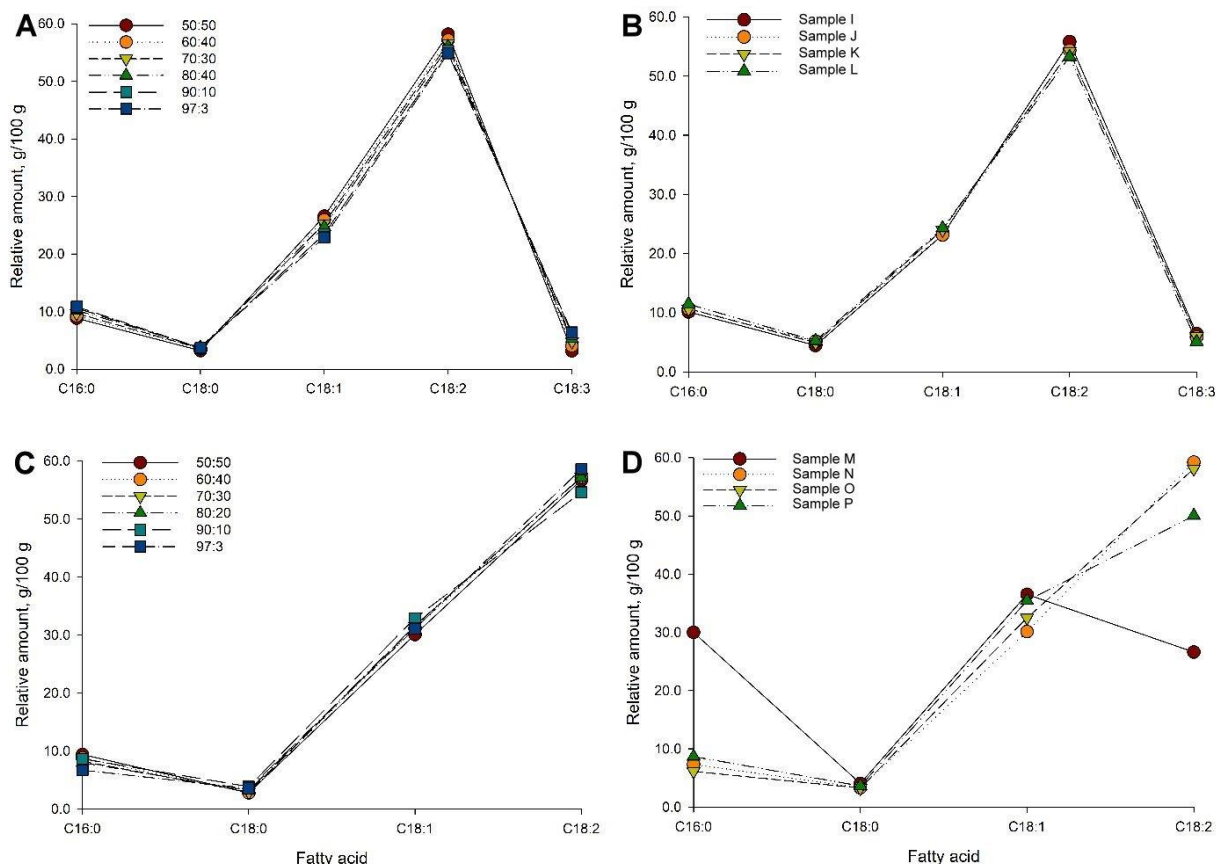


Figure 3. Fatty acid profile for A. Soybean and sunflower oil blends using pure standards. B. Commercial oil samples labeled as soybean mixtures with sunflower oil. Key: Sample I, Soybean:Sunflower oil 1; Sample J, Soybean:Sunflower oil 2, Sample K, Soybean:Sunflower oil 3, Sample L, Soybean:Sunflower oil 4. C. Sunflower and corn oil blends using pure standards. D. Commercial oil samples labeled as sunflower mixtures with corn oil and a sunflower, corn, and canola oil. Key: Sample M, Sunflower: Corn oil 1; Sample N, Sunflower: Corn oil 2, Sample O, Sunflower: Corn oil 3, Sample P, Sunflower: Corn: Canola oil.

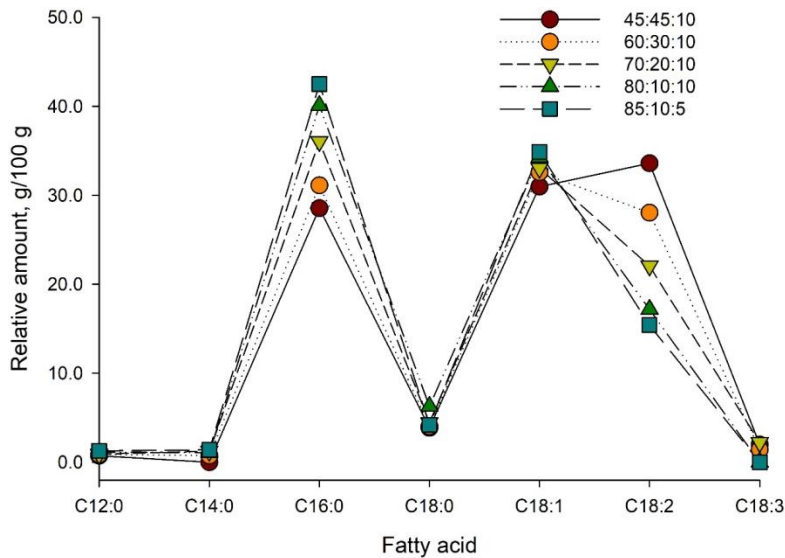


Figure 4. Fatty acid profile for ternary blends constructed with pure standards of palm, soybean, and sunflower oils.

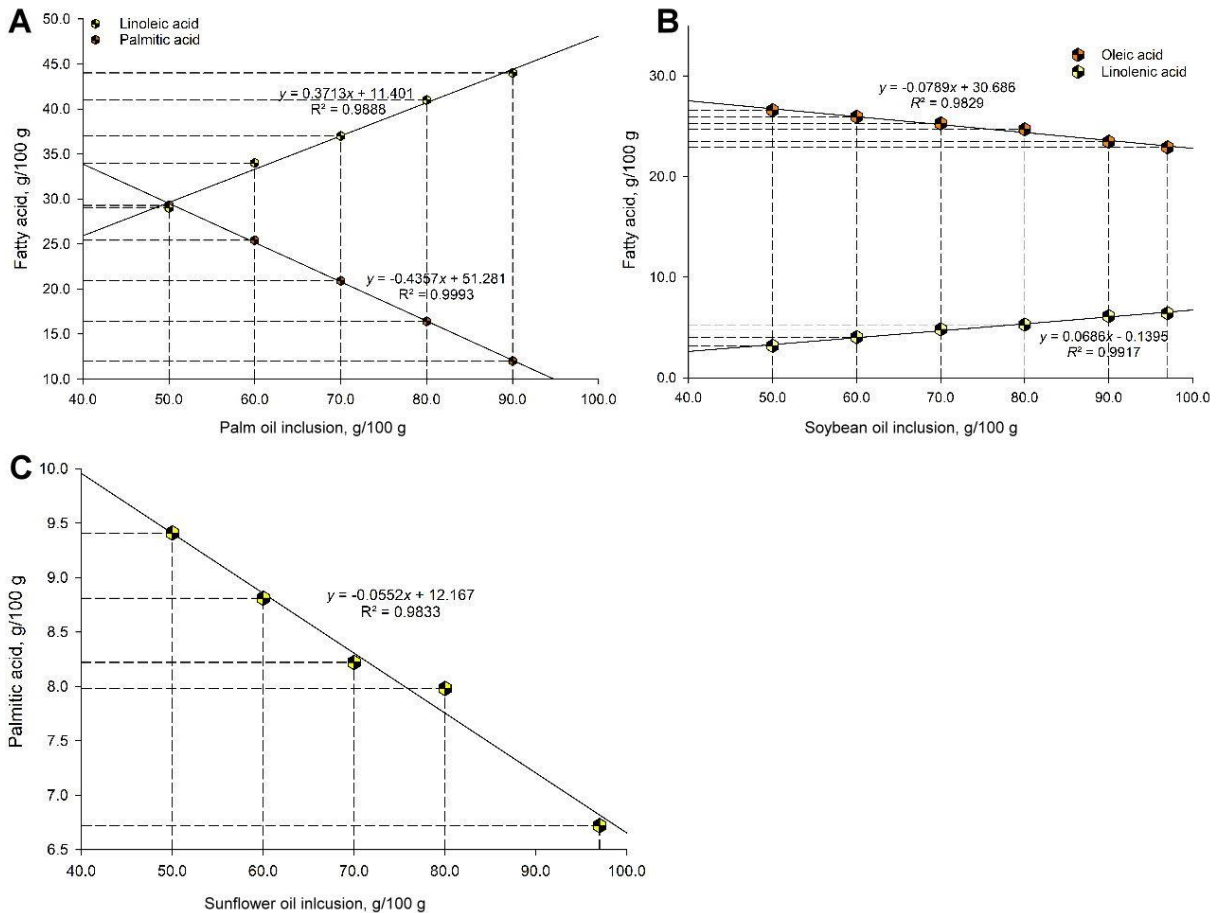


Figure 5. Calibration curves constructed based on selected fatty acids for each blend oil A. Palm: Soybean (linoleic and palmitic acids), B. Soybean: Sunflower (oleic and linolenic acids), and C. Sunflower: Corn (palmitic acid). Slopes and intercepts of the mathematical equations rendered are expressed as median values of $n = 5$ individual measurements.

Construction of Regression Model to Calculate Blend Fractions

As the mixtures were built and the fatty acid profiles were plotted, a clear trend arises, and the proportion of some fatty acids can be single out as they associate directly with the amount of oil fraction. If a relationship is evident, linear models can be constructed. All three models have been built with either negative or positive slopes that exhibited formidable goodness of fit with a coefficient of determination > 0.98 (Figure 5 A, B, and C). Three different linear equations resulted from the analysis. For palm oil-based blends the resulting equivalences were $y = (0.3713 \pm 0.0217)x + (11.401 \pm 0.68)$ for C18:2 and $(0.4357 \pm 0.0254)x + (51.281 \pm 2.90)$ for C16:0 (Figure 5A). For soybean oil-based blends another two fatty acids were used to construct the regression $y = (-0.0789 \pm 0.0046)x + (30.686 \pm 1.71)$ for C18:1 and $(0.0686 \pm 0.0040)x - (0.1395 \pm 0.0081)$ for C18:3 (Figure 5B). Finally, for sunflower oil-based blends $y = (-0.0552 \pm 0.0032)x + (12.167 \pm 0.6105)$ for C16:0, provided the best fit (Figure 5C).. With additional

data, a more robust model can be attained, and modeling using techniques such as linear discriminant analysis can be developed. Such approaches have already been applied in milk speciation [33].

It should be noted that as a food, labeling indicates that the first ingredient to be reported to be of most abundance within the formulation. Hence, an oil labeled as "Soybean, palm oil blend" should have a higher proportion of soybean than palm oil. This is true for the samples tested with no declared ratio in the label (Table 4). Additionally, those brands that report the oil proportions are well within reasonable specification (Table 4). Other compounds present in oils can be used to detect oil adulteration [34]. However, some of these indicators are found in lower concentrations and can be more challenging to assess. Thus, considering fat a macro quality parameter, the fatty acid profile is by excellence a convenient, relatively fast, and amicable tool to determine oil blend composition and thus less inclined to be altered by the oil origin or processing.

Table 4. Results obtained in the prediction of the composition of commercial vegetable oil mixtures with respect to what is declared on the label, from the fatty acid profile.

Sample	Proportion declared in label, g/100 g	Proportion calculated from profile, g/100 g ^a
C	Non declared	40-46 palm olein
I	90:10	96:4
N	97:3	98:2
F	Non declared	46-56 palm olein
J	94:6	95:5
E	Non declared	50-62 palm oil
D	Non declared	55-67 palm olein
K	94:6	85:15
L	94:6	81:19
P	Non declared	63 sunflower oil

^a: Data predicted using equations obtained above.

CONCLUSIONS

Fatty acids can be a powerful and convenient tool for oil blend discrimination and label guarantee assessment, primarily since a GC/FID system can be found in most food analysis laboratories. The proposed approach to discriminate oil blends based on a few fatty acids helps to focus on a few fatty acids instead of the full-blown profile. As edible oil blends are frequently available in worldwide markets, regulations should contemplate at least the most relevant fatty acids for edible oil blends. Similar tests should include mixtures with other common edible oils (e.g., canola, rice bran, safflower, and flaxseed). An additional number of repetitions can generate mathematical models with improved robustness, accuracy, and statistical significance. For each type of oil mixture, it is necessary to define the indicator fatty acid; which in general terms seem to hint toward the most abundant fatty acids with the most probability of being those selected for discrimination. The fatty acids that do not present significant differences at different proportions may be omitted as markers for

monitoring. The implementation or strengthening of continuous surveillance programs of oil blends available in markets could help improve edible oil quality and countermeasure potential fraud.

DECLARATION OF COMPETING INTERESTS

The authors declare no conflicts of interest.

ACKNOWLEDGMENTS

The Ministry of Economy, Industry and Commerce of Costa Rica and the Technological Support Program for Industry (PATI project 917-02) co-financed this research.

REFERENCES

- [1] Choudhury, R.A., Costa, M.C. (2012). Impact of government law on edible oil supply chain in

- Bangladesh perspective. *International Journal Supply Chain Management*, 1(1), 33-38.
- [2] Mielke, T. (2017). World Markets for vegetable oils: Status and perspectives. In *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, Edited by R.A. Meyers, Switzerland, Springer Science+Business Media LLC., 578p.
- [3] Pilorgé, E. (2020). Sunflower in the global vegetable oil system: Situation, specificities, and perspectives. *OCL*, 27, 34.
- [4] Dahimi, O., Sukri Hassan, M., Abdul Rahim, A., Abdulkarim, S.M., Mashitoh, S. (2014). Differentiation of lard from other edible fats by gas chromatography-flame ionisation detector (GC-FID) and chemometrics. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 2, 27–31.
- [5] He, M., Qin, C-X., Wang, X., Ding, N-Z. (2020). Plant unsaturated fatty acids: Biosynthesis and regulation. *Frontiers in Plant Science*, 11, 390.
- [6] Orsavova, J., Misurcova, L., Ambrozova, J.V., Vicha, R., Mleck, J. (2015). Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(6), 12871-12890.
- [7] Mihai, A.L., Negoită, M., Adascălului, A.C., Ionescu, V., Belc, N. (2018). Evaluation of fatty acids composition of some food samples by using GC-MS and NMR techniques. *Agriculture for Life Life for Agriculture Conference Proceedings* 1(1), 548-554.
- [8] Mihai, A.L., Negoită, M., Belc, N. (2019). Evaluation of fatty acid profile of oils/fats by GC/MS through two quantification approaches. *Romanian Biotechnological Letters*, 24(6), 973-985.
- [9] Rueda, A., Seiquer, I., Olalla, M., Giménez, R., Lara, L., Cabreara-Vique, C. (2014). Characterization of fatty acid profile of argan oil and other edible vegetable oils by Gas Chromatography and discriminant analysis. *Journal of Chemistry*, ID 843908.
- [10] Covaciu, F-D., Berghian-Grosan, C., Feher, I., Magdas, D.A. (2020). Edible oils differentiation based on the determination of fatty acids profile and Raman spectroscopy. *Applied Science*, 10(23), 8347.
- [11] Zhang, L., Li, P., Sun, X., Wang, X., Xu, B., Wang, X., Ma, F., Zhang, X., Ding, X. (2014). Classification and adulteration detection of vegetable oils based on fatty acid profiles. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 62(34), 8745-8751.
- [12] Manchanda, S.C. (2016). Selecting healthy edible oil in the Indian context. *Indian Heart Journal*, 68(4), 447-449.
- [13] Sun, Y., Neelakantan, N., Wu, Y., Lote-Ote, R., Pan, A., van Dam, R.M. (2015). Palm oil consumption increases LDL cholesterol compared with vegetable oils low in saturated fat in a meta-analysis of clinical trials. *The Journal of Nutrition*, 145(7), 1549-1558.
- [14] Larbi Ayisi, C., Zhao, J., Wu, J-W. (2018). Replacement of fish oil with palm oil: Effects on growth performance, innate immune response, antioxidant capacity and disease resistance in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PLoS One*, 13(4): e0196100.
- [15] Sudibyo, H., Pradana-Budhijanto, Y.S., Budhijanto, W. (2018). Bio-synthesis of Eicosapentaenoic acid (EPA) from palm oil mill effluent using anaerobic process. *Defect and Diffusion Forum*, 382, 286-291.
- [16] Almeida Schneider, V.A., Carbonera, F., Lopes, A.P., Santos, O.O., Oliveira, C., Souza, N.E., Visentainer, J.V. (2015). Effect of dietary replacement of soybean oil with different sources of gamma-linoleic acid fatty acid composition of Nile Tilapia. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92, 225-231.
- [17] EFSA, (2016). Erucic acid in feed and food. *EFSA Journal*, 14(11), e04593.
- [18] Prada, F., Ayala-Díaz, I.M., Delgado, W., Ruiz-Romero, R., Romero, H.M. (2011). Effect of fruit ripening on content and chemical composition of oil from three oil palm cultivars (*Elaeis guineensis* Jacq.) grown in Colombia. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 59(18), 10136-10142.
- [19] Siew, W.L. (2002). Palm oil. In *Vegetable Oils In Food Technology: Composition, Properties and Uses*, Edited by F.D. Gunstone, Boca Raton, FLC, CRC Press, 356p.
- [20] Akkaya, M.R. (2018). Prediction of fatty acid composition of sunflower seeds by near-infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 2318-2325.
- [21] Ayyildiz, H.F., Topkafa, M., Kara, H., Sherazi, S.T.H. (2015). Evaluation of fatty acid composition, tocols profile, and oxidative stability of some fully refined edible oils. *International Journal of Food Properties*, 18(9), 2064-2076.
- [22] Clemente, T.E., Cahoon, E.B. (2009). Soybean oil: Genetic approaches for modification of functionality and total content. *Plant Physiology*, 151(3), 1030-1040.
- [23] Dorni, C., Sharma, P., Saikia, G., Longvah, T. (2018). Fatty acid profile of edible oils and fats consumed in India. *Food Chemistry*, 238, 9-15.
- [24] Cert, A., Moreda, W., Pérez-Camino, M.C. (2000). Chromatographic analysis of minor constituents in vegetable oils. *Journal of Chromatography A*, 881(1-2), 131-148.
- [25] Mahesar, S.A., Sherazi, S.T.H., Khaskheli, A.R., Kandhro, A.A., Uddin, S. (2014). Analytical approaches for the assessment of free fatty acids in oils and fats. *Analytical Methods*, 14.
- [26] Al-Majidi, M.I.H., Bader, A.T. (2015). Physicochemical characteristics of some imported

- edible vegetable oils in Iraq. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6(5), 488-494.
- [27] Mengistie, T., Alemu, A., Mekonnen, A. (2018). Comparison of physicochemical properties of edible vegetable oils commercially available in Bahir Dar, Ethiopia. *Chemistry International*, 4(2), 130-135.
- [28] Vaisali, C., Charanyaa, S., Belur, P.D., Regupathi, I. (2015). Refining of edible oils: a critical appraisal of current and potential technologies. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(1), 13-23.
- [29] Casadei, E., Valli, E., Panni, F., Donarski, J., Gubern, J.F., Lucci, P., Conte, L., Lacoste, F., Maquet, A., Bendini, A., Toschi, T.G., 2021. Emerging trends in olive oil fraud and possible countermeasures. *Food Control*, 124, 107902.
- [30] Lim, K., Pan, K., Yu, Z., Xiao, R.H., 2020. Pattern recognition based on machine learning identifies oil adulteration and edible oil mixtures. *Nature Communications*, 11, 5353.
- [31] Kohr, Y.P., Sim, B.I., Abas, F., Lai, O.M., Wang, Y., Wang, Y., Tan, C.P., 2019. Quality profile determination of palm olein: potential markers for the detection of recycled cooking oils. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1172-1182.
- [32] Maszewska, M., Florowska, A., Dłużewska, E., Wroniak, M., Marciniak-Lukasiak, K., Żbikowska, A. (2018). Oxidative stability of selected edible oils. *Molecules*, 23(7), 1746.
- [33] Blasi, F., Lombardi, G., Damiani, P., Simonetti, M.S., Giua, L., Cossignani, L. (2013). Triacylglycerol stereospecific analysis and linear discriminant analysis for milk speciation. *Journal of Dairy Science*, 80(2), 144-151.
- [34] Azadmard-Damirchi, S., Torbati, M. (2015). Adulterations in some edible oils and fats and their detection methods. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 2, 38-44.
-
-

Kombine Kurutma Sistemiyle Kurutulan Kayısların Renk Parametreleri Üzerine Depolamanın Etkisi

Hatice Neval Özbek¹  , Aysel Elik¹ , Büşra Işınay¹ , Melis Sever¹ , Şakire Ecem Bulut¹ , Derya Koçak Yanık¹ , Ali Coşkun Dalgıç¹ , Ferruh Erdoğdu² , Fahrettin Göğüş¹ 

¹ Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

² Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara

Geliş Tarihi (Received): 23.03.2021, Kabul Tarihi (Accepted): 25.08.2021

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): haticeneval@gantep.edu.tr (H.N. Özbek)

☎ 0 342 317 2323 📠 0 342 317 2362

ÖZ

Bu çalışmada kükürtlenmemiş, iki farklı konsantrasyonda kükürtlenmiş (1kg ton⁻¹ ve 2kg ton⁻¹ kükürt) ve fıstık kabuğu ekstraktı uygulanmış kayıslar, yenilikçi kombine güneş enerjisi destekli havalı ön kurutma ve hava destekli radyo frekans kurutma sistemi kullanılarak kurutulmuştur. Elde edilen kuru kayıslar depolama sürecinde geleneksel güneş altında kurutulan kükürtlü ve kükürtsüz kayıslar ile karşılaştırılmıştır. Farklı ön işlemler ve teknolojilerle elde edilmiş altı farklı kuru kayısı için üç farklı depolama sıcaklığının (5, 20 ve 35°C) ürünlerin renk değerleri (CIELAB, L*, a* ve b*) ve renk özellikleri (kroma, hue açısı değeri, toplam renk değişimi, kahverengileşme indeksi ve esmerleşme değeri) üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, kükürtlenmiş örneklerin L*, a* ve b* değerlerinde 5 ve 20°C'de depolanmaları sırasında önemli bir değişim olmazken, 35°C'de bu değerlerde önemli bir değişim olduğunu göstermiştir. Kükürtleme ön işleminden geçmeyen ürünlerde ise bütün sıcaklık derecelerinde L*, a* ve b* değerlerinde önemli bir değişim gözlemlenmiştir. Benzer eğilim ürünlerin renk yoğunluğu ve kahverengileşme indeksi içinde gözlemlenmiştir. Ürünlerin esmerleşme reaksiyonları için uygulanan kinetik çalışmalar sonucunda bu reaksiyonların depolama sıcaklığına bağlı olduğu ve yüksek sıcaklıkta arttığı saptanmıştır. Fıstık kabuğu ekstraktı ve kükürt uygulanmış kayıslar için esmerleşme reaksiyonu hız sabiti (sıfırıncı derece) 5 ve 20°C'de sırasıyla 0.0006 ve 0.0009 hafta⁻¹ olarak bulunmuştur. Sıcaklığın 35°C'ye çıkması ile bu değer 0.1786 hafta⁻¹ olarak bulunmuş olup, bu durum bu sıcaklıkta esmerleşme reaksiyonlarının önemli oranda arttığını göstermektedir. Sonuçlar kombine kurutma sisteminde kurutmanın, güneş altında kurutmaya kıyasla düşük kükürt konsantrasyonlarında dahi 5 ve 20°C'de depolanması esnasında kuru kayısının renk kalitesine katkı sunduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kayısı, Güneş enerjisi destekli havalı kurutma, Radyo frekans kurutma, Renk

Effects of Storage on Color parameters of Apricot Dried by Combined Drying System

ABSTRACT

In this study, unsulfured, sulfured (1kg ton⁻¹ and 2kg ton⁻¹ sulfur) and extract (pistachio vera green hull extract) treated apricots were dried using an innovative combined solar-assisted air pre-drying and air-assisted radio frequency drying system. The obtained dried apricots were compared with unsulphured and sulphured apricots dried by the conventional sun drying during storage. The effects of three different storage temperatures (5, 20 and 35°C) on color values (CIELAB, L*, a* and b*) and color properties (chroma, hue angle value, total color change, browning index and browning value) of six different dried apricots obtained by different pre-processes and technologies were examined. The results showed that while there was no significant change in L*, a* and b* values of the sulphured samples during storage at 5 and 20°C, there was a significant change in these values at 35°C. A significant change was observed in

L*, a* and b* values of unsulphured products at all temperatures. A similar trend was observed for the color intensity and browning index values of the products. As a result of the kinetic studies applied for the browning reactions of the products, it was determined that these reactions were dependent on the storage temperature and increased at high temperatures. The browning reaction rate constant (zero order) for apricots treated with pistachio hull extract and sulphur was found as 0.0006 and 0.0009 weeks⁻¹ at 5 and 20°C, respectively. With the temperature increasing to 35°C, this value was found to be 0.1786 weeks⁻¹, which indicates that browning reactions increased significantly at this temperature. The results showed that drying in the combined drying system contributes to the color quality of dried apricots during storage at 5 and 20°C, even at low sulfur concentrations compared to drying under the sun.

Keywords: Apricot, solar hot air drying, Radio frequency drying, Color

GİRİŞ

FAO [1] 2018 yılı verilerine göre dünyada 3,8 milyon ton kayısı üretilmiş olup 750 bin ton ve %20 oran ile Türkiye 1. sırada yer almaktadır. Ülkemizdeki kuru kayısı üretiminin büyük bir bölümü (>% 80) Malatya ilinde yapılmaktadır ve üretilen kuru kayısının önemli bir bölümü ihracat edilmektedir [2]. Dolayısıyla kuru kayısı ihracatı ülkemiz döviz girdisi açısından önem arz etmektedir.

Renk, ürünün tüketici açısından kabul edilebilirliğini ve tercihini etkileyen önemli bir duyuşal parametredir. Kayısı, kurutma sırasında rengi en çok değişen meyvelerden biridir. Kurutma sırasında meyvede, enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları gerçekleşir ve kurutulmuş ürünün rengi büyük ölçüde etkilenir [3]. Kuru kayısının karakteristik altın sarısı rengi kuru kayısı ticaretinde çok önemli bir kalite kriteridir. Kayıslar karakteristik rengini, başta A vitamini öncüsü olan β-karoten olmak üzere karotenoid pigmentlere borçludur. Pigment konsantrasyonu dışında, kurutma koşulları ve SO₂ içeriği dahil olmak üzere kuru kayısının yüzey rengini etkileyen birçok faktör vardır [4].

Açık alana serilip güneş enerjisi kullanılarak yapılan güneşte kurutma işlemi, kayısının kurutulmasında kullanılan en yaygın ve eski yöntemdir. Geleneksel güneş altında kurutma, endüstriyel kurutma ile karşılaştırıldığında herhangi bir sermaye gerektirmeyen, basit araç gereçlerle gerçekleştirilen ve düşük enerji maliyeti ile kayısı yetiştiriciliği yapan çiftçiler tarafından tercih edilen bir yöntemdir [5,6]. Ancak, geleneksel güneşte kurutma, önemli kayıplara neden olabilecek oldukça yavaş bir işlemdir. Güneşte kurutma, iklim şartlarına bağlı olarak yapılmaktadır. Ayrıca, bu yöntemde ürün hijyenik koşullar açısından kontrol edilememekte, böcek, kuş ve benzeri zararlıların etkisine uğramakta ve ayrıca kirlenmektedir [7-9]. Dahası, kurutma işlemi için oldukça geniş alanlara ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte, enzimatik reaksiyonlar ve mikroorganizma büyümesi nedeniyle ürün kalitesinde ciddi kayıplar da meydana gelir [10]. Bu durum, ülkemizde üretilen kayısların düşük fiyattan alıcı bulmasına neden olmaktadır. Kuru kayısı ihracatında lider olan ülkemizde üretilen ürünlerin yurt dışında yüksek fiyattan alıcı bulabilmesi ve yeni pazarlara ulaşabilmesi için süreç maliyetinin düşürülmesi ve yüksek kalitede üretimin gerçekleştirilmesi önemli bir gerekliliktir.

Radyo frekans (RF) uygulaması, ürünlerde hızlı ve homojen sıcaklık dağılımı sağlaması ve enerji verimliliğinin yüksek olması sebebiyle son yıllarda gıda proseslerinde kullanımı giderek artan bir yöntemdir [11]. Geleneksel kurutma sistemlerinde ürün su oranının azalmasıyla ısı yayılım katsayısı azalmakta ve bu durum ürün içerisine kondüksiyonla ısı geçişini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, özellikle ürün yüzey sıcaklığı istenmeyen oranda yükselmekte; aynı anda su oranı azalmasına bağlı olarak kararmaya neden olan bileşenlerin konsantrasyonları artmakta ve ürün yüzeyinde esmerleşme reaksiyonları gerçekleşebilmektedir [12]. RF uygulaması ise, kurutma proseslerinde özellikle azalan kuruma hızı bölgesinde üründe etkin bir ısınma sağlayabilir ve kuruma hızı azalmasına bağlı olarak meydana gelen uzun kurutma süresi ve ürün sıcaklık artışı gibi problemlerin önüne geçebilir. Bu kapsamda RF uygulaması kullanılarak yapılan kurutma işlemlerinde endüstriyel uygulama açısından daha verimli sonuçlar alınabilir. Ancak, kurutma işlemi için doğrudan bir radyo frekans işlemi uygulaması, ürünün yüksek nem içeriği ve suyun dielektrik özelliği nedeniyle kurutulacak ürün içerisinde absorbe edilen gücün ve sıcaklık değişiminin kontrolünü zorlaştırabilir. Yüksek nem içerikli ürün doğrudan RF ısıtmaya maruz bırakıldığında çok fazla enerji absorbe eder ve bu durum ürünü kurutmaktan ziyade pişirme işleminin gerçekleşebildiği oldukça yüksek sıcaklıklara yol açabilir. Bu nedenle, güneş enerjisi destekli havalı ön kurutma ve ardından RF kurutma yönteminin kullanımı, hem nihai ürün kalitesini hem de kurutma ekonomisini iyileştirebilmesi açısından daha doğru bir yaklaşım olarak görülebilir. Ancak, literatürde meyve sebze kurutulmasına yönelik kombine güneş enerjisi destekli havalı ön kurutma ve sıcak hava destekli RF kurutma sistemini kullanan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Kuru kayısı üretiminde, uygulanan ön işlemler ve kurutma tekniğinin yanı sıra depolama koşulları da ürünün son kalitesi ve buna bağlı olarak satış değeri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Kuru kayıslar, kurutma işleminden sonra tüketiciye ulaşıncaya kadarki dönemde ortam koşullarının etkisiyle yavaş veya hızlı kalite kayıplarına maruz kalır. Uzun depolama dönemlerinde, bu kayıp daha büyük boyutlara ulaşır. Kurutulmuş meyvelerin renk değerleri ve özellikleri depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak ciddi biçimde etkilenmektedir. Depolama sürecinde ortam koşulları kontrol altında tutulursa, bu kayıplar azaltılabilir [13].

Bu çalışmanın amacı üç farklı depolama sıcaklığının (5, 20 ve 35°C) farklı ön işlem ve kurutma yöntemleriyle (geleneksel güneş enerjisiyle kurutma ve kombine

güneş enerjisi destekli geleneksel kurutma ve sıcak hava destekli RF kurutma sistemi) elde edilmiş kuru kayısıların renk parametreleri üzerine etkisini incelemektedir.

MATERYAL ve METOT

Materyal

Malatya Kayısı Araştırma Enstitüsü bahçesinden toplanan taze kayısılar (*Prunus armenica* L., Hacıhaliloğlu çeşidi) klimalı araçlarda taşınarak aynı gün plastik kasalarda Gaziantep Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde soğuk hava depolarına yerleştirilmiştir. Olgunlaşmamış, aşırı olgunlaşmış, çürümüş ya da yaralı olan kayısılar ayıklandıktan sonra aynı boyutlarda ve renkte kayısılar seçilmiş ve kurutma deneylerinde kullanılabilecek kadar en fazla 2 gün 3°C'de saklanmıştır. Analizlerde kullanılan elemental kükürt ($\geq 99\%$ saflıkta), formaldehit, asetik asit, kurşun asetat ve etanol Sigma-Aldrich (ABD) firmasından temin edilmiştir.

Metot

Kükürtleme ve Ekstrakt Uygulanması

İki gruba ayrılan kayısılar, kükürt kabini içinde 1kg/ton ve 2kg/ton kükürt yakılarak 12 saat boyunca ve oda sıcaklığında (25°C) kükürt dumanına maruz bırakılmıştır. Kükürtlenen kayısılar doğrudan kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Kayısılar, kayısı/çözelti oranı 1/3 (ağırlık/hacim) olacak şekilde oda sıcaklığında (25°C) %1.75 (ağırlık/ağırlık) derişimdeki fıstık kabuğu ekstraktı solüsyonuna 60 dakika süreyle daldırılmıştır. Ekstrakt solüsyonuna daldırılan kayısıların yüzey suyu 5 dakika elekte bekletilerek süzdürüldükten sonra kükürtleme işlemine tabi tutulmuştur. Kullanılan ekstrakt fıstık kabuklarının etanol/su (1/1 hacimce) ile ekstraksiyonu ve elde edilen ekstraktın etil asetat kullanılarak sıvı-sıvı ekstraksiyonu ile saflaştırılmasıyla elde edilmiştir. Ekstraktlı ürün tek konsantrasyonda (1 kg elemental kükürt ton⁻¹) yukarıda belirtilen metot uygulanarak kükürtlenmiştir. Ekstrakt ve kükürtleme işlemine tabi tutulan kayısılar doğrudan kurutulmuştur.

Geleneksel Güneş Enerjisi ile Kurutma

Kükürtlü (15 kg) ve kükürtsüz (Natürel) (15 kg) kayısılar örme çelik tepsilere yerleştirildikten sonra Gaziantep Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü terasında yerden 3 cm yükseklikte güneş ışınları altında kurumaya bırakılmıştır. Kuruma süresince gündüz hava sıcaklığı en yüksek 40°C ve gece hava sıcaklığı en düşük 21°C idi. Havanın bağıl nemi ise %20 ile %48 arasında değişkenlik göstermiştir. Güneş ışınım şiddeti ise ağustos ayı için günlük 5.92 kWh/m²'dir. Kurumanın 3. günü sonrasında çekirdekleri çıkarılan kayısılar tekrar bütün olarak tepsilere yerleştirilmiştir ve ürün su içeriği

yaş bazda (yb) %20-25 aralığına gelene kadar (6 gün) kurutulmaya devam edilmiştir. Geleneksel güneş enerjisiyle kurutulan kayısılar kontrol ürünler olarak kullanılmıştır.

Kombine güneş enerjisi destekli havalı ön kurutma ve radyo frekans kurutma işlemi

Güneş enerji destekli havalı ön kurutma işlemi kabin tipi kurutma sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjili kurutma sistemi ayrıntılı olarak Işınay (2020) tarafından anlatılmıştır [14]. Her bir kurutma işlemi için 15 kg kayısı (her katta 5 kg olmak üzere 3 kat) paslanmaz çelik sepetlere yerleştirilerek 63.5°C'de 895 dakika süreyle kurutma işlemine tabi tutulmuştur [14]. Tüm işlemlerde hava hızı 5.5-6 m/s aralığına ayarlanmıştır.

Hava destekli RF kurutma, güneş destekli havalı ön kurutmayı takiben gerçekleştirilmiştir. Güneş destekli havalı kurutma sisteminde kurutulan 15 kg kayısının çekirdekleri çıkarıldıktan sonra hava destekli RF kurutma sisteminde kurutma işlemine devam edilmiştir. Hava destekli RF kurutma işlemi 77 mm elektrot yüksekliğinde ve 385 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir [14]. Uygulanan kombine kurutma işleminin ardından kayısıların nem içeriği %20-25 (yb) aralığına düşürülmüştür.

Paketleme ve Depolama

Kükürtlenmemiş, iki farklı konsantrasyonda kükürtlenmiş (1kg/ton ve 2kg/ton kükürt) ve fıstık kabuğu ekstraktı (%1.75 derişimde hazırlanmış) ve kükürt uygulanmış (1kg/ton) güneş enerjisi destekli hava ve hava destekli RF sisteminde üretilen kuru kayısılarından birer parti, kontrol grubu olarak ise aynı hammaddeden temin edilen ve güneş altında geleneksel yollarla kurutulan kükürtlü (2kg/ton) ve kükürtsüz kayısılarından birer parti olmak üzere altı farklı ürün için depolama şartları çalışılmıştır. Paketlenip depolanan ürünlerin tanımlaması Tablo 1'de yapılmıştır.

Paketleme öncesi her bir ürünün (Tablo 1) kendi içerisindeki numuneler arasında muhtemel nem farklılıklarının giderilmesi için desikatörlerde saklanarak su dengesi sağlanmıştır. Ürünlerin paketlenmesinde malzeme olarak endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan polietilen (et kalınlığı:70 µ) torbalar kullanılmıştır. Her bir üründen toplamda 12 kg olmak üzere kayısılar öncelikle 0.5'er kilogramlık polietilen paketlere doldurulmuş, ağızları normal atmosfer havasıyla ısı yapıştırma ile kapatıldıktan sonra karton kutulara yerleştirilmiştir. Paketlenen ürünler 5±1°C'de buzdolabı ile 20±1 ve 30±1°C sağlayan soğutmalı etüvlerde depolanmıştır. Saklanan kuru kayısılarından ilk etapta 15 günde bir, 2. ayın sonrasında her iki ayda bir kez olmak üzere numuneler alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Depolama için kurutulmuş ürünler

Ürün kodu	Ürün detayı	Kükürtleme Düzeyi
GDH-RF		-
GDH-RF/1S	Güneş destekli havalı kurutmaya takiben radyo frekans kurutma uygulanan kayısılar	1 kg/ton
GDH-RF/2S		2 kg/ton
GDH-RF/EX+1S	%1.75 fıstık kabuğu ekstraktı uygulanarak güneş destekli havalı kurutmaya takiben radyo frekans kurutma uygulanan kayısılar	1kg/ton
GK/GK	Geleneksel güneş altında kurutulmuş kayısılar	-
GK/2S		2 kg/ton

Renk Parametreleri

Kayısı örneklerin aydınlık değeri (L^*), kırmızılık indeksi (a^*) ve sarılık indeksi (b^*) değerleri CIE Lab sisteminde HunterLab ColorFlex (A60-1010-615 Model Colorimeter, Hunter Lab, Reston, Virginia, ABD) cihazı kullanılarak meyvenin her iki yüzeyinden ölçüm almak suretiyle belirlenmiştir. Cihaz her seferinde beyaz ve siyah seramik plakalar ($L_0=93.01$, $a_0=-1.11$ ve $b_0=1.30$) kullanılarak standardize edilmiştir. Ölçümler gün ışığı modunda (Daylight Color D65/10 *) gerçekleştirilmiştir.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$h^* = \arctan(b^*/a^*) \quad (2)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

$$BI = [100(x - 0.31)]/0.17x = (a^* + 1.75L^*)/(5.645L^* + a^* - 0.3012b^*) \quad (4)$$

Esmerleşme Tayini

Kuru kayısılarda esmerleşme Coşkun ve ark. [15] kullandıkları metot kullanılarak belirlenmiştir. Suda çözünen kahverengileşme pigmentleri, 10 mL/L formaldehit içeren 20 mL/L asetik asit kullanılarak ekstrakt edilmiştir. Karışıklığa neden olmaması için karotenoid pigmentleri kurşun asetat ve etanol ile uzaklaştırılmıştır. Formaldehit SO_2 'nin uzaklaştırılması için kullanılmıştır. Çökeltinin üstünde kalan fazdan numune alınarak 420 nm ve 600 nm de UV-Vis Spektrofotometre (Optima SP-3000 nano UV-Vis Spektrofotometre, OPTIMA Tokyo, Japonya) kullanılarak absorbans okuması yapılmıştır. 600 nm'de okunan absorbans değeri 420 nm'de okunan değerden çıkartılarak esmerleşme hesaplanmıştır. Sonuç 420 nm absorbans/g kuru madde miktarı olarak verilmiştir.

Kinetik Modelleme

Depolama süresince; kuru kayısılardaki esmerleşme değerinin kinetiği doğrusal regresyon yöntemi ile determinasyon katsayısı kullanılarak hesaplanmıştır. Reaksiyonun sıcaklık derecesinden etkilenmesi, Arrhenius eşitliği kullanılarak hesaplanan aktivasyon enerjisi (E_a) ile belirlenmiştir.

İstatistiksel Analiz

Tüm deneysel uygulamalar 3 tekrarlı yapılmış ve sonuçlar, ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. Elde edilen tüm veriler SPSS 22 (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) istatistiksel paket programı kullanılarak varyans

Kayısı numunelerinden rasgele seçilen 10 tane kayısı alınarak ölçüm yapılmış ve ortalaması sonuç olarak kaydedilmiştir. L^* , a^* ve b^* değerleri kullanılarak C^* (chroma), h^* (hue angle) değeri, toplam renk değişimi (ΔE) ve kahverengileşme indeksi (BI) sırasıyla (1), (2), (3) ve (4) eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

Eşitlik 3'te belirtilen ΔL^* , Δa^* ve Δb^* , değerleri taze ve kuru kayısılar için belirlenen L^* , a^* ve b^* arasındaki farkı ifade etmektedir.

analizi (ANOVA) ve Duncan çoklu regresyon analizi ile % 95 güven aralığında test edilmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Gıda ürünlerinin rengi, ürünün görünümünü ve tüketicinin kabulünü doğrudan etkileyen en önemli kalite parametrelerinden biridir. Renk değişkenleri, meyve ve sebzelerde bulunan bazı bileşenlerin türleri ve miktarları, pigment kaybı ve meyve ve sebzelerin termal prosesi sırasında meydana gelen enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlarla ilişkilendirilmiştir [16-17]. Bu bağlamda farklı kurutma özelliklerine sahip kuru kayısılar için renk değerleri (L^* , a^* , b^*) ve renk özellikleri (c^* , h^* , ΔE , BI, esmerleşme değeri) farklı depolama sıcaklıklarında, depolama öncesi ve depolama son süreci için Tablo 2'de verilmiştir. Depolama sıcaklığı 5°C'de ürünlerin L^* , a^* ve b^* değerlerinde, sırasıyla 1.0-8.1, 1.0-6.4 ve 1.0-11.2 birim azalma meydana geldiği görülmektedir. L^* , a^* ve b^* değerlerindeki azalmanın 20°C'de depolanan ürünlerde sırasıyla 1.3-11.0, 1.3-9.5 ve 1.3-15.4 birim olduğu görülmektedir. Depolama sıcaklığının 35°C olduğu ürünlerin L^* , a^* ve b^* değerlerinde ise sırasıyla, 13.3-23.8, 8.8-17.5 ve 17.4-30.8 birim azalma meydana geldiği görülmektedir. Kükürtleme işleminden geçen örneklerin 5 ve 20°C'de depolanmaları sırasında L^* , a^* ve b^* değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir değişim gözlemlenmemiştir ($p>0.05$). Bu ürünler için depolama sıcaklığının 35°C olması, L^* , a^* ve b^* değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir değişime neden olmuştur ($p<0.05$). Kükürtleme ön işleminden geçmeyen ürünlerde ise bütün sıcaklık derecelerinde L^* , a^* ve b^* değerlerinde

istatistiksel olarak önemli bir değişim gözlenmiştir ($p < 0.05$).

Türkyılmaz ve ark. [13] farklı konsantrasyonlarda kükürtleyerek güneş altında kuruttukları kayısıların 5, 10, 20 ve 30°C'de 351 gün boyunca depolanmaları sonucunda renk değerlerinde meydana gelen değişimi incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlar kükürt konsantrasyonunun artmasıyla ürünlerin renginin daha açık olduğunu ve numunelerde kurutma ve depolama sırasında istenmeyen kahverengi renk oluşumunun önlenmesinde SO₂ konsantrasyonunun önemli olduğunu göstermiştir. Ayrıca depolama sıcaklığının artmasıyla

ürünlerin renginin kahverengiye döndüğü ve kuru kayısıların karakteristik altın sarısı renklerini korumak için düşük depolama sıcaklıklarının (20°C'den düşük) tercih edilmesi gerektiği rapor edilmiştir. Öztürk ve ark. [18] tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışma da ise kükürtlenerek normal koşullarda 1 yıl boyunca depolanan ürünlerin renk parametreleri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları depolama sırasında en önemli değişikliğin b* ve a*/b* renk değerlerinde olduğunu göstermiştir. Kuru kayılarda SO₂ kaybı nedeniyle meyvenin sarı rengini belirten b* değerinin 21.14'ten 17.34'e düştüğü ve meyve renginin kırmızı veya kahverengiye dönüşme eğilimi gösterdiği belirtilmiştir.

Tablo 2. Kurutulmuş kayıslarda renk değerleri ve renk özelliklerinin depolama sonunda değişimi

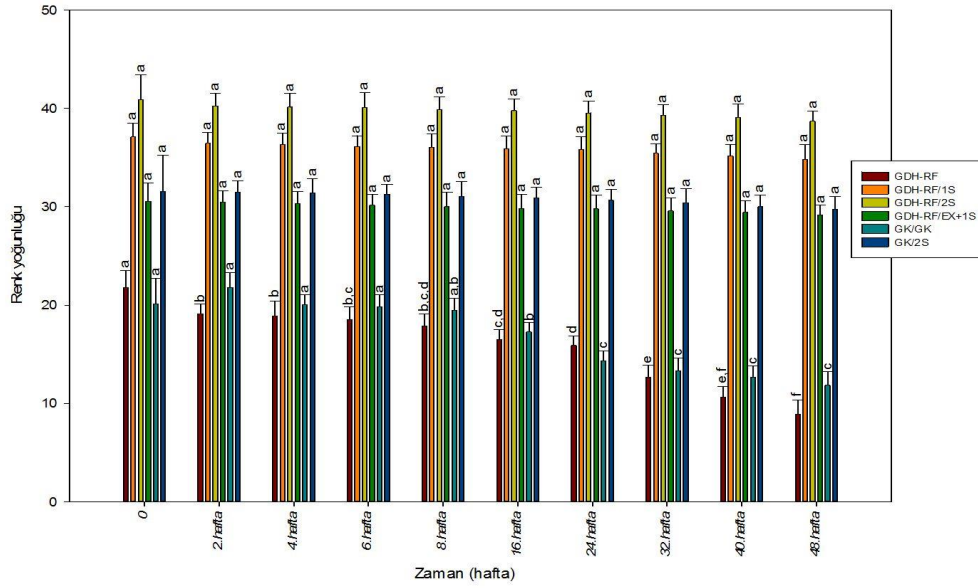
Ürün	Zaman (hafta)	Sıcaklık (°C)	L*	a*	b*	c*	h°	ΔE	BI	Esmerleşme değerleri (A ₄₂₀ /g kuru madde)
GDH/RF	0		32.5±2.7	11.5±1.1	18.5±2.5	21.8±1.7	58.1±3.5	0	106.5	0.69±0.02
	48	5	24.4±1.5	5.1±0.7	7.3±1.2	8.9±1.4	55.1±1.3	15.2	50.3	3.85±0.01
		20	21.5±1.0	2.0±1.0	3.1±1.0	3.7±1.2	57.2±1.5	21.2	22.1	4.22±0.02
		35	16.5±1.2	0.1±1.0	0.4±1.0	0.4±1.0	75.9±1.1	26.7	2.8	11.84±0.04
GDH-RF/1S	0		45.0±1.3	15.4±1.3	33.8±1.9	37.1±1.4	65.5±1.8	0	149.8	0.24±0.01
	48	5	43.4±1.3	13.9±1.0	31.9±1.0	34.8±1.5	66.5±1.3	2.9	142.3	0.27±0.01
		20	43.2±1.5	13.6±1.4	31.7±1.8	34.5±1.0	66.8±1.5	3.3	141.6	0.29±0.01
		35	21.8±1.2	0.8±0.4	3.0±0.7	3.1±1.2	75.1±1.0	41.2	17.2	8.61±0.03
GDH-RF/2S	0		45.7±1.9	18.3±1.4	36.6±2.7	40.9±2.5	63.4±2.5	0	165.8	0.22±0.02
	48	5	43.9±1.2	16.7±1.3	34.9±1.5	38.7±1.0	64.4±1.1	2.9	162.8	0.25±0.01
		20	43.7±1.1	16.4±1.7	34.7±1.2	38.4±1.2	64.7±1.4	3.3	162.2	0.27±0.01
		35	21.9±0.6	1.0±0.1	3.8±0.3	3.9±1.1	75.3±1.2	44.1	22.0	8.32±0.02
GDHRF/EX+1S	0		36.9±0.8	18.1±1.3	24.6±1.9	30.5±1.9	53.7±2.5	0	136.9	0.22±0.01
	48	5	35.9±1.2	17.1±0.9	23.6±1.0	29.1±1.0	54.1±1.0	1.7	133.9	0.25±0.01
		20	35.6±1.1	16.8±1.2	23.3±1.2	28.7±1.3	54.2±1.1	2.3	132.9	0.26±0.01
		35	21.9±0.6	0.6±0.2	2.4±0.3	2.5±1.0	75.9±1.3	32.0	13.4	8.17±0.02
GK/GK	0		33.4±1.7	9.2±1.6	17.9±2.4	20.1±2.6	62.8±2.6	0	94.3	0.75±0.02
	48	5	27.3±1.4	6.2±0.9	10.1±1.0	11.9±1.4	58.5±1.3	10.3	62.1	3.69±0.02
		20	26.3±1.3	4.4±0.8	7.8±1.1	8.9±1.5	60.6±1.2	13.2	46.9	4.16±0.02
		35	20.1±1.3	0.4±0.6	0.5±1.2	0.6±1.3	51.3±1.0	23.6	3.9	9.32±0.04
GK/2S	0		38.1±1.7	15.8±1.9	27.3±1.4	31.5±3.7	59.9±2.9	0	144.0	0.29±0.01
	48	5	36.6±1.4	14.6±1.2	25.9±1.2	29.7±1.3	60.6±1.5	2.4	140.7	0.33±0.02
		20	36.4±1.5	14.3±1.2	25.7±1.2	29.4±1.4	60.9±1.1	2.8	139.9	0.35±0.02
		35	20.5±1.0	0.9±0.3	0.5±1.1	1.0±1.0	29.1±1.2	35.4	5.6	9.27±0.03

5°C'de depolanan ürünlerin c* değerlerinde, 1.4-12.9 birim azalma meydana gelirken h° değerlerinde, GDH-RF ve GK/GK ürünü haricinde 0.4-1.0 birim artış meydana gelmiştir. GDH-RF ve GK/GK ürünlerinin h° değerleri ise sırasıyla 3.0 ve 4.3 birimlik azalma göstermiştir. 20°C'de depolanan ürünlerin c* değerlerinde, 1.8-18.1 birim azalma meydana gelirken h° değerlerinde, GDH-RF ve GK/GK ürünleri haricinde 0.5-1.3 birim artış meydana gelmiştir. GDH-RF ve GK/GK ürünleri, sırasıyla 0.9 ve 2.2 birimlik azalma göstermiştir. h° değerinin 90 dereceye yaklaşması sarı renk karakterinin göstergesi olup, kükürtsüz ürünlerde uygulanan 5 ve 20°C'de depolama sıcaklıklarında sarılığın kaybolduğu, ancak kükürtlü ürünlerde daha

belirginleştiği gözlenmiştir. Sen vd [19] farklı konsantrasyonlarda (1,250, 2,000 ve 3,500 mg/kg) kükürtleyerek kuruttukları kayısıları 20 °C'de 18 ay depolamışlardır. h° değerlerinin düşük ve orta konsantrasyonda SO₂ ile muamele edilen kayıslarda 12 ay sonunda önemli ölçüde azalırken, yüksek konsantrasyonda kükürtlenen ürünlerde belirgin bir azalmanın olmadığını belirtmişlerdir. 35°C'de depolanan ürünlerin c* değerlerinde, 19.5-37.0 birim azalma meydana gelirken h° değerlerinde, GK/GK ve GK/2S ürünleri haricinde 9.6-22.2 birim artış meydana gelmiştir. GK/GK ve GK/2S ürünlerinin h° değerlerinde ise sırasıyla 11.5 ve 30.8 birim azalış gözlenmiştir.

Şekil 1, 2 ve 3 sırasıyla 5, 20 ve 35°C'de depolama şartlarının farklı ürünler için zamana bağlı renk yoğunluğu (c^*) değişimlerini göstermektedir. c^* , renkliliğin kantitatif tanımı olarak ifade edilmektedir. c^* değerinin artması daha yoğun bir rengin ifadesidir [20]. Ayrıca, toplam renk değişimi ve c^* çilekte saklama esnasında sıcaklığa bağlı olarak renk kaybının belirlenmesinde en hassas renk parametreleri olarak tanımlanmıştır [21]. Kükürtlü ürünlerde renk yoğunlukları 5 ve 20°C'de önemli bir değişim göstermemiştir ($p>0.05$). Ancak kükürtsüz ürünlerin renk yoğunluğunda 5 ve 20°C'de önemli bir değişim gözlemlenmiş olup ($p<0.05$), bu değişim 5°C'de depolamada dahi belirgindir. Depolama sıcaklığının 35°C olması durumunda tüm ürünlerde belirgin bir renk yoğunluğu kaybı gözlemlenmiştir ($p<0.05$). Ekstrakt ve kükürt

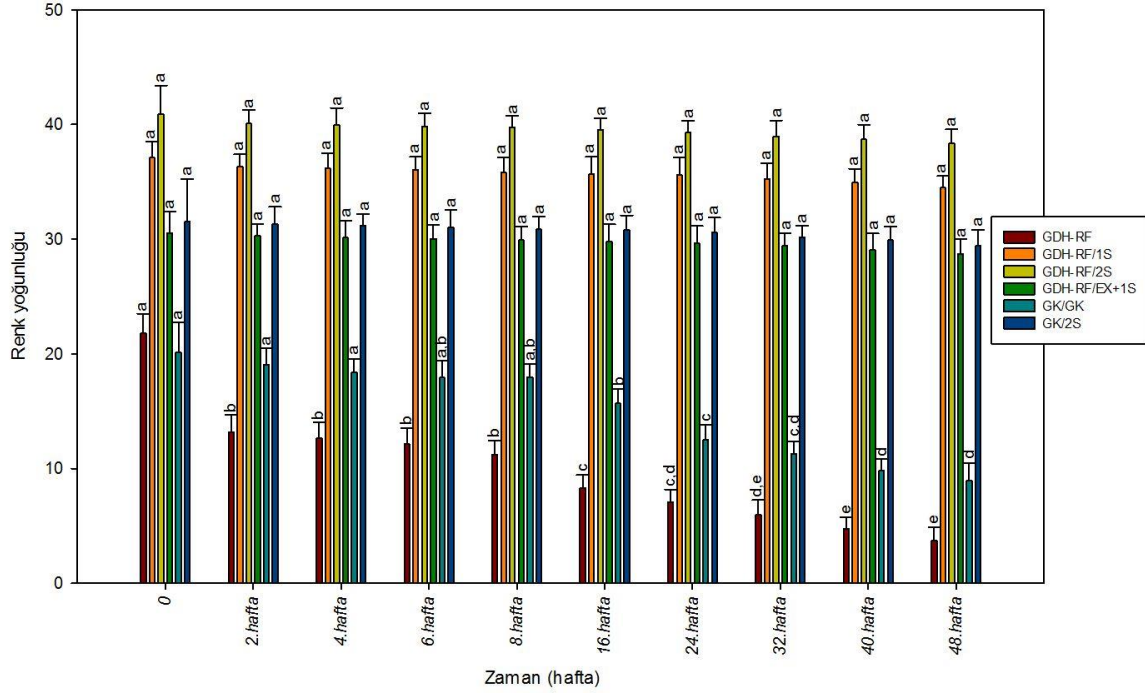
uygulanmış ürünlerin ilk değerleri düşük olmakla birlikte depolama esnasında yüksek depolama koşullarında dahi 8.haftaya kadar renk yoğunluğu özelliklerini kısmen koruduğu görülmektedir. GDH-RF/2S ürünüde depolama öncesi GK/2S'e kıyasla belirgin şekilde yüksek olan renk yoğunluğu 8. haftada GK/2S'in depolama öncesi seviyesine düşmüştür. Buradan görüleceği üzere GDH-RF kurutma sistemi ile kurutulan ürünler daha iyi renk değerlerine sahip olmanın yanı sıra depolama esnasında da daha uzun süreli renklerini koruma özelliği göstermektedirler. Bu durumun GDH-RF sisteminde kurutulan ürünlerde daha fazla kalıntı kükürt kalması ve kurutma sonrası üründe homojen kükürt dağılımının sağlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



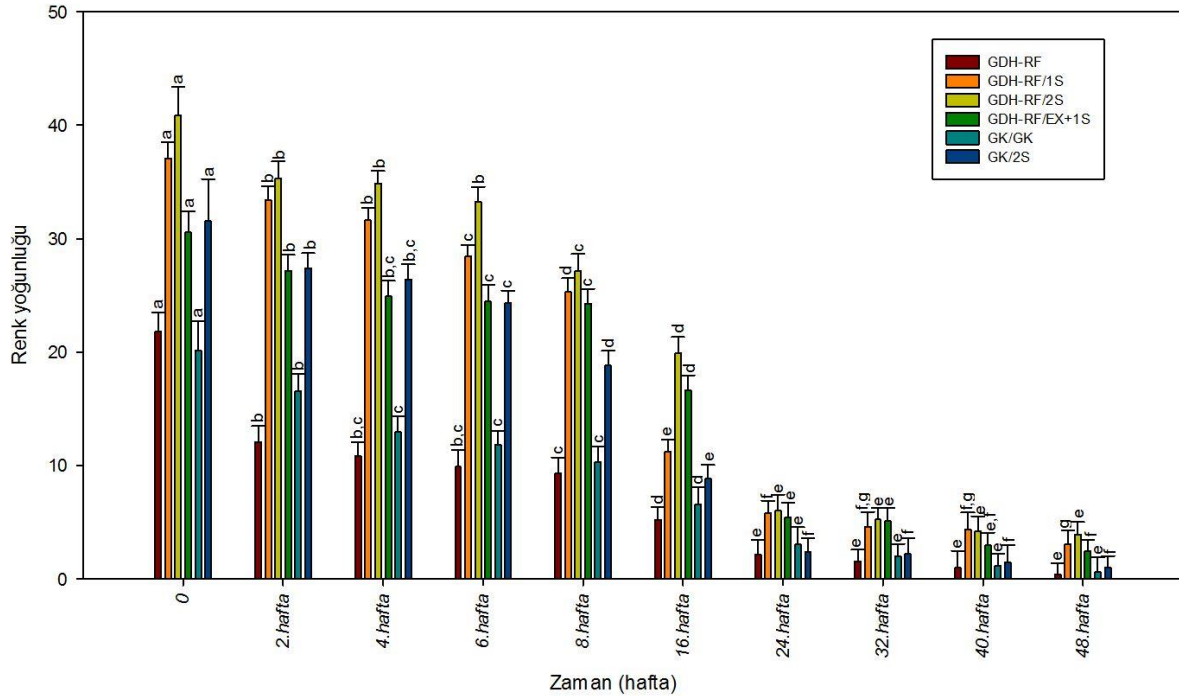
Şekil 1. 5°C 'de depolanan kayısıların depolama süresince renk yoğunluğundaki değişim. Her ürün için, farklı harflere sahip sütunlar istatistiksel olarak farklılıkları göstermektedir ($p<0.05$).

Kükürtlü olan GDH-RF/1S, GDH-RF/2S, GDH-RF/EX+1S VE GK/2S ürünleri 5°C ve 20°C'de 48 hafta depolandığında BI değerlerinde başlangıçtaki değerleri ile kıyaslandığında hafif bir azalma olurken, 35°C'de depolandığında ise önemli bir düşüş görülmüştür. Özellikle düşük kükürt konsantrasyonları uygulanan radyo frekans kurutma sisteminde kurutulmuş GDH-RF/1S, GDH-RF/EX+1S ürünlerinde BI değerlerinin, güneşte kurutulan ve daha yüksek kükürt uygulanan örneklerle kıyasla tüm depolama şartlarında benzer olduğu görülmektedir. Yukarıda belirtildiği üzere güneş kurutma işleminde kükürt kaybının daha fazla olması depolama sürecinde ürünün renk kalitesine olumsuz olarak yansımaktadır. Sıcaklığın yüksek olduğu durumlarda bu fark daha belirgindir ve radyo frekans ile kurutulan düşük kükürt konsantrasyonlu ürünler depolama boyunca renklerini daha iyi muhafaza etmektedirler. Kükürtlenmemiş olan GDH-RF ve GK/GK ürünleri ise 5°C ve 20°C'de kükürtlenmiş ürünlere kıyasla belirgin bir kahverengileşme göstermişlerdir. Bu değişim 35°C'de çok daha belirgindir. Coşkun ve ark. [15] kükürtlenmiş kayıslarda 5 ve 20°C depolamanın ürün renk değerleri üzerinde önemli seviyede bir etki göstermediğini ancak 35°C'de belirgin bir

kahverengileşme olduğunu rapor etmişlerdir. Bu sonuçlar, her ne kadar kükürt oranları ve kurutma işlemleri farklılık gösterse de bu çalışmada bulunan sonuçlara benzerlik göstermektedirler. Depolama sürecinde ürünlerin BI değerleri düşüş gösterirken ΔE değerleri artış göstermektedir. Bu renk davranışı daha önceki çalışmalarda da rapor edilmiştir [22-23]. Depolama öncesi BI değerleri daha yüksek olan ürünlerde, özellikle 35°C'de depolama sonunda daha yüksek bir ΔE değerine ulaşılmıştır. Yüksek kükürtlü ve kuruma sonrası renk değerini koruyan ürün olan GDH-RF/2S' te bu durum çok belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. Ayrıca 5 ve 20°C'de depolamaya kıyasla 35°C'de depolama sonunda ΔE değerlerinde artış gözlemlenmiş olup, bu artış kükürtlenmiş ürünlerde daha belirgindir. Keşelç ve ark. [24] kükürtlenerek kurutulan ve 3 ve 25°C'de depolanan ürünlerin 6 ay boyunca ΔE değerlerinde meydana gelen değişimi incelemiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde, yazarlar ΔE değerinde en yüksek değişimin 25°C'de saklanan numunelerde olduğunu, 3°C'de saklanan numunelerin renginin ise depolama sırasında önemli ölçüde değişmediğini rapor etmişlerdir.



Şekil 2. 20°C 'de depolanan kayısıların depolama süresince renk yoğunluğundaki değişim Her ürün için, farklı harflere sahip sütunlar istatistiksel olarak farklılıkları göstermektedir ($p < 0.05$).



Şekil 3. 35°C 'de depolanan kayısıların depolama süresince renk yoğunluğundaki değişim Her ürün için, farklı harflere sahip sütunlar istatistiksel olarak farklılıkları göstermektedir ($p < 0.05$).

Farklı depolama sıcaklıklarında ürünlerin esmerleşme değerleri Tablo 2'de verilmiş olup, bu değerler ile BI değerleri arasında ters bir ilişki olduğu görülmüştür. Benzer bir durum Alagöz ve ark. [23] tarafından gerçekleştirilen çalışmada da rapor edilmiştir. Kükürtlü ürünler (GDH-RF/1S, GDH-RF/2S, GDH-RF/EX+1S ve GK/2S) 5°C'de depolandığında neredeyse başlangıç esmerleşme değerini korurken, 20°C'de bu değer sınırlı miktarda bir değişim göstermiştir. 35°C'de ise ürünlerin esmerleşme değerleri hızlı bir artış göstermiştir.

Kükürtsüz ürünlerde (GDH-RF ve GK/GK) ise tüm depolama sıcaklıklarında esmerleşme değerlerinde bir artış olduğu saptanmış olup bu artış 35°C'de depolanan ürünlerde en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Kayısların kurutulması ve depolanması sırasında enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar ürünün esmerleşmesine neden olmaktadır. Kuru kayıslarda arzu edilen karakteristik sarı renk ancak kükürtleme işlemi ile sağlanabilmektedir. Uygulanan kükürtleme işleminin meyve ve sebzelerde hem enzimatik hem de enzimatik

olmayan esmerleşme reaksiyonlarını önlediği bilinmektedir [25]. Bu çalışmadaki sonuçlara benzer bulgular Alagöz ve ark. [23] tarafından da rapor edilmiştir. Yazarlar 4 ve 10°C'de depolanan kükürtsüz ve potasyum sorbat uygulanmış kayıslarda önemli bir esmerleşme tespit edememiş, ancak 30°C'de esmerleşmenin önemli seviyede olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca potasyum sorbat uygulanmış kayıslarda esmerleşmenin uygulanmamış olanlara kıyasla daha az olduğunu ifade etmişlerdir. Elmacı ve ark. [26] tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise üç farklı sıcaklıkta (5, 15 ve 25°C) depolanan kükürtsüz kayıslarda düşük sıcaklıklarda önemli bir kahverengileşme olmazken sıcaklığın artmasıyla kahverengileşmenin arttığı rapor edilmiştir. Kurutma yönteminin ürünlerin esmerleşme değerleri üzerindeki etkisi incelendiğinde ise kükürtlü ürünlerde GDH-RF kurutma sistemiyle kurutulan kayısların güneş altında kurutulanlara kıyasla esmerleşme değerlerinin depolama sonunda daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum daha önce de belirtildiği üzere GDH-RF sisteminin kükürt kaybını önlemesi ve üründe homojen kükürt dağılımı sağlanmasından kaynaklanmaktadır. Kükürtsüz ürünlerde ise güneş altında kurutulan ürünün (GK/GK) esmerleşme değerleri GDH-RF sistemiyle kurutulan kayısların (GDH-RF) esmerleşme değerleriyle 5 ve 20°C'de hemen hemen aynı, 35°C'de ise daha düşük bulunmuştur. Kurutma sonrası GK/GK ürününün esmerleşme değeri (0.75 A₄₂₀ /g kuru madde) GDH-RF ürününden (0.69 A₄₂₀ /g kuru madde) yüksektir. Bu bulgu GK/GK ürünüde meydana gelen esmerleşmenin

depolamadan çok kurutma sırasında olduğunu göstermektedir.

Kuru kayısların farklı sıcaklıklarda depolanması sırasında esmerleşme değerlerindeki değişim kinetik olarak incelendiğinde, tüm ürünlerde bu değer zamanla değişiminin genel olarak lineer olduğu ve reaksiyonun sıfırıncı dereceden olduğu görülmüştür. Örnek olarak GDH-RF kayısının farklı sıcaklıklarda depolanması süresinde esmerleşme değerinde zamana bağlı meydana gelen değişim Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu nedenle aşağıda verilen sıfırıncı derece reaksiyon denklemi kullanılarak farklı sıcaklıklardaki reaksiyon hız sabiti hesaplanmıştır.

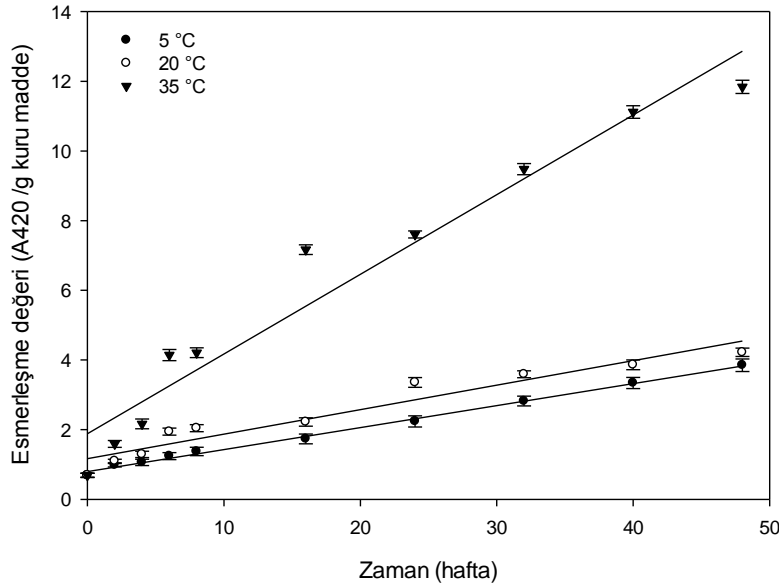
$$C = C_0 + k_0 t \quad (5)$$

Denklemden k₀, sıfırıncı dereceden reaksiyonun hız sabiti, C₀, başlangıç konsantrasyonu, C, son konsantrasyon ve t depolama süresidir (hafta).

Esmerleşme reaksiyonu hız sabiti üzerine sıcaklığın etkisi, Arrhenius eşitliği kullanılarak hesaplanan aktivasyon enerjisi (E_a) ile belirlenmiştir.

$$k = A \exp(-E_a/RT) \quad (6)$$

Denklemden k reaksiyon hızı sabiti, A frekans faktörü, E_a aktivasyon enerjisi, R gaz sabiti (8.314x10³ kJ mol⁻¹K⁻¹) ve T mutlak sıcaklıktır (K).



Şekil 4. GDH-RF kayısının farklı sıcaklıklarda depolama süresince esmerleşme değerindeki değişim

Kuru kayısların esmerleşme değerleri için aktivasyon enerjisi (E_a) ile farklı sıcaklıklarda kinetik hız sabiti değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde ürünlerin esmerleşme reaksiyonlarına ait k₀ değerlerinin 0.0006 ile 0.2288 hafta⁻¹ arasında değiştiği ve depolama sıcaklığı arttıkça bu değer de arttığı görülmüştür. Bu

durum, yüksek sıcaklıkta esmerleşme reaksiyonlarının arttığını gösterir. Benzer eğilim Alagöz ve ark. [23] ve Altındağ [27] tarafından da rapor edilmiştir. Altındağ [27] farklı konsantrasyonlarda kükürlenerek 379 gün depolanan ürünlerin 20°C'de k₀ değerlerini 0.0016-0.0161/hafta arasında, 30°C'de ise 0.0467-0.0661/hafta

arasında rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada kükürtsüz ürünler için bu değer 20°C'de 0.0048/hafta, 30 °C'de ise 0.0467/hafta olarak bulunmuştur. Alagöz ve ark. [23] potasyum sorbat uygulanmadan 10 ay depolanan kuru kayisuların k_0 değerlerini 20°C'de 0.0873/hafta, 30°C'de ise 0.443/hafta olarak bildirmişlerdir. Bu değer potasyum sorbat uygulanan ürünlerde ise 20 °C'de 0.0448-0.0840/hafta arasında, 30°C'de ise 0.3218-0.4400/hafta arasında bulunmuştur. Kükürtleme işleminin k_0 değerlerini düşürdüğünü dolayısıyla esmerleşme reaksiyonlarını azalttığı elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda da açıkça görülmektedir. Hesaplanan E_a değerleri, 5 ile 35°C arasında sıcaklığın

esmerleşme reaksiyon hızına etkisini belirtmekte olup, kuru kayisular için elde edilen E_a değerleri 24.3 ile 134.4 kJ/mol arasındadır. Samaniego-Esquerro [28] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada farklı su aktivitesine sahip kükürtlenmiş (1572 mg/kg) kuru kayisular için E_a değeri 99.8 ile 170.3 kJ/mol arasında rapor edilmiştir. En yüksek E_a değerleri GDH-RF sisteminde kükürtlenerek kurutulmuş ürünler için elde edilmiştir. Bu sonuçlar, 5-35°C arasında belirtilen ürünlerin sıcaklık değişimlerine daha fazla duyarlı olduğunu göstermektedir. Bu durum, depolama sıcaklığının artmasıyla kükürtlü ürünlerde kükürt kaybının dolayısıyla da esmerleşme reaksiyonlarının artması ile açıklanabilir.

Tablo 3. Kurutulmuş kayisuların farklı sıcaklıklarda depolanması süresince esmerleşme düzeyindeki değişimi gösteren kinetik parametreler

Ürün	Sıcaklık (°C)	k_0 (hafta ⁻¹)	R ²	E_a (kJ/mol)
GDH/RF	5	0.0632	0.9966	30.1
	20	0.0703	0.9338	
	35	0.2288	0.9501	
GDH-RF/1S	5	0.0006	0.9218	134.4
	20	0.0012	0.9738	
	35	0.1862	0.9736	
GDH-RF/2S	5	0.0006	0.9218	133.9
	20	0.0011	0.9682	
	35	0.1828	0.9716	
GDHRF/EX+1S	5	0.0006	0.9576	133.2
	20	0.0009	0.9652	
	35	0.1786	0.9814	
GK/GK	5	0.0610	0.9912	24.3
	20	0.0716	0.9820	
	35	0.1719	0.8742	
GK/2S	5	0.0008	0.9428	126.6
	20	0.0014	0.9482	
	35	0.1783	0.9093	

SONUÇ

Bu çalışmada farklı ön işlem ve kurutma teknikleri uygulanarak elde edilmiş kuru kayisuların 3 farklı sıcaklık değerinde (5°C, 20°C, 35°C) 48 hafta boyunca saklanması sırasında renk değerleri ve özelliklerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Sonuçlar depolama sıcaklığının ürünlerin renk değerleri ve özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Tüm ürünler için 48 haftalık depolama süresinin sonunda renk değer ve özelliklerini en fazla muhafaza ettikleri depolama sıcaklığı 5°C (en iyi düşük depolama sıcaklığı) olduğu tespit edilmiştir. Depolama sıcaklığının 35°C olması durumunda ise tüm ürünlerde belirgin bir renk yoğunluğu kaybı ve kahverengileşme gözlenmiştir. Ayrıca kükürtleme ön işlemine tabi tutulan kayisuların renk değerleri ve özelliklerini kükürtleme işlemi görmeyen kayisulara kıyasla ciddi ölçüde korudukları tespit edilmiştir. Kinetik çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar esmerleşme değerinin sıcaklığa bağımlı olduğunu göstermiştir. Esmerleşme değerinin düşük depolama sıcaklığında (5 ve 20°C) düşük hızda arttığı ancak yüksek depolama sıcaklığının (35°C) artış

hızını önemli oranda yükselttiği saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar; güneş enerjisi destekli havalı ön kurutmayı takiben RF kurutma sisteminde kurutmanın, geleneksel kurutulan ürünlere kıyasla düşük kükürt konsantrasyonlarında dahi çok yüksek olmayan sıcaklıklarda (5 ve 20°C) depolanması esnasında kuru kayısının renk kalitesine olumlu katkı sunduğunu göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 118O026 proje numarası ile desteklenmiştir.

REFERANSLAR

- [1] FAOSTAT. (2018). FAOSTAT statistical database. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. (29.04.2020).
- [2] Erdogan, D., Guner, M., Dursun, E., Gezer, I. (2003). Mechanical harvesting of apricots. *Biosystems Engineering*, 85, 19-28.

- [3] Waliszewski, K.N., Garcia, R.H., Ramirez, M., Garcia, M.A. (2000). Polyphenol oxidase activity in banana chips during osmotic dehydration. *Drying Technology*, 18(6), 1327-1337.
- [4] Özkan, M., Kirca, A., Cemeröglü, B. (2003). Effect of moisture content on CIE color values in dried apricots. *European Food Research and Technology*, 216(3), 217-219.
- [5] El Halouat, A., Labuza, T.P. (1987). Air drying characteristics of apricots. *Journal of Food Science*, 52(2), 342-345.
- [6] Gezer, I., Acaroğlu, M., Haciseferoğullari, H. (2003). Use of energy and labour in apricot agriculture in Turkey. *Biomass and Bioenergy*, 24(3), 215-219.
- [7] Toğrul, İ. T., Pehlivan, D. (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58(1), 23-32.
- [8] Karatas, F., Kamaşlı, F. (2007). Variations of vitamins (A, C and E) and MDA in apricots dried in IR and microwave. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 662-668.
- [9] Cemeröglü, B., Özkan, M. (2009). *Kurutma teknolojisi, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*. Ankara: Başkent Klşe Matbaacılık.
- [10] VijayaVenkataRaman, S., Iniyani, S., Goic, R. (2012). A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2652-2670.
- [11] Rowley, A. T., Richardsons, P. (2001). Thermal technologies in Food Processing, Edited by Philip Richardson, Woodhead Publishing, 163-177.
- [12] Zhou, X., Wang, S. (2019). Recent developments in radio frequency drying of food and agricultural products: A review. *Drying Technology*, 37(3), 271-286.
- [13] Türkyılmaz, M., Tağı, Ş., Özkan, M. (2013). Changes in chemical and microbial qualities of dried apricots containing sulphur dioxide at different levels during storage. *Food and Bioprocess Technology*, 6(6), 1526-1538.
- [14] Işınay, B. (2020). Effect of combined radio-frequency and solar assisted air drying on properties of dried apricot. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, Türkiye.
- [15] Coşkun, A.L., Türkyılmaz, M., Aksu, Ö.T., Koç, B.E., Yemiş, O., Özkan, M. (2013). Effects of various sulphuring methods and storage temperatures on the physical and chemical quality of dried apricots. *Food Chemistry*, 141(4), 3670-3680.
- [16] García-Martínez, E., Igual, M., Martín-Esparza, M.E., Martínez-Navarrete, N. (2013). Assessment of the bioactive compounds, color, and mechanical properties of apricots as affected by drying treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 6(11), 3247-3255.
- [17] Inserra, L., Cabaroğlu, T., Şen, K., Arena, E., Ballistreri, G., Fallico, B. (2017). Effect of sulphuring on physicochemical characteristics and aroma of dried Alkaya apricot: a new Turkish variety. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41(1), 59-68.
- [18] Öztürk, K., Konak, R., Öztürk, B., Salih, A.T.A.Y., Celik, B., Yanar, M., Demirtaş, M.N., Ercisli, S. (2011). Effects of sulphurization duration of doses and cold storage on SO₂ content of dried apricot fruits of cv.'Hacihaliloglu'. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(2), 237-241.
- [19] Sen, F., Ozgen, M., Asma, B.M., Aksoy, U. (2015). Quality and nutritional property changes in stored dried apricots fumigated by sulfur dioxide. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56(2), 200-206.
- [20] Pathare, P.B., Opara, U.L., Al-Said, F.A.J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36-60.
- [21] Patras, A., Brunton, N.P., Tiwari, B.K., Butler, F. (2011). Stability and degradation kinetics of bioactive compounds and colour in strawberry jam during storage. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1245-1252.
- [22] Ihns, R., Diamante, L.M., Savage, G.P., Vanhanen, L. (2011). Effect of temperature on the drying characteristics, colour, antioxidant and beta-carotene contents of two apricot varieties. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(2), 275-283.
- [23] Alağöz, S., Türkyılmaz, M., Tağı, Ş., Özkan, M. (2015). Effects of different sorbic acid and moisture levels on chemical and microbial qualities of sun-dried apricots during storage. *Food chemistry*, 174, 356-364.
- [24] Keşelj, K., Babić, M., Pavkov, I., Radojčin, M., Stamenković, Z., Tekić, D., Ivanišević, M. (2019). Effects of storage and sulfurization with sulfur dioxide of different concentration on changes in the color of dried apricots. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 23(4), 190-194.
- [25] Özay, G. (1988). Hasattan ambalaja kayısı işleme teknolojilerinin iyileştirilmesi. 1. Kayısı Şurası Sonuç Raporu, Malatya, İnönü Üniversitesi Basımevi, 12p.
- [26] Elmaci, Y., Altug, T., Pazir, F. (2008). Quality changes in unsulfured sun-dried apricots during storage. *International Journal of Food Properties*, 11, 146-157.
- [27] Altındağ, M. (2018). Farklı düzeylerde kükürtlenen kuru kayısıların polifenol oksidaz aktivitesi ve polifenollerinde depolama boyunca meydana gelen değişimlerin esmerleşme üzerine etkisi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [28] Samaniego-Esguerra, C.M. (1989). Shelf life prediction of dried fruit and vegetables: a quantitative approach. Doctoral dissertation, Massey University, Palmerston North, New Zealand.

Bütün ve Parça Meyvelerden Üretilen Kamkat Reçellerinin Fizikokimyasal ve Fitokimyasal Özellikleri

Demet Yıldız Turgut¹  , Haluk Tokgöz² , Muharrem Gölükcü³ 

Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Demircikara Mah., Paşa Kavakları Cad. No:11, Muratpaşa, Antalya

Geliş Tarihi (Received): 21.08.2020, Kabul Tarihi (Accepted): 19.09.2021

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): dyturgut@hotmail.com (D. Yıldız Turgut)

☎ 0242 321 6797 📠 0242 321 1512

ÖZ

Bu çalışmada bütün meyve ve meyve parçalarından kamkat reçeli üretilmiştir. Reçel üretiminde “Nagami” çeşidine ait (*Fortunella margarita* Swingle) kamkat meyveleri kullanılmıştır. Reçel prosesinde geleneksel üretim tekniği kullanılmıştır. Reçeller toplam kuru madde, suda çözünür kuru madde, pH, titrasyon asitliği, su aktivitesi, renk özellikleri, toplam fenolik madde miktarı, toplam flavonoid miktarı, askorbik asit içerikleri, şeker, organik asit bileşenleri ve antioksidan aktivite [2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikali süpürme aktivitesi ve oksijen radikali absorbans kapasitesi (ORAC)] açısından incelenmiştir. Kamkat reçellerinin toplam kuru madde, suda çözünür kuru madde, su aktivitesi, pH ve titrasyon asitliği değerleri sırasıyla 75.36-76.35 g/100 g, 70.25-70.32°Bx, 0.803-0.809, 3.39-3.43 ve %0.40-0.55 olarak belirlenmiştir. Reçel örneklerinin glukoz, fruktoz, sakkaroz ve toplam şeker içerikleri sırasıyla 20.35-20.61 g/100 g, 28.54-28.56 g/100 g, 20.70-20.75 g/100 g ve 69.64-69.87 g/100 g aralığında değişim göstermiştir. Reçel örneklerinde majör organik asitlerin sitrik (0.15-0.19 g/100 g) ve okzalik (0.08-0.14 g/100 g) asit olduğu belirlenmiştir. Genel olarak en yüksek toplam fenolik madde (87.79 mg GAE/ 100 g), toplam flavonoid (37.71 mg CE/100 g), askorbik asit içeriği (108.33 mg/100 g) ile IC₅₀ (630.44 mg/mg) ve ORAC (33.22 µmol TE/g) değerleri bütün meyveden üretilen kamkat reçeli örneğinde tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kamkat meyvesi, Reçel, Fizikokimyasal özellik, Antioksidan aktivite

Physicochemical and Phytochemical Properties Kumquat Jams Produced with Whole Fruits and Small Pieces of Fruits

ABSTRACT

In this study, kumquat jams were produced from whole fruits and small pieces of fruits. Kumquat fruits of the “Nagami” variety (*Fortunella margarita* Swingle) were used in jam production. The traditional method was used in the jam processing. Jams were analyzed for total dry matter, total soluble solids, pH, titration acidity, water activity, color properties, total phenolic matter content, total flavonoid content, ascorbic acid content, organic acids, sugars and antioxidant activity [2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity and oxygen radical absorbance capacity (ORAC)]. The ranges for the total dry matter, water soluble dry matter, water activity, pH and titratable acidity values of kumquat jams were determined as 75.36-76.35 g/100 g, 70.25-70.32°Bx, 0.803-0.809, 3.39-3.43 and 0.40-0.55%, respectively. The ranges for glucose, fructose, sucrose and total sugar contents of the jam samples were 20.35-20.61 g/100 g, 28.54-28.56 g/100 g, 20.70-20.75 g/100 g and 69.64-69.87 g/100 g, respectively. Citric (0.15-0.19 g/100 g) and oxalic (0.08-0.14 g/100 g) acids were the major organic acids in jam samples. In general, the highest total phenolic matter (87.79 mg GAE/ 100 g), total flavonoid (37.71 mg CE/100 g), ascorbic acid contents (108.33 mg/100 g), IC₅₀ (630.44 mg/mg) and ORAC (33.22 µmol TE/g) values were determined in kumquat jam samples produced with whole fruits.

Keywords: Kumquat fruit, Jam, Physicochemical property, Antioxidant activity

GİRİŞ

Meyve ve sebze gibi tarımsal ürünler içeriğinde bulunan yüksek su içeriği nedeniyle hasat sonrası uzun süre bozulmadan dayanıklılıklarını koruyamazlar. Bu ürünler, hasat sezonu dışında uzun süre tüketilebilmeleri için kurutma, dondurma gibi yöntemlerle veya reçel ve marmelat gibi farklı ürünlere işlenerek daha dayanıklı hale getirilebilmektedir [1]. Reçel, özellikle meyve ve sebze üretiminin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde gerek geleneksel gerekse endüstriyel düzeyde yaygın olarak kullanılan işleme yöntemlerinden biridir.

Reçel genel tanımıyla sağlam ve uygun olgunluktaki meyvelerin yıkama, kabuk soyma, sap çıkarma, gerektiğinde çekirdek çıkarma gibi ön işlemlerden geçirilerek bütün, yarım veya daha küçük parçalar halinde şeker, su ve diğer katkı maddeleri ile (asit, pektin) birlikte belirli bir kıvama kadar pişirilmesi ile elde edilen bir gıda ürünüdür [2-4].

Son yıllarda tat, renk, yapı, görünüş gibi organoleptik özelliklerin yanı sıra sağlığa faydalı fonksiyonel bileşenlerce zengin gıda ürünlerine olan eğilim artmaktadır [5]. Genel olarak kurutma, pastörizasyon, reçel ve marmelat gibi termal işlemlerin uygulandığı yöntemlerde, meyve ve sebzelerin taze halindeki birçok özellik değişebilmektedir [6, 7, 8, 9]. Reçel prosesinde ürünün renk, kıvam, asitlik, besin değeri, fenolik madde ve vitamin içeriği gibi kalite özellikleri kullanılan hammaddelerin bileşimine ve miktarına, kesme, doğrama, kabuk soyma ve haşlama gibi ön işlemlere, üretim metodu ve üretim sonrası depolama koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir [1, 9-13].

Turunçgillerle aynı familyada yer alan fakat *Fortunella* cinsine ait Nagami, Hong Kong, Marumi gibi çeşitleri olan kamkat (*Fortunella* spp.) bitkisi, dünya üzerinde subtropik iklim özelliğine sahip bölgelerde yetiştirilmektedir [14]. Şarap, likör, turşu, şekerleme, reçel, marmelat ve kurutulmuş meyve gibi farklı şekillerde değerlendirilen kamkat meyvesi flavonoidler, karotenoidler ve C vitamini gibi biyoaktif özellikteki bileşiklerce zengin bir meyvedir [15-20]. Kamkatın içerdiği bu bileşenler nedeniyle antikanser, antiinflamatuar, antioksidan ve antimikrobiyal aktivite gibi birçok biyolojik aktiviteye sahip olduğu kanıtlanmıştır [21-25]. Ülkemizde son yıllarda çeşitli araştırma kuruluşları tarafından yapılan adaptasyon ve ıslah çalışmaları sonucunda kamkat meyvesinin yetiştirilme alanları özellikle Akdeniz Bölgesi'nde artış göstermektedir. Dolayısıyla, kendine özgü aromaya sahip kabuğu ile birlikte tüketilebilen ve fonksiyonel bileşenleri önemli miktarda içeren bu meyvenin değerlendirilme şekillerinin araştırılması önemli hale gelmiştir. Literatür incelendiğinde kamkat reçeli ile ilgili sınırlı sayıda araştırma yapılmış olup [26], özellikle fitokimyasal içerik açısından kapsamlı bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada bütün ve doğranmış kamkat meyvesinden elde edilen reçellerin

bazı fizikokimyasal ve fitokimyasal özelliklerinin belirlenerek karşılaştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL ve METOT

Materyal

Reçel üretimi amacıyla Antalya Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen "Nagami" çeşidine ait kamkat meyveleri kullanılmıştır. Meyveler 2018 yılı Ocak ayı içerisinde hasat edilmiştir.

Reçel Üretimi

Reçel üretimi öncesi meyvelerde seçme, ayıklama ve yıkama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Meyveler bütün ve parça olarak iki farklı şekilde reçele işlenmiştir. Bütün meyvelerde gövdede kürdan yardımıyla delikler açılmıştır. Parça meyvelerden reçel üretimi amacıyla meyveler paslanmaz çelik bıçakla 3-4 parçaya kesilmiştir. Meyvelerde kabuk soyma işlemi gerçekleştirilmemiştir. Ön işlem olarak meyveler acılık giderme amacıyla 15 dakika sıcak suda haşlanmıştır. Ardından meyvelere katlama usulüyle şeker ilavesi yapılarak 12 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Reçel üretimi açık kazanda pişirme tekniğiyle gerçekleştirilmiştir. Reçel formülasyonu ön denemelerle belirlenmiştir. %45 meyve içeren 1000 g kamkat reçeli üretimi amacıyla 450 g kamkat, 630 g şeker, 80 mL su, 0.5 g sitrik asit (%50'lik çözelti halinde) formülasyonu kullanılmıştır. Şekerde bekletilen meyvelere su ilavesi yapılarak pişirme işlemine geçilmiştir. Pişirme işlemi sırasında, suda çözünür kuru madde miktarı 60 Briks olunca pH değeri 2.8-3.5 değerleri arasında olacak şekilde sitrik asit ilavesi yapılmıştır. Pişirme işlemi suda çözünür kuru madde miktarı 70°Briks oluncaya kadar devam ettirilmiştir. Reçeller sıcak dolum tekniğiyle (88°C) metal kapaklı cam kavanozlara doldurularak ağızları kapatılmış ve analiz anına kadar buzdolabında muhafaza edilmiştir. Reçel üretimleri üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).

Analizler

Reçel örneklerinde suda çözünür kuru madde (SÇKM) miktarı digital refraktometre (A. Krüss Optronic GmbH, DR6000 series, Almanya) ile oda sıcaklığında belirlenerek, sonuçlar Briks derecesi (°Bx) olarak ifade edilmiştir. pH değerleri potansiyometrik olarak pH-metre (WTW Inolab 720, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir. Titrasyon asitliği değeri, homojenize edilmiş 10 g örneğin 25 mL saf su ile seyreltilerek, 0.1 N sodyum hidroksit çözeltisi ile pH 8.1'e ulaşıncaya kadar titre edilmesi ile belirlenmiş ve sonuçlar yüzde (%) olarak susuz sitrik asit cinsinden ifade edilmiştir. Reçel örneklerinin toplam kuru madde miktarı vakumlu fırın kullanılarak, 70°C sıcaklıkta, 10 kPa basınç altında saptanmıştır ve % olarak hesaplanmıştır [27]. Örneklerin su aktivitesi (a_w) değerleri su aktivitesi ölçüm cihazı (Novasina, Lab-swift, İsviçre) ile 25°C de belirlenmiştir.



Şekil 1. Parça ve bütün meyveden elde edilen kamkat reçelleri
Figure 1. Kumquat jams produced with pieces and whole fruit

Reçel örneklerinde renk ölçümü Konica Minolta CR 400 (Osaka, Japonya) renk ölçüm cihazı ile yapılmış ve CIE L*, a*, b* renk değerleri belirlenmiştir. Aşağıdaki eşitlikler (1,2) yardımıyla Chroma (C*), ve hue açısı (h°) hesaplanmıştır [27]. Reçel örnekleri herhangi bir işlem uygulanmadan direk olarak renk cihazının özel cam aparatına koyularak renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$h^{\circ} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} * \frac{180}{\pi} \quad (2)$$

Toplam fenolik madde, flavonoid ve antioksidan aktivite analizlerinde kullanılmak üzere reçellerin ekstraksiyonu amacıyla Renna ve ark. [5] tarafından kullanılan yöntemden yararlanılmıştır. Bu amaçla homojenize edilmiş 5 g örnek 10 mL %80'lik metanolle 180 rpm'de orbital çalkalayıcıda 1 saat süre ile karıştırılmıştır. Karışım 5000 dev/dakikada 10 dakika santrifüj edilerek, üstte kalan berrak kısım ayrı bir tüpe aktarılmıştır. Bu işlem 2 kez daha tekrar edilerek, toplanan berrak kısım 30 mL'ye %80'lik metanolle tamamlanmıştır. Ekstraktlar, analiz anına kadar -20°C'de muhafaza edilmiştir.

Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi amacıyla 100 µL örnek ekstraktı üzerine sırasıyla 900 µL saf su, 5 mL 0.1 N Folin-Ciocalteu solüsyonu ve son olarak 4 mL %7.5'lik sodyum bikarbonat (NaHCO₃) çözeltisi ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım oda sıcaklığında karanlık bir ortamda 90 dk bekletilmiş ve absorbans 765 nm dalga boyunda Shimadzu UV-Vis 160A model

spektrofotometrede ölçülmüştür. Reçel örneklerinin toplam fenolik madde miktarı hazırlanan gallik asit kalibrasyon eğrisi denklemi ile kuru madde (km) üzerinden mg GAE (Gallik asit eşdeğeri)/100 g olarak hesaplanmıştır [28]. Toplam flavonoid miktarı ise spektrofotometrik olarak Zhishen ve ark. [29] tarafından önerilen yöntemle göre kolorimetrik olarak belirlenmiştir. 1 mL örnek ekstraktı üzerine 4 mL distile su ve ardından %5'lik 300 µL sodyum nitrit (NaNO₂) çözeltisi eklenmiştir. 6 dakika sonra 600µL %10'luk Alüminyum klorür (AlCl₃) çözeltisi ilave edilmiş ve karışım 6 dakika bekletilmiştir. Ardından 2 mL %4' lük sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ve 2.1 mL distile su eklenerek, karışımın absorbans değeri 510 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunmuş ve sonuçlar km üzerinden mg CE (kateşin eşdeğeri)/100 g km olarak ifade edilmiştir.

Reçel örneklerinin DPPH radikali süpürme aktivitesinin belirlenmesi amacıyla Cemeroğlu [30] tarafından önerilen yöntemden yararlanılmıştır. 1mM'lık 600 µL DPPH radikal çözeltisi üzerine farklı hacimlerde örnek ekstraktı eklenerek, hacim saf metanol ile 6 mL ye tamamlanmış ve 15 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda karışımların absorbans değerleri 517 nm dalga boyunda okunmuştur. Örnek hacimlerine karşılık gelen % inhibisyon değerleri aşağıda verilen Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır. DPPH radikalının yarısını inhibe eden etkili ekstrakt konsantrasyonu olarak tanımlanan IC₅₀ değeri ise % yüzde inhibisyon oranından elde edilen doğru denklemi yardımıyla hesaplanarak mg/mg km olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Inhibisyon(\%)} = [(A_{\text{DPPH}} - A_{\text{ekstrakt}}) / A_{\text{DPPH}}] \times 100 \quad (3)$$

Reçellerin ORAC analizlerinde Ena ve ark. [31] tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla fluorescein çözeltisine örnek ekstraktı ve fosfat tamponu ilave edilerek, 37°C'de 30 dakika inkübasyon süresi beklenmiştir. Süre sonunda çözeltiye 2,2'-azobis(2-methylpropionamide) dihydrochloride ilave edilerek, flüoresans şiddeti flüoresans spektrofotometresi (Cary

Eclipse, Agilent Technologies, Kaliforniya, ABD) kullanılarak 490-512 nm eksitasyon- emisyon dalga boylarında ölçülmüştür. Aynı koşullarda örnek yerine fosfat tamponu ve Trolox® standardı ile hazırlanmış çözeltilerin flüoresans şiddeti de belirlenmiştir. Örneklerin ORAC değerleri aşağıdaki Eşitlik 4 yardımıyla µmol Trolox® eşdeğeri (TE)/g km olarak hesaplanmıştır.

$$\text{ORAC} = \text{Seyreltme faktörü} \times (S_{\text{örnek}} - S_{\text{kör}}) / (S_{\text{trolox}} - S_{\text{kör}}) \quad (4)$$

Reçel örneklerinin askorbik asit analizleri Shimadzu 2030 C 3 d Prominence-i (Japonya) model HPLC (High Performance Liquid Chromatography- Yüksek

Performanslı Sıvı Kromatografisi) cihazında diode-array dedektör (DAD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir [32]. Askorbik asit ekstraksiyonunda %3'lük metafosforik asit

(HPO₃) çözeltisi kullanılmıştır. Ekstraksiyon sonrası örnekler santrifüj edilmiş ve üst faz 0.45 µm'lik membran filtreden geçirilerek HPLC cihazına verilmiştir. Askorbik asit miktarı, askorbik asit standardına ait kalibrasyon eğrisinden elde edilen denkleme yardımıyla mg/100 g kuru madde olarak hesaplanmıştır. Analizde hareketli faz olarak %2'lik potasyum dihidrojen fosfat (KH₂PO₄) kullanılmıştır. Ayrım İnertsil ODS-3 C-18 kolon (5µm, 250x4.6 i.d.) (GL Sciences, Japonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Diğer HPLC koşulları; dalga boyu: 243 nm, akış hızı:0.5 mL/dakika izokratik, enjeksiyon hacmi: 10 µL, kolon sıcaklığı: 25°C'dir.

Reçel örneklerinin organik asit bileşenleri HPLC cihazı ile (Shimadzu 2030 C3d Prominence-i, Japonya) belirlenmiştir [33]. Uygun oranlarda saf su ile seyreltilmiş örnekler 6000 rpm hızda 20°C'de 30 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası üst faz 0.45 µm'lik membran filtreden geçirilerek HPLC cihazına 20 µL hacimde enjekte edilmiştir. Organik asit miktarları sitrik, malik, okzalik, tartarik ve süksinik asit standartları ile hazırlanan kalibrasyon eğrilerinden elde edilen eşitlikler kullanılarak g/100 g km olarak hesaplanmıştır. Analiz DAD dedektör kullanılarak, İnertsil ODS-3 C-18 kolon (5µm, 250x4.6 i.d.) (GL Sciences, Japonya) ile 214 nm dalga boyunda, izokratik olarak 0.6 mL/dakika akış hızında gerçekleştirilmiştir. Organik asitlerin ayrımında hareketli faz olarak % 2'lik KH₂PO₄ kullanılmıştır. Belirlenen kolon sıcaklığı ise 25°C'dir.

Reçel örneklerinin şeker bileşenleri Turhan [34] tarafından önerilen yöntemle belirlenmiştir. Örnekler belirli oranda saf su ile homojenize edilerek 5000 rpm hızda 20°C'de 10dk. süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası berrak kısım 0.45 µm gözenek çaplı membran filtreden geçirilerek HPLC cihazına verilmiştir. Glukoz, fruktoz ve sakkaroz standartlarından hazırlanan kalibrasyon eğrilerinden eşitlikler elde edilmiş, her bir şeker bileşeni bu eşitlikler kullanılarak g/100 g kuru madde olarak belirlenmiştir. Analizde HPLC (Shimadzu 20 AD, Tokyo, Japonya) cihazı ve Shimadzu RID-10A model refraktif indeks dedektörü (Japonya) kullanılmıştır. Şeker bileşenlerinin ayrımında hareketli faz olarak ultra saf su kullanılmıştır. Ayrım Transgenomic CARBOSep CHO-820 CA kolon ile izokratik olarak, 0.5 mL/dakika akış hızında gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılan enjeksiyon hacmi 20 µL, kolon sıcaklığı ise 80°C olarak belirlenmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bütün ve parça meyveden üretilen kamkat reçellerine ait pişirme süreleri ve fizikokimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Meyvelerin bütün olarak kullanılması, istenilen kuru madde miktarına ulaşabilmek için gerekli olan pişirme süresini diğer reçel örneğine göre uzatmıştır. Reçel örneklerinin a_w değerleri 0.803-0.809 olarak belirlenmiştir. Reçel ve marmelatlar genel olarak orta nemli gıdalar (a_w=0.60-0.90) sınıfında yer almaktadır. Meyveler reçel ve marmelata işlenerek muhafaza edildiğinde su aktivitesi 0.80 veya daha düşük değerlere inebilmekte ve bu değerlerde bazı mikroorganizmaların gelişmesi engellenebilmektedir [2,35].

Reçel örneklerinde SÇKM değeri 70.25-70.32°Bx, toplam kuru madde içeriği 75.36-76.35 g/100 g olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Reçel üretiminde, şeker ilavesi ürünün kuru madde içeriğini yükseltmektedir. Şeker ilavesinin reçelin kıvamının yanı sıra, renk ve aroma gibi özellikleri de geliştirmede önemli bir rolü vardır. Ayrıca ürünün mikrobiyolojik stabilitesini geliştirir. Bu yüzden reçel ve benzeri ürünler 'şekerle muhafaza edilmiş' gıdalar olarak nitelendirilmektedir [2]. TKG Reçel, Jöle, Marmelat ve Tatlandırılmış Kestane Püresi Tebliği'nde [4] geleneksel ve ekstra geleneksel reçellerde refraktometre ile tayin edilen çözünabilir kuru madde miktarının %68'den az olamayacağı belirtilmiştir. Yıldız Turgut ve ark. [26] tarafından yapılan bir çalışmada parça meyvelerden yapılan kamkat reçelinde SÇKM değeri 70.65°Bx, toplam kuru madde miktarı 77.83 g/100 g olarak belirlenmiştir. Bulgularımız söz konusu tebliğ hükmü ve literatürle uyumludur.

Analiz sonuçlarına göre reçel örneklerinin pH değerleri 3.39-3.43, titrasyon asitliği değerleri ise 0.40-0.55 g/100 g olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Reçelin belli bir kıvam, tat ve aroma kazanması ve sakkarozun inversiyonunun sağlanması amacıyla sitrik asit gibi asitlerden yararlanılmaktadır [2]. TKG Reçel, Jöle, Marmelat Ve Tatlandırılmış Kestane Püresi Tebliği'nde [4] geleneksel ve ekstra geleneksel reçellerde pH aralığının 2.8-3.5 arasında olması gerektiği hükme bağlanmıştır. Buna göre çalışmada üretilen reçel örneklerinin pH değerlerinin tebliğde belirtilen söz konusu değerlere uygun olduğu görülmektedir. Cemeroğlu ve ark. [2] tarafından reçel ve marmelat gibi ürünlerde iyi bir jel oluşumu için ortamın pH derecesinin belli sınırlarda (2.3-3.2) bulunması gerektiği bildirilmiştir. Yıldız Turgut ve ark. [26] tarafından yapılan bir çalışmada parça meyvelerden yapılan kamkat reçelinde pH değeri 3.45, titrasyon asitliği ise 0.32 olarak belirlenmiştir. Bulgularımız bu değerlere yakındır. Reçel örnekleri arasında pH ve titrasyon asitliği farklılıklarının sebebi HMF oluşumundan kaynaklanabilir. Rababah ve ark. [1], reçel üretimi sırasında HMF oluşumunun pH değerinde düşmeye neden olabileceğini ifade etmişlerdir. Isıl işlem gören reçel ve marmelat gibi gıda ürünlerinde renk önemli bir kalite parametresidir [1, 36]. Reçel örneklerinin L*, a*, b* renk değerleri sırasıyla 19.54-19.92, 3.43-2.02, 7.76-5.91 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Aydınlik ve parlaklık göstergesi olan L* değerleri birbirine yakın değerlerde belirlenmesine rağmen, parça meyveden üretilen reçel örneğinin a* ve b* değeri, bütün meyveden üretilen reçele göre daha düşük tespit edilmiştir. Bu durumun reçel öncesi uygulanan kesme parçalama gibi ön işlemlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Reçel örneklerinin C* ve h° değerleri sırasıyla 8.45-6.25, 66.69-70.92 olarak belirlenmiştir. Yıldız Turgut ve ark. [26] tarafından parça meyveden üretilen kamkat reçellerinde L*, a*, b*, C* ve h° değerleri sırasıyla 52.22, 5.54, 29.77, 30.28 ve 79.46 olarak belirlenmiştir. Bulgularımız ve literatür değerleri arasındaki farklılığın reçel prosesi ve meyvenin olgunluk durumu gibi farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle reçel gibi termal proseslerin uygulandığı ürünlerde enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, askorbik asit degradasyonu ve bazı renk pigmentlerinin parçalanması sonucu renk değişimleri meydana gelebilmektedir [37].

Tablo 1. Kamkat reçeli örneklerinin pişirme süreleri ve fizikokimyasal özellikleri (ortalama±standart sapma)

Table 1. Heating times and physicochemical properties (mean±standard deviation) of kumquat jam samples

Özellikler	Bütün Meyveden Üretilen Kamkat Reçeli	Parça Meyveden Üretilen Kamkat Reçeli
Piştirme süresi (dakika)	95	60
a_w	0.809±0.05	0.803±0.03
SÇKM (°Bx)	70.25±0.01	70.32±0.01
Toplam kuru madde miktarı (g/100 g)	76.35±0.32	75.36±0.25
pH	3.39±0.01	3.43±0.01
Titrasyon asitliği (%)	0.55±0.02	0.40±0.03
L*	19.92±0.22	19.54±0.29
a*	3.43±0.17	2.02±0.26
b*	7.76±0.38	5.91±0.81
Kroma (C*)	8.45±0.40	6.25±0.79
Hue açısı (h°)	66.69±0.73	70.92±2.86

Tablo 2'de reçel örneklerinin toplam fenolik madde ve flavonoid miktarları verilmiştir. Reçel örneklerinin toplam fenolik madde miktarı 87.79-83.53 mg GAE/100 g, toplam flavonoid miktarları 27.02-37.71 mg CE/100 g olarak belirlenmiştir. Genel olarak bütün meyveden üretilen reçelin, parça meyveden üretilen reçelden daha yüksek fenolik ve flavonoid madde içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun parça meyve ile yapılan reçelde uygulanan kesme ve doğrama gibi ön işlemlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Djaoudene ve Louaileche [13], ticari portakal reçelinde toplam fenolik madde miktarını 70 mg GAE/100 g, Rababah ve ark. [1] ise portakal reçelinde 43.69 mg GAE/100 g olarak belirlemiştir. Aksay ve ark. [38] mandarin reçelinde toplam fenolik madde miktarını 201.60 mg GAE/100 g olarak belirlemiştir. Diğer turunçgil meyveleri ile karşılaştırıldığında kamkat reçelinin söz konusu literatür çalışmalarındaki portakal reçellerinden daha yüksek, mandarin reçelinden ise daha düşük fenolik madde içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Kamkat meyvesinin fenolikler, özellikle de flavonoidleri önemli miktarda içerdiği bildirilmiştir [39, 40].

Kamkat reçeli örneklerinin askorbik asit miktarları incelendiğinde (Tablo 2) bütün meyve ile yapılan reçelin askorbik asit içeriğinin, parça meyve ile yapılan reçelden daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle turunçgil meyvelerinde önemli miktarda bulunan askorbik asit canlı hücrelerde protein, lipit ve DNA'ya hasar veren serbest radikalleri gideren önemli bir antioksidandır [41]. Ancak gıda işleme aşamalarında ışık, sıcaklık, pH, oksijen, metal iyonları ve su aktivitesi gibi nedenlere bağlı olarak parçalanabilmektedir [42]. Dolayısıyla reçel prosesindeki yüksek sıcaklıklar ve oksidasyon gibi faktörler askorbik asit kaybına neden olabilmektedir [12, 43-45]. Igual ve ark. [43] farklı yöntemlerle elde edilen greyfurt reçellerinde askorbik asit miktarı 20-26.1 mg/100 g olarak belirlenmiştir. Naeem ve ark. [44], üzüm, kayısı, çilek ve yaban mersini reçellerinde C vitamini miktarını 2.52-5.67 mg/100 g olarak belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada bütün mandarin reçelinde C vitamini içeriği 0.07 mg/100 g olarak saptanmıştır [38]. Kamkat reçellerine ait askorbik asit içerikleri bu değerlerden yüksektir. Bazı çalışmalarda kamkat meyvesinin portakal, limon ve mandalina gibi

turunçgillerden daha fazla C vitamini içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir [46, 47].

Reçel örneklerinin DPPH radikali giderme aktivitesi ve ORAC değerleri Tablo 2'de görülmektedir. IC₅₀ değerinin düşük olması antioksidan aktivitenin yüksek olmasını işaret etmekte olup [48], dolayısıyla bütün meyveden elde edilen reçelin DPPH radikalini giderme aktivitesi parça reçelinkinden bir miktar yüksek bulunmuştur. ORAC değerleri açısından da benzer durum söz konusudur. Meyve sebzelerin antioksidan aktivitesi askorbik asit, antosiyaninler, karotenoidler, flavonoidler gibi yüksek sıcaklıklara hassas biyoaktif bileşiklerden kaynaklanmaktadır [12]. Turunçgillerde bulunan fenoliklerin ve askorbik asitin antioksidan aktiviteye önemli ölçüde etki ettiği bildirilmiştir [49, 50]. Nitekim çalışmamızda bütün meyveden elde edilen reçel örneğinin toplam fenolik madde, flavonoid ve askorbik asit içeriklerinin de, parça meyveden yapılan reçelden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Reçel örneklerinde sitrik, okzalik, malik, tartarik ve süksinik asit olmak üzere 5 farklı organik asit tespit edilmiştir (Tablo 3). Sitrik ve okzalik asit dışında reçel örneklerinin organik asit miktarları birbirine yakındır. Reçel örneklerinde parçalama, haşlama ve piştirme süresi gibi etkenlerin sitrik ve okzalik asit gibi bileşen farklılıklarına yol açtığı değerlendirilebilir. Nitekim organik asitlerin ısı stabiliteyi düşüktür ve termal prosesler sırasında parçalanabilmektedir [51]. Turunçgillerde bulunan başlıca organik asitin sitrik asit olduğu, daha sonra malik asit olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca turunçgillerde iz miktarda tartarik, benzoik, okzalik ve süksinik asit bulunmaktadır [33, 48, 52, 53]. Igual ve ark. [43] farklı yöntemlerle elde ettikleri greyfurt reçellerinde organik asitlerden sitrik asit (1.049-1.72 g/100 g), malik asit (0.33-0.74 g/100 g) ve tartarik asiti (0.22-0.55 g/100 g) belirlemişlerdir.

Tablo 2. Kamkat reçeli örneklerinin fitokimyasal içerikleri (ortalama±standart sapma)

Table 2. Phytochemical contents of kumquat jam samples (mean±standard deviation)

Özellik	Bütün Meyveden Üretilen Kamkat Reçeli	Parça Meyveden Üretilen Kamkat Reçeli
Toplam Fenolik Madde Miktarı (mg/100 g)	87.79±2.02	83.53±1.17
Toplam Flavonoid Miktarı (mg/100 g)	37.71±2.15	27.02±1.18
Askorbik Asit Miktarı (mg/100 g)	108.33±0.40	69.28±0.65
IC ₅₀ (mg/mg)	630.44±3.93	674.36±7.61
ORAC (µmol TE/g)	33.22±0.40	30.08±0.59

Reçel örneklerinde toplam şeker miktarı 69.64-69.87 g/100 g arasında tespit edilmiştir. Tespit edilen şeker bileşenleri ise sakkaroz, fruktoz ve glukoz olup, belirlenen miktarlar her iki reçelde de birbirine yakındır (Tablo 3). Naeem ve ark. [44], Malezya'da satılan üzüm, kayısı, yaban mersini ve çilek reçellerinde toplam şeker, sakkaroz, glukoz ve fruktoz içeriklerini sırasıyla 52.43-54.78, 1.02-9.78, 17.42-26.20 ve 15.77-26.00 g/100 g olarak belirlemişlerdir. Djaoudene ve Louaileche, [13], ticari portakal reçelinde toplam şeker içeriğini 69.3 g/100 g olarak tespit etmişlerdir. Touati ve ark. [54], kayısı reçelinde %21.04 glukoz, %21.34 fruktoz, %22.49 sukroz

ve toplam şeker içeriğini ise %64.88 olarak belirlemişlerdir. Reçellerin toplam şeker miktarı yapıldıkları meyvenin çeşidine ve ilave edilen şeker miktarına göre farklılık gösterebilmektedir. Reçelerde tat oluşumunda en önemli etkenlerden biri de içerdiği şekerdir. Meyvelerin doğal olarak içerdikleri şeker miktarı reçel üretimi için yeterli değildir. Dolayısıyla istenilen kıvam ve tat için dışarıdan şeker ilavesi gereklidir. Reçeldeki şeker aynı zamanda ortamdaki serbest su moleküllerini bağlayarak su aktivitesinin düşmesinde önemli bir rol oynar ve ürünün mikrobiyolojik stabilitesini geliştirir [2, 55, 56].

Tablo 3. Kamkat reçeli örneklerinin organik asit ve şeker bileşenleri (ortalama±standart sapma)

Table 3. Organic acid and sugar components of kumquat jam samples (mean±standard deviation)

Parametre	Bütün Meyveden Üretilen Kamkat Reçeli	Parça Meyveden Üretilen Kamkat Reçeli
<i>Organik asitler</i>		
Sitrik asit (g/100 g)	0.190±0.003	0.150±0.002
Okzalik asit (g/100 g)	0.080±0.003	0.140±0.003
Malik asit (g/100 g)	0.020±0.001	0.010±0.001
Tartarik asit (g/100 g)	0.004±0.002	0.004±0.001
Süksinik asit (g/100 g)	0.010±0.004	0.020±0.001
<i>Şeker bileşenleri</i>		
Sakkaroz (g/100 g)	20.75±0.09	20.70±0.02
Glukoz (g/100 g)	20.35±0.06	20.61±0.02
Fruktoz (g/100 g)	28.54±0.21	28.56 ±0.30
Toplam şeker (g/100 g)	69.64±0.12	69.87±0.11

SONUÇ

Bu çalışmada bütün ve parça halinde kullanılan kamkat meyvesinden açık kazanda pişirme tekniği ile üretilen reçellerin bazı fizikokimyasal ve fitokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Reçel örnekleri arasında bazı fizikokimyasal ve fitokimyasal özellikler açısından farklılıklar tespit edilmiştir. Araştırmada bütün meyveden üretilen kamkat reçellerinin özellikle toplam fenolik madde, flavonoid, askorbik asit içerikleri ile antioksidan aktivite değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özellikle açık atmosfer tekniği uygulanan reçel prosesinde ısı işlemi yanında meyvelere uygulanan kesme ve parçalama gibi işlemlerin de biyoaktif içerikler üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca kamkat reçelinin özellikle toplam fenolik madde ve askorbik asit açısından literatürdeki diğer meyvelerden elde edilen reçellere göre daha yüksek değerlere sahip olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak kamkat reçeli üretiminde meyvelerin bütün olarak kullanılmasının özellikle biyoaktif bileşenlerin korunması açısından daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Ayrıca kamkat

reçelinde biyoyararlılık ve farklı pişirme yöntemlerinin kimyasal ve fiziksel kaliteye etkisi gibi konularla ilgili çalışmaların yapılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) tarafından desteklenen TAGEM/HSGYAD/17/A03/P06/138 No'lu projenin bir bölümüdür. Projeye desteklerinden dolayı TAGEM'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Rababah, T.M., Al-Mahasneh, M.A., Kilani, I., Yang, W., Alhamad, M.N., Ereifej, K., Al-u'datt, M. (2011). Effect of jam processing and storage on total phenolics, antioxidant activity, and anthocyanins of different fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(6), 1096-1102.

- [2] Cemeröglü, B., Karadeniz, F., Özkan M. (2003). Meyve ve sebze işleme teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No:28, Ankara.
- [3] Tokbaş, H. (2009). Karadut meyvesinin (*morus nigra* L.) reçel ile marmelata işlenmesi ve ürünlerin antioksidan özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- [4] Anonim, (2006). Türk Gıda Kodeksi (TGK) Reçel, jöle, marmelat ve tatlandırılmış kestane püresi tebliği (Tebliğ No: 2006/55).
- [5] Renna, M., Pace, B., Cefola, M., Santamaria, P., Serio, F., Gonnella, M. (2013). Comparison of two jam making methods to preserve the quality of colored carrots. *LWT-Food Science and Technology*, 53(2), 547-554.
- [6] Ding, S., Wang, R., Zhang, J., Li, G., Zhang, J., Ou, S., Shan, Y. (2017). Effect of drying temperature on the sugars, organic acids, limonoids, phenolics, and antioxidant capacities of lemon slices. *Food Science and Biotechnology*, 26(6), 1523-1533.
- [7] Achir, N., Dhuique-Mayer, C., Hadjal, T., Madani, K., Pain, J.P., Dornier, M. (2016). Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 397-404.
- [8] Besbes, S., Drira, L., Blecker, C., Deroanne, C., Attia, H. (2009). Adding value to hard date (*Phoenix dactylifera* L.): compositional, functional and sensory characteristics of date jam. *Food Chemistry*, 112(2), 406-411.
- [9] Kamiloglu, S., Paslı, A.A., Ozcelik, B., Van Camp, J., Çapanoglu, E. (2015). Influence of different processing and storage conditions on in vitro bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. *Food Chemistry*, 186, 74-82.
- [10] Basu, S., Shivhare, U.S., Singh, T.V. (2013). Effect of substitution of stevioside and sucralose on rheological, spectral, color and microstructural characteristics of mango jam. *Journal of Food Engineering*, 114(4), 465-476.
- [11] Igual, M., Garcia-Martinez, E., Camacho, M. M., Martínez-Navarrete, N. (2013). Jam processing and storage effects on β -carotene and flavonoids content in grapefruit. *Journal of Functional Foods*, 5(2), 736-744.
- [12] Shinwari, K.J., Rao, P.S. (2018). Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 75, 181-193.
- [13] Djaoudene, O., Louaileche, H. (2016). Impact of storage conditions on the bioactive compounds and antioxidant capacity of commercial orange jam. *Journal of Analytical, Bioanalytical and Separation Techniques*, 1(1), 8-11.
- [14] Morton, J. (1987). Kumquat. In: *Fruits of Warm Climates*. Creative Resource Systems, Miami, FL, USA, pp. 182-185.
- [15] Schirra, M., Palma, A., D'Aquino, S., Angioni, A., Minello, E.V., Melis, M., Cabras, P. (2008). Influence of postharvest hot water treatment on nutritional and functional properties of kumquat (*Fortunella japonica* Lour. Swingle Cv. Ovale) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(2), 455-460.
- [16] Wang, Y.C., Chuang, Y.C., Ku, Y.H. (2007). Quantitation of bioactive compounds in citrus fruits cultivated in Taiwan. *Food Chemistry*, 102(4), 1163-1171.
- [17] Lou, S.N., Lai, Y.C., Huang, J.D., Ho, C.T., Ferng, L.H.A., Chang, Y.C. (2015). Drying effect on flavonoid composition and antioxidant activity of immature kumquat. *Food Chemistry*, 171, 356-363.
- [18] Nogata, Y., Sakamoto, K., Shiratsuchi, H., Ishii, T., Yano, M., Ohta, H. (2006). Flavonoid composition of fruit tissues of citrus species. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 70(1), 178-192.
- [19] Agócs, A., Nagy, V., Szab, Z., Márk, L., Ohmacht, R. Deli, J. (2007). Comparative study on the carotenoid composition of the peel and the pulp of different citrus species. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8(3), 390-394.
- [20] Lou, S.N., Lai, Y.C., Hsu, Y.S., Ho, C.T. (2016). Phenolic content, antioxidant activity and effective compounds of kumquat extracted by different solvents. *Food Chemistry*, 197, 1-6.
- [21] Barreca, D., Bellocco, E., Caristi, C., Leuzzi, U., Gattuso, G. (2011). Kumquat (*Fortunella japonica* Swingle) juice: Flavonoid distribution and antioxidant properties. *Food Research International*, 44(7), 2190-2197.
- [22] Jayaprakasha, G.K., Murthy, K.N.C., Demarais, R., Patil, B.S. (2012). Inhibition of prostate cancer (LNCaP) cell proliferation by volatile components from Nagami kumquats. *Planta Medica*, 78(10), 974-980.
- [23] Wang, Y.W., Zeng, W.C., Xu, P.Y., Lan, Y.J., Zhu, R. X., Zhong, K., Huang, Y., Gao, H. (2012). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of kumquat (*Fortunella crassifolia* Swingle) peel. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(3), 3382-3393.
- [24] Tan, S., Li, M., Ding, X., Fan, S., Guo, L., Gu, M., Zhang, Y., Feng, L., Jiang, D., Li, Y., Xi, W. (2014). Effects of *Fortunella margarita* fruit extract on metabolic disorders in high-fat diet-induced obese C57BL/6 mice. *PLoS One*, 9(4), e93510.
- [25] Nagahama, K., Eto, N., Shimojo, T., Kondoh, T., Nakahara, K., Sakakibara, Y., Fukui, K., Suiko, M. (2015). Effect of kumquat (*Fortunella crassifolia*) pericarp on natural killer cell activity in vitro and in vivo. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 79(8), 1327-1336.
- [26] Yıldız Turgut, D., Gölükcü, M., Tokgöz, H. (2015). Kamkat (*Fortunella margarita* Swingle) meyvesi ve reçelinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Derim*, 32 (1), 71-80.
- [27] Cemeröglü, B. (2007). Gıda analizleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 535 s.
- [28] Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
- [29] Zhishen, J., Mengcheng, T., Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555-559.

- [30] Cemeröglü, B. (2010). Gıda Analizleri. Genişletilmiş 2. Baskı. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No: 34. Bizim Grup Basımevi. Ankara. 657 s.
- [31] Ena, A., Pintucci, C., Carlozzi, P. (2012). The recovery of polyphenols from olive mill waste using two adsorbing vegetable matrices. *Journal of Biotechnology*, 157(4), 573-577.
- [32] Sdiri, S., Bermejo, A., Aleza, P., Navarro, P., Salvador, A. (2012). Phenolic composition, organic acids, sugars, vitamin C and antioxidant activity in the juice of two new triploid late-season mandarins. *Food Research International*, 49(1), 462-468.
- [33] Nour, V., Trandafir, M. E., Ionica, M.E. (2010). HPLC organic acid analysis in different citrus juices under reversed phase conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1), 44-48.
- [34] Turhan, İ. (2014). Relationship between sugar profile and D-pinitol content of pods of wild and cultivated types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.). *International Journal of Food Properties*, 17(2), 363-370.
- [35] Özay, G., Pala, M., Saygi, B. (1993). Bazı gıdaların su aktivitesi yönünden incelenmesi. *Gıda Dergisi*, 18(6), 377-383.
- [36] Yıldız, O., Alpaslan, M. (2012). Properties of rose hip marmalades. *Food Technology and Biotechnology*, 50(1), 98-106.
- [37] Fratianni, A., Cinquanta, L., Panfili, G. (2010). Degradation of carotenoids in orange juice during microwave heating. *LWT-Food Science and Technology*, 43(6), 867-871.
- [38] Aksay, S., Tokbaş, H., Arslan, R., Çınar, F. (2018). Some physicochemical properties of the whole fruit mandarin jam. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(5), 632-635.
- [39] Allam, M., Khedr, A.A., Beltagy, A. (2015). Kumquat As A Potent Natural Material To Improve Lipid Profile Of Hypercholesterolemic Rats. *Biolife An International Quarterly Journal of Biology and Life Sciences*, 3(1), 171-181.
- [40] Lou, S.N., Ho, C.T. (2017). Phenolic compounds and biological activities of small-size citrus: Kumquat and calamondin. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(1), 162-175.
- [41] González-Molina, E., Domínguez-Perles, R., Moreno, D.A., García-Viguera, C. (2010). Natural bioactive compounds of Citrus limon for food and health. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 51(2), 327-345.
- [42] Torregrosa, F., Esteve, M. J., Frígola, A., Cortés, C. (2006). Ascorbic acid stability during refrigerated storage of orange–carrot juice treated by high pulsed electric field and comparison with pasteurized juice. *Journal of Food Engineering*, 73(4), 339–345.
- [43] Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M. M., Martínez-Navarrete, N. (2016). Stability of micronutrients and phytochemicals of grapefruit jam as affected by the obtention process. *Food Science and Technology International*, 22(3), 203-212.
- [44] Naeem, M.M., Fairulnizal, M.M., Norhayati, M.K., Zaiton, A., Norliza, A.H., Syuriahti, W.W., Mohd Azerulazree, J., Aswir, A.R., Rusidah, S. (2017). The nutritional composition of fruit jams in the Malaysian market. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 89-96.
- [45] Anuar, N.A., Salleh, R.M. (2019). Development of fruit jam from *Averrhoa bilimbi* L. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(4), e13904.
- [46] Vinci, G., Botre, F. Mele, G. (1995). Ascorbic acid in exotic fruits: a liquid chromatographic investigation. *Food Chemistry*, 53, 211-214.
- [47] Ramful, D., Tarnus, E., Aruoma, O.I., Bourdon, E. Bahorun, T. (2011). Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps. *Food Research International*, 44, 2088–2099.
- [48] Kelebek, H. (2010). Sugars, organic acids, phenolic compositions and antioxidant activity of Grapefruit (*Citrus paradisi*) cultivars grown in Turkey. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 269-274.
- [49] Abeyasinghe, D.C., Li, X., Sun, C., Zhang, W., Zhou, C., Chen, K. (2007). Bioactive compounds and antioxidant capacities in different edible tissues of citrus fruit of four species. *Food Chemistry*, 104(4), 1338-1344.
- [50] Xu, G., Liu, D., Chen, J., Ye, X., Ma, Y., Shi, J. (2008). Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Food chemistry*, 106(2), 545-551.
- [51] Silva, B.M., Andrade, P.B., Gonçalves, A.C., Seabra, R.M., Oliveira, M.B., Ferreira, M.A. (2004). Influence of jam processing upon the contents of phenolics, organic acids and free amino acids in quince fruit (*Cydonia oblonga* Miller). *European Food Research and Technology*, 218(4), 385-389.
- [52] Karadeniz, F. (2004). Main organic acid distribution of authentic citrus juices in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28(4), 267-271.
- [53] Kelebek, H., Selli, S. (2011). Determination of volatile, phenolic, organic acid and sugar components in a Turkish cv. Dortyol (*Citrus sinensis* L. Osbeck) orange juice. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 91(10), 1855-1862.
- [54] Touati, N., Tarazona-Díaz, M. P., Aguayo, E., Louaileche, H. (2014). Effect of storage time and temperature on the physicochemical and sensory characteristics of commercial apricot jam. *Food Chemistry*, 145, 23-27.
- [55] Özdoğan F., (2006). Domates reçel ürünlerinin gelistirilmesi ve değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- [56] Koç, E., Ömeroğlu, P.Y. (2019). Geleneksel anjelika (melek otu) reçelinin fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri. *Akademik Gıda*, 17(4), 485-496.

Muğla İlinde Üretilen Eşek Sütlerinin Cu, Fe, Mn ve Zn Element İçerikleri

Dilek Yıldız , Feyyaz Keskin 

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi, Muğla

Geliş Tarihi (Received): 07.07.2020, Kabul Tarihi (Accepted): 19.09.2021

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): dyildiz@mu.edu.tr (D. Yıldız)

☎ 0252 211 1675 📠 0252 211 5438

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, Muğla ilinde üretilen eşek sütlerinde Cu, Fe, Mn ve Zn elementlerinin tayini yapıldı. Muğla'da 6 farklı ilçeden emzirme döneminde olduğu tespit edilen eşeklerden, 20 adet eşek sütü örneği toplandı. Toplanan süt örnekleri, mikrodalga çözündürme sistemi ile çözündürüldükten sonra Cu, Fe, Mn ve Zn elementleri Elektrotermal Atomlaştırıcı Atomik Absorpsiyon Spektrometresi ile tayin edildi. Eşek sütü örneklerinde elementlerin derişim ortalaması Cu 2.96 ± 0.29 mg/kg, Fe 5.22 ± 0.74 mg/kg, Mn 0.09 ± 0.05 mg/kg ve Zn 16.27 ± 3.35 mg/kg olarak tespit edildi. Her bir element için gözlenebilirlik sınırı (LOD) ve tayin sınırı (LOQ) değerleri hesaplandı ve yöntemin doğruluğu standart referans malzeme ile (ERM-BD151, yağsız süt tozu) kontrol edildi.

Anahtar Kelimeler: Eşek sütü, Eser element, Atomik absorpsiyon spektrometresi

Contents of Cu, Fe, Mn and Zn Elements in Donkey Milk Produced in Muğla, Turkey

ABSTRACT

In this study, the concentrations of Cu, Fe, Mn and Zn trace elements were determined in donkey milk, which was produced in Muğla (Turkey). Milk samples of twenty different donkeys were collected from donkeys in the breastfeeding period from 6 different districts in Muğla. Milk samples were dissolved by microwave digestion system and Cu, Fe, Mn and Zn elements were determined by the electrothermal atomizer atomic absorption spectrometry. The mean content of Cu was 2.96 ± 0.29 mg/kg, Fe was 5.22 ± 0.74 mg/kg, Mn was 0.09 ± 0.05 mg/kg, and Zn was 16.27 ± 3.35 mg/kg. In addition, accuracy of the method was checked with standard reference material (ERM-BD151, skimmed milk powder). For each element, the detection limit and the quantification limit values were reported.

Keywords: Donkey milk, Trace element, Atomic absorption spectrometry

GİRİŞ

Memelilerin beslenmesinde önemli bir yeri olan süt, içerdiği makro ve mikro besin bileşenleri ile özellikle bebeklerin gelişiminde kritik bir rol oynamaktadır [1, 2]. Eşek sütü, daha düşük yağ, daha yüksek mineral ve laktoz içerdiğinden diğer geviş getiren hayvanların sütlerinden farklı bir yapıya sahiptir [2, 3]. Hatta anne sütüne olan benzerliği nedeniyle özellikle inek sütü proteinine karşı alerjisi olan bebeklerde anne sütü tamamlayıcısı olarak güvenli bir şekilde

kullanılabilmektedir [2, 4, 5]. Eşek sütü aynı zamanda güçlü antioksidan aktiviteye sahip olup, yaşlanma sürecini geciktiren maddeler ve insanın bağışıklık sistemini güçlendiren antimikrobiyal proteinler (immünoglobulinler, lizozim, laktoferrin vs.) açısından zengin olduğundan tıbbi ve kozmetik amaçlı kullanımı son yıllarda artmıştır [2-4]. Çin'in Sincan eyaletinde eşek sütü içerek tüberkülozu ve mide ülserini tedavi eden insanların olduğu, Avrupa ve Amerika'daki bazı ülkelerde, eşek sütünün giderek daha fazla insan tarafından kabul gören bir tür sağlık bakım ürünü olduğu belirtilmiştir [4, 6].

Türkiye'de ise eşek sütü başta kanser olmak üzere, astım, bronşit gibi birçok hastalığın tedavisinde alternatif tıp yöntemi ve bağışıklık sistemi sorunları olan çocuklarda da destekleyici gıda olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle eşek sütünün ticari bir ürün olarak geliştirilmesi ve kullanılmasının önemi giderek artmaktadır. Günümüzde eşek sütünün sağlık açısından kabul kriterleri bulunmadığından, eşek sütü üretiminin standartlaştırılması, ürün kalite kontrolünün güçlendirilmesi, tüketici ve işletmelerin haklarının korunması için uygun standartların belirlenmesi gerekmektedir. Son yıllarda eşek sütü ve ürünlerinin (kefir vs.) mikrobiyolojik profili ve riskleri, biyoaktiviteleri ve fizikokimyasal özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalar artsa da endüstrisinin gelişimini sağlayacak verilerin toplanması adına daha fazla çalışmanın yapılması gerekmektedir [3, 7-10].

Süt ve süt ürünleri ilgili en önemli hususlardan biri de potansiyel risk oluşturan pestisit, aflatoksin, ağır metaller gibi kimyasal bileşenlerdir [8, 11]. Süt ürünlerinin işlenmesi veya ambalajlanması sırasında kimyasal bulaşmalar meydana gelebileceği gibi, hayvan sağlığı için kullanılan ilaçlar, radyonüklidler, pestisitler, ağır metaller kimyasal kirleticiler olarak hayvan yemlerine girebilir ve kalıntılarını sütte bırakabilir [1, 5, 8, 12, 13]. Bunların içerisinde, doğada parçalanmayıp farklı kimyasal formlarda besin zinciri yoluyla canlıların yapısında birikebilen ağır metaller, atmosferik birikim, su ve toprak yoluyla da geniş bir alanda dağılım gösterebilmesinden dolayı en önemli grubu oluşturmaktadır [4, 14, 15]. Ayrıca ağır metal konsantrasyonları, süt ve süt ürünlerinin

hijyenik kalitesi ve sağlık açısından tüketilmesi için önemli bir göstergedir [1, 5, 16]. Bu bağlamda günlük hayatta sıkça tüketilen inek, keçi gibi hayvanların süt ile ilgili ağır metal çalışmaları oldukça fazla iken eşek sütleri ile ilgili araştırmalar oldukça azdır [1, 6, 8, 17]. Türkiye'de eşek sütünün element bileşimi ile ilgili Konya, Mardin ve Şanlıurfa'da yapılan yalnızca bir çalışma bulunmaktadır [1, 8]. Bu kapsam doğrultusunda çalışmamızın amacı; ülkemizin en önemli turizm bölgelerinden biri olan ve yıl boyunca çok sayıda yerli ve yabancı turisti ağırlayan Muğla ilinde, tüketimi gittikçe artan ve önemli bir ticari potansiyele sahip olan eşek sütünde Cu, Fe, Mn ve Zn elementlerinin tayinini yapmak ve daha öncesinde bu yörede bu konuda bir çalışma yapılmamasından dolayı elde edilecek olan sonuçlarla, gelecekteki çalışmalara da katkı sunmaktır.

MATERYAL ve METOT

Numune Toplanması ve Saklanması

Muğla ilinin altı farklı ilçesinden 2018 yılında Şubat-Kasım ayları arasında sabah 08.00-10.00 saatlerinde toplamda 20 adet eşek sütü örneği alındı. Örnekler polietilen kaplar içerisine alındı 2-4 saat arasında laboratuvara soğuk zincir ile getirildi. Toplanan örnekler analiz edilinceye kadar -20°C saklandı ve mümkün olan en kısa sürede (en fazla 48 saat) mikrodalga yardımıyla çözündürüldü. Örneklerin alındığı lokasyonlar, tarihleri ve örnek sayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Örnekleme noktaları ve örneklerin alınma tarihi

Table 1. Sampling points and sampling dates

Örnekleme Noktası		Örnek Sayısı	Örnekleme Zamanı
İlçe Adı	Lokasyon	n	Tarih
Dalaman	Kapıkargın	5	05.04.2018
			12.04.2018
			08.05.2018
			12.09.2018
			18.10.2018
Fethiye	Kargı	1	17.03.2018
Köyceğiz	Beyobası	1	10.04.2018
Marmaris	Söğüt ve Taşlıca	4	10.04.2018
			27.10.2018
Menteşe	Bozarmut	8	24.02.2018
			08.05.2018
			06.07.2018
			01.08.2018
			16.08.2018
18.10.2018			
Ula	Kızılyaka	1	03.03.2018

Kimyasallar ve Reaktifler

Tüm çözeltilerin hazırlanması için analitik saflıkta kimyasallar kullanıldı. Çalışma boyunca Milli-Q sistemi tarafından üretilen ultra saf kullanıldı (18.2 MΩ/cm, Millipore, Bedford, ABD). Tüm cam malzemeler ve polietilen kaplar %10'luk nitrik asit çözeltisi ve sonrasında ultra saf su ile yıkandı. Süt örneklerinin

çözündürülmesinde kullanılan Nitrik asit %65'lik (Merck Millipore) ve hidrojen peroksit %30'luk (Merck Millipore) kullanıldı. 0.5 M HNO₃ içerisinde hazırlanmış derişimi 1000 mg/L olan Merck marka Cu, Fe, Mn ve Zn standart çözeltileri kullanıldı. Ayrıca yöntemin doğruluğu için standart referans malzeme (ERM-BD151, Yağsız süt tozu) kullanıldı.

Cihazlar

Örnekler mikrodalga (Cem Mars 6) cihazında çözündürüldü. Cu, Fe, Mn, Zn içeriğinin belirlenmesinde Elektrotermal Atomlaştırıcı Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (Agilent GTA 120) kullanıldı.

Numune Hazırlanması

0.5 g örnek üzerine 6 mL %65'lik HNO₃ ve 1 mL %30'luk H₂O₂ eklendi. 15 dakika içerisinde 210°C çıkıldı ve bu sıcaklıkta 15 dakika beklendi. Yakılmış örnekler oda

sıcaklığında soğutuldu ve filtre edilerek süzülde ve 25 mL'ye tamamlandı.

BULGULAR ve TARTIŞMA

20 farklı eşek sütü örneğinin hem ilçeler arasındaki ortalaması hem de tüm örneklerin ortalaması, minimum ve maksimum değerleri Tablo 2'de verildi. Örnekler 3 tekrarlı analiz edildi ve sonuçlar %95 güven seviyesinde verildi. Analiz esnasında döteryum lamba ile zemin düzeltmesi yapıldı.

Tablo 2. Eşek sütü örneklerindeki Cu, Fe, Mn ve Zn derişimleri (ortalama±SS mg/kg)
Table 2. Cu, Fe, Mn and Zn concentrations in donkey milk samples (mean±SD mg/kg)

Örnekleme Noktası	Cu	Fe	Mn	Zn
Dalaman (n=5)	3.05±0.32	5.08±0.34	0.06±0.02	17.18±2.74
Fethiye (n=1)	3.05±0.00	4.90±0.02	0.06±0.02	18.84±0.00
Köyceğiz (n=1)	3.54±0.01	5.37±0.01	0.19±0.00	13.18±0.00
Marmaris (n=4)	3.01±0.19	5.24±0.47	0.07±0.03	14.36±2.52
Menteşe (n=8)	2.83±0.23	5.26±1.07	0.11±0.04	16.38±3.86
Ula (n=1)	2.65±0.02	5.64±0.00	0.16±0.02	19.06±0.00
Ortalama (n=20)	2.96±0.29	5.22±0.74	0.09±0.05	16.27±3.35
Minimum değer	2.50	4.04	0.02	7.45
Maksimum değer	3.54	7.53	0.19	20.58

Cu, Fe, Mn ve Zn elementlerinin tayini için kullanılan analitik yöntemin geçerli kılınması ile ilgili yapılan çalışmaların sonuçları Tablo 3'te verildi. Yöntemin

doğruluğu standart referans malzeme (ERM-BD151, Yağsız süt tozu) ile kontrol edildi. % Bağıl hata değerleri hesaplandı.

Tablo 3. Analitik yöntemin geçerli kılınması çalışmalarının sonuçları

Table 3. Results of analytical method validation studies

Element	Kalibrasyon aralığı (µg L ⁻¹)	R ²	LOD (µg L ⁻¹)	LOQ (µg L ⁻¹)	Sertifikalı değer (mg kg ⁻¹)	Bulunan değer (mg kg ⁻¹)	Bağıl hata (%)
Cu	3-30	0.9985	0.29	0.95	5.00±0.23	5.54±0.09	10.80
Fe	3-30	0.9982	0.29	0.96	53.00±4.00	51.31±3.25	3.19
Mn	1.2-12	0.9993	0.10	0.34	0.29±0.03	0.30±0.03	3.45
Zn	2-32	0.9927	0.01	0.03	44.90±2.30	43.06±1.51	4.10

Tablo 2'de verilen sonuçlara göre, tüm eşek sütü örneklerinde element derişimlerinin sıralaması Zn>Fe>Cu>Mn olarak tespit edildi. Cu, Fe Mn ve Zn toksik olmayan elementler sınıfında olmalarına rağmen, canlı bünyesinde fazla birikimleri veya yetersizlikleri durumunda pek çok hastalığın nedeni olabilmektedirler. Bu hastalıklar, maruz kalma seviyesine ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Bunlar kendilerini akut veya kronik zehirlenme, doku ve organlarda hasar, büyüme inhibisyonu, alerji, zihinsel ve psikiyatrik bozukluklar, kardiyovasküler ve hematopoetik hastalıklar, akciğer iltihabı ve bronşit şeklinde gösterebilirler [18].

Zn, metabolizma ve hücre büyümesinde rol alan bazı enzimler için kofaktör olarak işlev gören temel bir eser elementtir, yaklaşık 300 spesifik enzimin yapısında bulunur [19-21]. Bu nedenle, insan sağlığı açısından hayati bir öneme sahip olup, birçok biyokimyasal süreçte önemli rol oynar [22]. Bu çalışmada, Zn derişimi ortalaması 16.27 mg/kg olarak tespit edildi ve literatür verileri ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu görüldü. İtalya'da eşek sütü örnekleri ile yapılan bir çalışmada Zn derişiminin maksimum 4.57 mg/kg [5], yine

eşek sütüyle ilgili yapılan başka bir çalışmada Zn derişiminin ortalaması 5.02 mg/kg olarak tespit edilmiştir [23]. Fakat Türkiye'de gerçekleştirilen bir çalışmada eşek sütündeki Zn derişiminin 1.78-10.97 mg/L arasında olduğu tespit edilmiştir [1]. Anne sütü ile yapılan çalışmalarda ise Zn derişimi ortalamaları 5.32 mg/kg, 1.45 mg kg⁻¹ ve 2.68 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur [24-26].

Hemoglobinde bulunan ve kana kırmızı rengini veren Fe, oksijeni akciğerlerden dokulara aktaran protein yapıları içerisinde bulunur ve aynı zamanda büyüme, gelişme, hücre fonksiyonları ve bazı hormonların ve bağ dokularının sentezi için de gereklidir [22, 27-29]. Bu çalışmada Fe derişim ortalaması ise 5.22 mg/kg olarak bulundu. Bu sonuç İtalya'da eşek sütünde yapılan bir çalışmada elde edilen değer (2.22 mg/kg) ile karşılaştırıldığında, 2 katından daha fazla olduğu tespit edildi [5]. Bir diğer çalışmada eşek sütünde Fe derişimi 5.40 mg/kg olarak tespit edilmiş ve bu çalışmanın sonucu ile uyumlu olduğu görülmektedir [23]. Türkiye'de Konya, Mardin, Şanlıurfa yöresinde yapılan çalışmaya göre ise eşek sütündeki Fe derişimlerinin 1.86-5.8 mg/L aralığında değiştiği bulunmuştur [1]. Ayrıca anne sütünde yapılan

çalışmalarda Fe derişimleri 0.11-1.57 mg/kg ve 1.19 mg/kg olarak rapor edilmiştir [25, 30].

Mn, vücutta küçük miktarlarda bulunan eser bir mineraldir. İnsan sağlığı için en önemli besinlerden biridir. Ortalama insan vücudu yaklaşık 12 mg Mn içerir. Bunun yaklaşık %43'ü iskelet sisteminde bulunurken geri kalanı karaciğer, pankreas, böbrekler, beyin ve merkezi sinir sistemi gibi yumuşak dokularda görülür [31, 32]. Mn vücudun; bağ dokusu, kemikler, kan pıhtılaşma faktörleri ve cinsiyet hormonları oluşmasına yardımcı olur [33, 34]. Aynı zamanda yağ ve karbonhidrat metabolizması, kalsiyum emilimi ve kan şekeri regülasyonunda rol oynar [35, 36]. Mn ayrıca normal beyin ve sinir fonksiyonları için de gereklidir. Ek olarak, Mn, oksijen işleyen enzimler dahil, enzim sistemlerinin önemli bir bileşenidir. Serbest radikallerle savaşmaya yardımcı olan antioksidan SOD'nin bir bileşenidir [22, 37, 38]. Bu çalışmada Mn konsantrasyonu 0.09 mg/kg olarak bulundu. Literatürde ise eşek sütleri ile yapılan çalışmalarda ortalama 0.046 mg/kg ve eser miktarda Mn konsantrasyonu bulunmuştur [5, 23]. Anne sütünde Mn konsantrasyonu belirlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda ise şu sonuçlara rastlanmıştır: 0.018 mg/kg [26], 0.0018–0.025 mg/kg [30], 0.011 mg/kg [25]. Bu çalışmadaki sonuçların, literatürdeki çalışmalar ile benzer olduğu ve sütün bileşiminde diğer elementlere göre oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Cu, sitokrom oksidaz, monoamin oksidaz, katalaz, peroksidaz, askorbik asit oksidaz, laktaz, tirozinaz ve süperoksit dismutaz (SOD) gibi birkaç enzimin temel bir bileşenidir. Üstelik, çok çeşitli enzimlerdeki varlığı nedeniyle, Cu birçok metabolik reaksiyona katılmaktadır. Örneğin, SOD'da Cu varlığı, süperoksitin oksijene ve hidrojen peroksite dönüştürülmesine yardımcı olur [39, 40]. Cu, hematolojik ve nörolojik sistemler için gerekli olan temel bir mikro besindir. Kemiğin büyümesi ve oluşumu, sinir sistemlerinde miyelin kılıflarının oluşumu, hemoglobinde Fe'nin bulunmasına yardımcı olur, Fe'nin gastrointestinal sistemden emilimine yardımcı olur ve Fe'nin dokulardan plazmaya aktarılmasına yardım eder [22, 41]. Yapılan bu çalışmada ortalama Cu konsantrasyonu 2.96 mg/kg olarak bulundu. Literatür araştırmalarımız sonucunda eşek sütlerinde Cu konsantrasyonunu ortalama 0.163 mg/kg [5], 0.036-0.490 mg/kg [33] olarak tespit edildiği görüldü. Türkiye'de eşek sütlerinde yapılan çalışmada 0.052-0.277 mg/L aralığında Cu miktarı tespit edilmiştir [1].

Bu sonuçlara göre Muğla ilinde üretilen eşek sütlerinin tüketilmesinin insan sağlığı üzerine olası riskleri değerlendirildiğinde eşek sütünde Cu, Fe, Mn ve Zn elementleri ile ilgili herhangi bir yasal kriter olmaması durumu zorlaştırmaktadır. Ancak tüketilen bazı ürünlerdeki yasal limitlerin çok yüksek olması göz önüne alındığında ve bu elementlerin toksik olmaması nedeniyle insan sağlığı açısından potansiyel bir risk oluşturmayacağı söylenebilir. Ayrıca eşek sütünün tıbbi amaçlı tüketiminin tercih edilmesi, inek sütü gibi günlük hayatta çok sık ve fazla miktarlarda tüketilmemesi ve tüketim yoluyla maruziyet oranının düşük olması da oluşabilecek riskleri azaltmaktadır. Yine de önemi gün geçtikçe artan ve ticari potansiyeli yüksek olan eşek

sütünün insan sağlığı üzerindeki riskleri ve yasal limitlerin oluşturulması adına daha detaylı çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır.

SONUÇ

Muğla ilinde altı farklı ilçeden toplanan eşek sütü örneklerinde Cu, Fe, Mn ve Zn elementlerinin tayin edilmesini kapsayan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, literatür verileri ile karşılaştırıldığı zaman Cu ve Zn'nin oldukça yüksek, Fe ve Mn'nin ise literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir. Süt numunelerindeki temel element ve ağır metal varlığı, su, yem ve meralarla ilgili olabilmektedir [1]. Ayrıca bu uyumsuzluk hayvan cins ve laktasyon süresi uzunluğu ile de farklılık gösterebilmektedir [42]. Potorti vd. [5] tarafından yapılan çalışmada eşek sütlerinde bazı elementlerin (Cu, Fe ve Zn gibi) konsantrasyonlarının diyet ve coğrafi kökenden etkileneceği bildirilmiştir.

Özellikle atmosferik birikim yoluyla taşınan ve toprak yapısında yüksek derişimlerde bulunan elementler burada yetişen bitkilerin yapısında önemli derecede birikebilmekte ve besin zinciri yoluyla bunları tüketen canlılarda birikebilmektedir. Bu nedenle çalışmamızdaki sonuçların çevresel koşullar ve hayvanların doğada farklı otlarla beslenmesi ve hayvan sahiplerinin kullandıkları yemlerle ilgili olduğu düşünülmektedir.

Süt numunelerindeki element konsantrasyonları hayvan türlerine, bölgeye, sağlık durumuna, laktasyon evresine, annenin yaşına ve ayrıca çevre, beslenme ve mevsim gibi dış faktörlere göre değişmektedir [1]. Bizim çalışma bölgemiz ile literatür verilerindeki çalışma bölgelerinin çevre ve mevsimsel özellik olarak çok farklı olması sonuçlarımız arasındaki farkı açıklamaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] Paksoy, N., Dinç, H., Altun, S.K. (2018). Evaluation of levels of essential elements and heavy metals in milks of dairy donkeys, goats and sheep in Turkey. *Pakistan Journal of Zoology*, 50(3).
- [2] Madhusudan, N.C., Ramachandra, C.D., Udaykumar, N.D., Sharnagouda, H.D., Nagraj, N.D., Jagjivan, R.D. (2017). Composition, characteristics, nutritional value and health benefits of donkey milk-A review. *Dairy Science & Technology*.
- [3] Tavşanlı, H., Gökmen, M., Önen, A. (2020). Chemical and microbiological quality of donkey milk. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 67(3), 243-24.
- [4] Prasad, S., Saluja, R., Joshi, V., Garg, J.K. (2020). Heavy metal pollution in surface water of the Upper Ganga River, India: human health risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(11), 1-15.
- [5] Potorti, A.G., Di Bella, G., Turco, V.L., Rando, R., Dugo, G. (2013). Non-toxic and potentially toxic elements in Italian donkey milk by ICP-MS and multivariate analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 31(1), 161-172.
- [6] Aspri, M., Economou, N., Papademas, P. (2017). Donkey milk: An overview on functionality,

- technology, and future prospects, *Food Reviews International*, 33, 316-333.
- [7] Yirmibeşoğlu, S.S.S., Öztürk, B.E.T (2020). Comparing microbiological profiles, bioactivities, and physicochemical and sensory properties of donkey milk kefir and cow milk kefir, *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 44, 774-781.
- [8] Conte, F., Panebianco, A. (2019). Potential hazards associated with raw donkey milk consumption: A review, *International Journal of Food Science*. Article ID 5782974. <https://doi.org/10.1155/2019/5782974>.
- [9] Esener, O.B.B., Balkan, B.M. Uvez, E.A. Yildiz, G., Hafizoglu, M., Yilmazer, N., Gurevin, E.G. (2018) Donkey milk kefir induces apoptosis and suppresses proliferation of Ehrlich ascites carcinoma by decreasing iNOS in mice, *Biotechnic & Histochemistry*, 93(6), 424-431.
- [10] Hikmet, D., Altun, S.K. (2017) Presence of Escherichia Coli in Urfa Cheese and in vitro screening of donkey milk and essential oil of micromeria congesta for antibacterial activity using disc diffusion method. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 2(2), 139-145.
- [11] Chen, L., Li, X., Li, Z., Deng, L. (2020). Analysis of 17 elements in cow, goat, buffalo, yak, and camel milk by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *RSC Advances*, 10(12), 6736-6742.
- [12] Longodor, A. L., Mireşan, V., Odagiu, A., Marchiş, Z., Baltă, I., Andronie, L., Coroian, A. (2019). Heavy Metals from Donkey (*Equus asinus*) Milk. *ProEnvironment/ProMediu*, 12(40).
- [13] Kılıç, M., Bozkaya, O. (2017). Çiğ süt örneklerinde ağır metal ve metal kontaminasyonlarının belirlenmesi ve sağlık üzerine etkisi. *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 16(1), 1-10.
- [14] Mama, C.N., Nnaji, C.C., Emenike, P.C., Chibueze, C.V. (2020). Potential environmental and human health risk of soil and roadside dust in a rapidly growing urban settlement. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4), 2385-2400.
- [15] Bartholomew, C.S., Li, N., Li, Y., Dai, W., Nibagwire, D., Guo, T. (2020). Characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dust for children in Jinhua, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5), 5042-5055.
- [16] Singh, M., Yadav, P., Garg, V.K., Sharma, A., Singh, B. and Sharma, H. (2015). Quantification of minerals and trace elements in raw caprine milk using flame atomic absorption spectrophotometry and flame photometry. *Journal of Food Science and Technology*, 52(8), 5299-5304.
- [17] Miedico, O., Tarallo, M., Pompa, C., Chiaravalle, A.E. (2016). Trace elements in sheep and goat milk samples from Apulia and Basilicata regions (Italy): Valuation by multivariate data analysis. *Small Ruminant Research*, 135, 60-65.
- [18] Długaszek, M. (2019). Studies on relationships between essential and toxic elements in selected body fluids, cells and tissues. *Chemico-Biological Interactions*, 297, 57-66.
- [19] Osredkar, J., Sustar, N. (2011). Copper and zinc, biological role and significance of copper/zinc imbalance. *Journal of Clinic Toxicol S*, 3(2161), 0495.
- [20] Prasad, A.S. (2003). Zinc deficiency: has been known of for 40 years but ignored by global health organisations.
- [21] Plum, L.M., Rink, L., Haase, H. (2010). The essential toxin: impact of zinc on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(4), 1342-1365.
- [22] Al-Fartusie, F.S., Mohssan, S.N. (2017). Essential trace elements and their vital roles in human body. *Indian Journal of Advances in Chemical Sciences*, 5(3), 127-136.
- [23] Salimei, E., Fantuz, F. (2012). Equid milk for human consumption. *International Dairy Journal*, 24(2), 130-142.
- [24] Honda, R., Tawara, K., Nishijo, M., Nakagawa, H., Tanebe, K., Saito, S. (2003). Cadmium exposure and trace elements in human breast milk. *Toxicology*, 186(3), 255-259.
- [25] Yamawaki, N., Yamada, M., Kan-no, T., Kojima, T., Kaneko, T., Yonekubo, A. (2005). Macronutrient, mineral and trace element composition of breast milk from Japanese women. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 19(2-3), 171-181.
- [26] Nascimento, R. S., Froes, R. E., Silva, N. O., Naveira, R. L., Mendes, D. B., Neto, W. B., Silva, J. B. B. (2010). Comparison between ordinary least squares regression and weighted least squares regression in the calibration of metals present in human milk determined by ICP-OES. *Talanta*, 80(3), 1102-1109.
- [27] Wessling-Resnick, M. (2014). Iron. Modern nutrition in health and disease. (Ross AC, Caballero B, Cousins RJ, Tucker KL, Ziegler RG, eds).
- [28] Aggett, P.J. (2012). Iron. Present knowledge in nutrition. (Erdman JW, Macdonald IA, Zeisel SH, eds).
- [29] Coates, P.M., Betz, J.M., Blackman, M.R., Cragg, G.M., Levine, M., Moss, J., White, J.D. (Eds.). (2010). *Encyclopedia of Dietary Supplements*. CRC Press.
- [30] Prohaska, T., Köllensperger, G., Krachler, M., De Winne, K., Stingeder, G., Moens, L. (2000). Determination of trace elements in human milk by inductively coupled plasma sector field mass spectrometry (ICP-SFMS). *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 15(4), 335-340.
- [31] Roger, M. (2011). *The Minerals You Need, USA: Safe Goods Publishing*, p21.
- [32] Emsley, J. (2001). *Manganese. Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, Oxford, UK: Oxford University Press, 249p.
- [33] Fraga, C.G. (2005). Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine*, 26(4-5), 235-244.
- [34] Palacios, C. (2006). The role of nutrients in bone health, from A to Z. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(8), 621-628.
- [35] Henn, B.C., Ettinger, A.S., Schwartz, J., Téllez-Rojo, M.M., Lamadrid-Figueroa, H., Hernández-Avila, M.,

- Wright, R.O. (2010). Early postnatal blood manganese levels and children's neurodevelopment. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 21(4), 433.
- [36] Avila, D.S., Puntel, R.L., Aschner, M. (2013). Manganese in health and disease. In *Interrelations between essential metal ions and human diseases* (199-227). Springer, Dordrecht.
- [37] Law, N.A., Caudle, M.T., Pecoraro, V.L. (1998). Manganese redox enzymes and model systems: properties, structures, and reactivity. In *Advances in Inorganic Chemistry*, 46, 305-440.
- [38] Treiber, N., Maity, P., Singh, K., Ferchiu, F., Wlaschek, M., Scharffetter-Kochanek, K. (2012). The role of manganese superoxide dismutase in skin aging. *Dermato-Endocrinology*, 4(3), 232-235.
- [39] Uauy, R., Olivares, M., Gonzalez, M. (1998). Essentiality of copper in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 67(5), 952S-959S.
- [40] Angelova, M., Asenova, S., Nedkova, V., Koleva-Kolarova, R. (2011). Copper in the human organism. *Trakia Journal of Sciences*, 9(1), 88-98.
- [41] Tan, J.C., Burns, D.L., Jones, H.R. (2006). Severe ataxia, myelopathy, and peripheral neuropathy due to acquired copper deficiency in a patient with history of gastrectomy. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 30(5), 446-450.
- [42] Malacarne, M., Criscione, A., Franceschi, P., Bordonaro, S., Formaggioni, P., Marletta, D., Summer, A. (2019). New insights into chemical and mineral composition of donkey milk throughout nine months of lactation. *Animals*, 9(12), 1161.
-
-

A Study of Food Poisoning Cases in Turkey from 2016 to 2020 According to the Written and Visual Media

Burhan Başaran  

Department of Travel, Tourism and Recreation Services, Ardeşen Vocational School, Recep Tayyip Erdogan University, Rize 53100, Turkey

Received (Geliş Tarihi): 15.01.2021, Accepted (Kabul Tarihi): 29.07.2021

✉ Corresponding author (Yazışmalardan Sorumlu Yazar): burhan.basaran@erdogan.edu.tr (B. Başaran)

☎ +90 464 715 1617 📠 +90 464 715 1009

ABSTRACT

This study aims to examine and statistically analyze the cases of food poisoning in Turkey between 2016 and 2020, and the number of people affected by these cases. The data on food poisoning were obtained from news sources published in the written and visual media while weather temperature and relative humidity values were obtained from the Ministry of Agriculture and Forestry. Frequency distributions and Kruskal Wallis and Bonferroni non-parametric tests were used to evaluate the data. A total of 504 cases of food poisoning (100.8 cases/year, 42 cases/month) were experienced in Turkey between 2016 and 2020, and the estimated number of people affected by those cases is 27,196. Surprisingly, most cases of food poisoning occurred in autumn and winter while the lowest number of cases took place in summer. Students and employees were most affected by food poisoning. No direct correlation of food poisoning with ambient temperature and relative humidity was determined. The study is the first research conducted in Turkey in this area, and can be used to develop strategies and policies for food safety.

Keywords: Food poisoning, Climatic conditions, Seasonal change, Ambient temperature, Relative humidity, Turkey

Türkiye’de Gıda Zehirlenmesi Vakalarının İncelenmesi: 2016-2020

ÖZ

Bu çalışmanın amacı; 2016-2020 yılları arasında Türkiye’de yaşanan gıda zehirlenme vakalarını, bu vakalardan etkilenen kişi sayılarını incelemek ve istatistiksel olarak analiz etmektir. Gıda zehirlenmelerine ait veriler yazılı ve görsel medyada çıkan ve haber niteliği taşıyan kaynaklardan elde edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde frekans dağılımları, nonparametrik testlerden Kruskal Wallis ve Bonferroni testi kullanılmıştır. 2016-2020 yılları arasında Türkiye’de toplam 504 gıda zehirlenme vakası (100,8 vaka sayısı/yıl, 42 vaka sayısı/ay) yaşanmış ve bu vakalardan tahmini 27 196 kişi etkilenmiştir. Şaşırtıcı bir şekilde gıda zehirlenme vakaları en çok sonbahar ve kış mevsiminde en az yaz mevsiminde gerçekleşmiştir. Gıda zehirlenmelerinden en çok öğrenciler ve çalışanlar etkilenmiştir. Hava sıcaklığı ve nispi nemin gıda zehirlenme vakalarıyla doğrudan bir ilişkisi saptanmamıştır. Çalışma bu alanda Türkiye’de yapılan ilk araştırmadır.

Anahtar Kelimeler: Gıda zehirlenmesi, İklim koşulları, Ortam sıcaklığı, Bağıl nem, Türkiye

INTRODUCTION

Foodborne diseases are a problem that has existed since the dawn of humanity and significantly threatens

public health [1]. It is estimated that about 30% of infections occurring in the past 60 years have been caused by food only [2]. Foodborne diseases, which differ between countries and societies [3], are

particularly common in underdeveloped countries [4]. Today, the global dimension of food production and sales increases the risk of foodborne poisoning and outbreaks worldwide. In this sense, many cases of poisoning and outbreaks resulting from Norovirus [5], *Clostridium botulinum* [6], the melamine chemical [7], Cryptosporidiosis [8], *Salmonella* [9], Hepatitis A [10], *Escherichia coli*, Shiga-toxin, Listeriosis, *Vibrio parahaemolyticus*, *Cyclospora* [11] etc. have been reported in different parts of the world.

The global extent of foodborne illnesses is not still fully known as many countries do not regularly record such data. However, it has a significant impact on the economy, particularly on health, tourism, agriculture, and the food industry [12, 13]. In 2010, the World Health Organization (WHO) conducted research in different regions of the world to determine the global extent of foodborne diseases, and published the results in 2015. It was reported that 31 different foodborne hazards caused by 14 parasites, 3 chemicals and toxins, 2 viruses and 12 bacteria caused nearly 600 million cases and killed 420,000 people. The report also stated that approximately 230,000 people had died due to foodborne diarrhea mainly caused by non-typhoidal *Salmonella enterica* (59,000), enteropathogenic *E.coli* (EPEC) (37,000), and Norovirus (35,000). Other foodborne (excluding diarrhea) deaths were mostly caused by *Salmonella Typhi* (52,000), helminth *T. solium* (28,000), the hepatitis A virus (28,000) and aflatoxin (20,000). The report also stated that 40% of the foodborne diseases occurred among children under the age of 5. WHO also evaluated foodborne diseases on the basis of regions. Accordingly, the African subregions, South-East Asian subregions, and Eastern Mediterranean subregions are places where foodborne diseases occur most while the European subregions, Western Pacific subregions, and American subregions are regions where they are experienced least [14]. Moreover, more than 1,954,336 people died because of the COVID-19 disease [15], which was claimed to emerge in a wet market in the city of Wuhan in China and was declared a global pandemic by WHO on 11 March 2020.

Foodborne diseases are often referred to food poisoning [16]. Food poisoning occurs 24 to 72 hours after foods contaminated with bacteria, viruses, parasites, toxins, or chemicals (water, soil, air, human, animal, machine, packaging, hygiene, storage conditions, cooking, etc.) are consumed [17], usually showing symptoms such as high fever, vomiting, nausea, stomach pain, stomach cramps, diarrhea, and weakness, etc. [18]. Food poisoning is usually a mild disease. But it can lead to serious consequences or even death in infants, children, the elderly, pregnant women, or individuals with poor immunity due to chronic illness [19].

The microorganisms, especially bacteria, which cause food poisoning, can multiply rapidly under certain conditions. These conditions can be divided into two as intrinsic (water activity, PH, redox potential, antimicrobial constituents, content of nutrients, such as inhibiting substances and biological structures) and extrinsic

(storage temperature, oxygen availability, relative humidity, gas composition in the environment, such as the presence of other microorganisms) factors [20]. By controlling these factors, microbiological activities are limited, and food poisoning can be prevented. The number of studies examining ambient temperature, other seasonal features and the effects of climate change on microorganism development, food safety, and human health has been increasing recently [21-24].

Foodborne diseases continue to be the focus of food producers and government authorities due to the human dimension and economic dimension of food poisoning, and the increasing perceptions of consumers about quality of life in today's world [25, 26]. In this context, a dynamic period in which many long-term policies and strategies have been developed (such as GAP, GMP, HACCP, ISO 22000, BRC etc.) has started [27]. Activities related to food poisoning in Turkey are carried out under the Coordination of the Ministry of Food, Agriculture and Livestock, the Ministry of Health, and the Ministry of Justice. Food poisoning ranks second after drug poisoning in poisoning cases at emergency services in Turkey [28]. Policies to prevent food poisoning should be developed through extensive research based on aggregate data [29, 30]. However, no systematic and comprehensive study of food poisoning has been carried out in Turkey so far.

This study aims to examine and statistically analyze the food poisoning cases in Turkey between 2016 and 2020, and the number of people affected by these cases in terms of variables such as year, region, season, month, temperature, relative humidity, location, and occupation.

MATERIALS and METHODS

Statistical information on food poisoning in Turkey is limited. The data of this study on food poisoning cases that occurred between 2016 and 2020 were obtained from news sources in the written and visual media (TV, web page, written and electronic newspapers, magazines, etc.), with the support of a news agency. As a result of the filtering of the specific keyword "poison", a total number of 5,842 newspapers were accessed. 1,224 of which from the year 2016, 931 from 2017, 1,276 from 2018, 1,452 from 2019, and 959 from 2020, respectively. Mean weather temperature and humidity values were obtained from the Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Meteorology (MEVBIS) with the permission letter (95579059-107-E.9159). The data were transferred to the IBM SPSS Statistics 23 program (Armonk, New York U.S.A), and the analyses were completed. Frequency distributions and descriptive statistics were used for categorical variables and numerical variables respectively when evaluating the data. The Kolmogorov-Smirnov normality test was applied to the variable of the number of people affected by food poisoning in order to decide the analyses to be applied to the data. The test results showed that the normality assumption could not be achieved, and therefore the Kruskal Wallis and

Bonferroni tests were used for the comparisons. The findings were visualized with tables and graphics.

Table 1 shows the frequency distributions of the categorial variables related to the food poisoning cases in Turkey between 2016 and 2020, and the estimated number of people affected by those cases.

RESULTS and DISCUSSION

Table 1. Distribution of the information about food poisoning

	Number of Food Poisoning		Number of Affected People	Mean Temperature ^a	Mean Humidity ^a
	n=504	%		Mean±SD	Mean±SD
<i>Year</i>					
2016	82	16.3	4,361	14.08±8.984	65.32±16.047
2017	87	17.3	3,403	14.71±7.720	62.22±18.952
2018	113	22.4	5,401	16.32±8.704	61.78±18.340
2019	128	25.4	9,976	16.64±7.745	63.75±19.180
2020	94	18.7	4,055	14.60±8.257	60.17±18.167
<i>Month</i>					
January	19	3.8	729	6.12±5.427	65.28±16.695
February	33	6.5	994	8.44±3.759	61.24±19.039
March	47	9.3	1,835	9.99±4.205	65.46±19.655
April	44	8.7	1,457	14.95±5.573	60.00±16.017
May	31	6.2	3,141	17.52±4.098	56.32±19.041
June	19	3.8	789	22.69±4.796	59.03±19.989
July	55	10.9	6,943	26.47±3.785	62.09±19.621
August	37	7.3	1,466	26.28±3.657	65.23±16.570
September	38	7.5	2,162	22.36±3.186	65.83±20.525
October	56	11.1	3,108	16.35±4.501	64.03±16.777
November	53	10.5	2,027	11.62±4.108	61.18±19.976
December	72	14.3	2,545	6.58±5.076	63.37±16.359
<i>Season</i>					
Spring	122	24.2	6,433	13.70±5.619	61.17±18.482
Summer	111	22.0	9,198	25.76±4.140	62.61±18.679
Autumn	147	29.2	7,297	16.20±5.806	63.46±18.931
Winter	124	24.6	4,268	7.01±4.862	63.10±17.067
<i>Region</i>					
Aegean	95	18.8	9,087	17.98±8.725	55.74±17.511
Mediterranean	50	9.9	1,882	17.74±7.604	61.27±19.969
Marmara	78	15.5	3,335	16.97±6.989	65.35±19.154
Central Anatolia	72	14.3	3,437	13.20±8.997	62.01±18.631
Black Sea	114	22.6	5,099	13.59±7.270	64.15±17.531
Southeastern Anatolia	61	12.1	2,630	15.13±8.391	67.33±14.782
Eastern Anatolia	34	6.7	1,726	12.93±9.398	65.46±19.113
<i>Place</i>					
House	81	16.1	1,790	16.60±8.339	65.00±17.437
Workplace	89	17.7	7,926	18.16±8.230	60.46±18.626
Restaurant	68	13.5	1,053	15.54±7.967	63.51±18.334
Mevlit	30	6.0	1,637	19.64±7.948	64.59±20.666
School	135	26.8	6,831	11.16±7.025	63.16±17.094
Dormitory	47	9.3	2,359	12.09±6.704	61.75±20.364
Other*	54	10.7	5,600	20.35±7.206	59.92±18.808

	Number of Food Poisoning		Number of Affected People	Mean Temperature ^a	Mean Humidity ^a
	n=504	%	27,196	Mean±SD	Mean±SD
<i>Profession</i>					
Employee	95	18.8	8,182	18.64±8.232	60.87±18.623
Student	218	43.3	10,151	11.75±6.970	62.55±17.700
Citizen	154	30.6	5,566	17.54±8.003	64.43±18.580
Other**	37	7.3	3,297	20.17±8.314	60.17±19.597
<i>Temperature (°C)</i>					
-10-0	15	3.0	407		
1-10	151	30.0	5,474		
11-20	181	35.9	10,012		
21-30	141	28.0	10,707		
31-40	16	3.2	596		
<i>Relative Humidity (%)</i>					
0-25	9	1.8	550		
26-50	129	25.6	10,908		
51-75	232	46.0	9,434		
76-100	134	26.6	6,304		

^a The mean temperature and humidity values for the last 7 days before the food poisoning occurred. * Other: Military, Soup Kitchen, Prison, Wedding, Hospital, Iftar, Hotel. ** Other: Soldier, Prisoner, Tourist

Table 1 indicates that 82 (16.3%), 87 (17.3%), 113 (22.4%), 128 (25.3%), and 94 (18.7%) cases of food poisoning occurred in 2016, 2017, 2018, 2019, and

2020, respectively. The number of cases of food poisoning and the estimated number of people affected by those cases were the highest in 2019 (Figure 1).

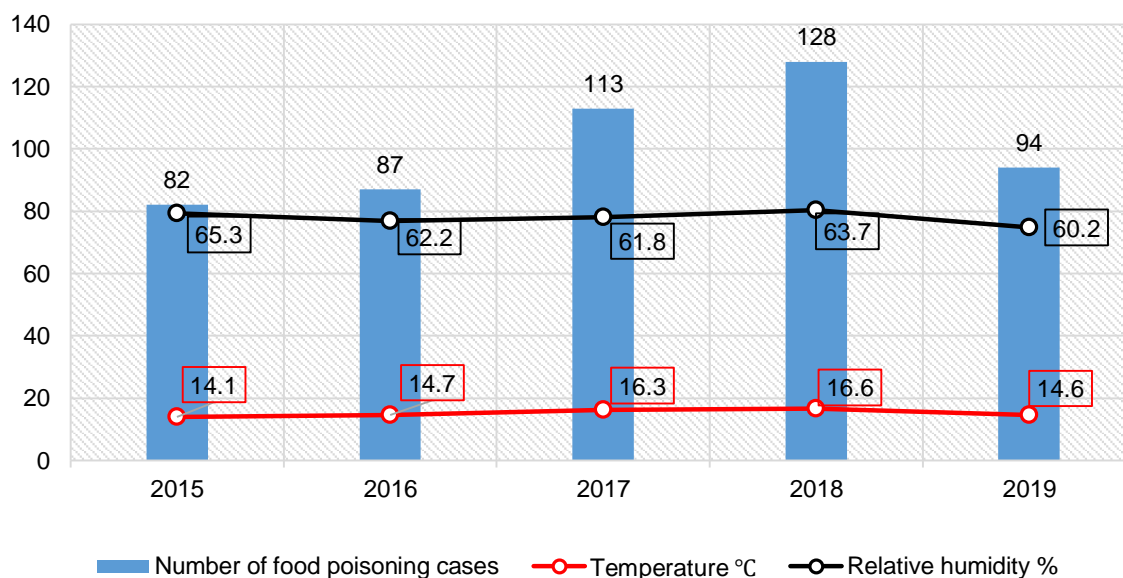


Figure 1. Number of food poisoning cases by year

The number of food poisoning cases was the lowest in January and June by 3.8% (n=19) each and the highest in December and October by 14.3% (n=72) and 11.1% (n=56), respectively. The estimated number of people affected by food poisoning was the highest in July (6,943) (Figure 2). Mun (2020) states that the frequency of only foodborne outbreaks between 2009 and 2016

were highest in May (10.2%), March (9.7%), June (9.5%), and December (9.4%), and the number of foodborne diseases was the highest in December (10.2%), April (9.7%), June (9.6%), and May (9.4%) based on the data from The National Outbreak Reporting System (NORS) [31].

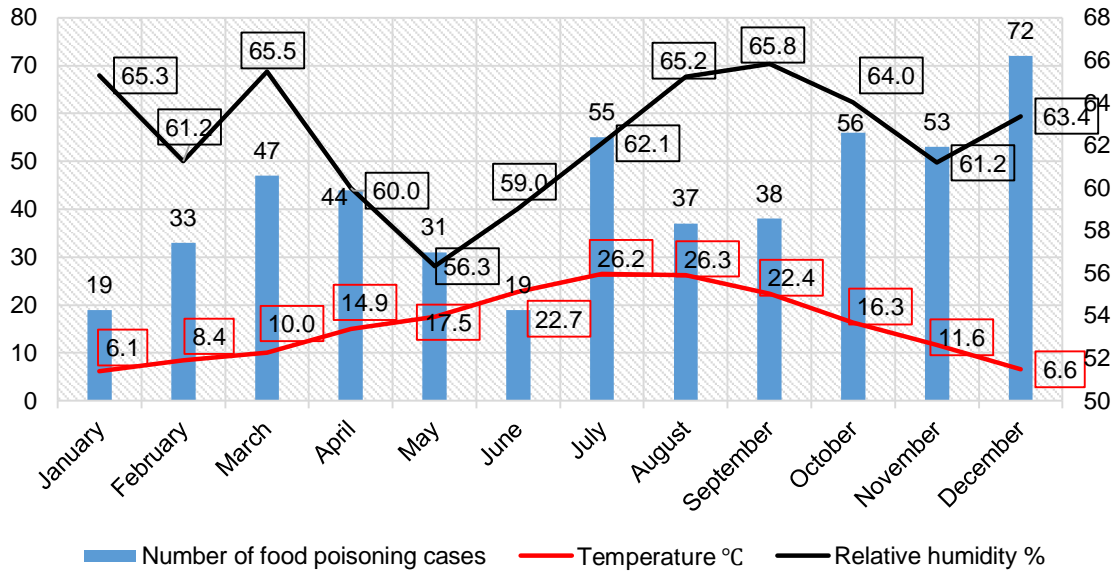


Figure 2. Number of food poisoning cases by months

The numbers of food poisoning cases by seasons are as follows in a descending order: 29.2% (n=147) in autumn, 24.6% (n=124) in winter, 24.2% (n=122) in spring and 22.0% (n=111) in summer. Although the number of food poisoning cases is the lowest in the summer season, it ranks first in terms of the number of people affected by food poisoning (9,198) (Figure 3). Various scholars (Hall et al., 2002; Yun et al., 2016)

state that there is a correlation between seasonal differences and variety of food poisoning [32, 33] while others state that there may be peaks in food poisoning in different seasons, especially during the summer months [34, 35]. According to Mun (2020), NORS has clearly stated that apart from food, water and other resources, seasonality has a very strong impact on emergence of enteric diseases [31].

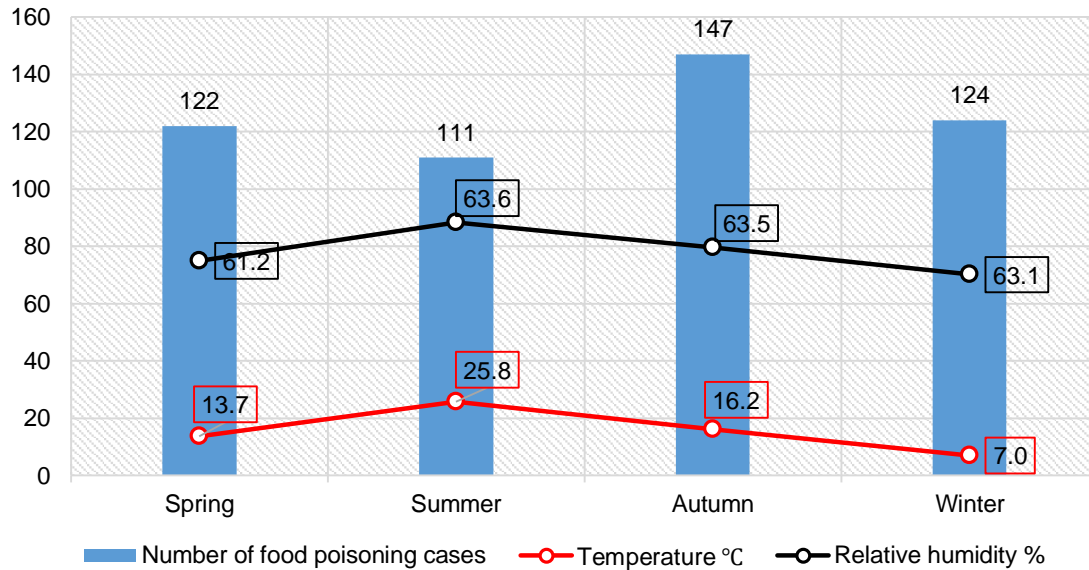


Figure 3. Number of food poisoning cases by seasons

The numbers of food poisoning cases in the seven geographical regions of Turkey are listed in a descending order as follows: 22.6% (n=114) in the Black Sea, 18.8% (n=95) in the Aegean, 15.5% (n=78) in Marmara, 14.3% (n=72) in the Central Anatolia, 12.1% (n=61) in the Southeastern Anatolia, 9.9% (n= 50) in the Mediterranean, and 6.7% (n=34) in the Eastern Anatolia

region (Figure 4). The number of people affected by food poisoning was the highest in the Aegean region (9,087) and the lowest in the Eastern Anatolia (1,726) region. It is stated that regional differences in climatic conditions have the potential to affect foodborne pathogens and outbreaks, and cases of food poisoning [36, 37].

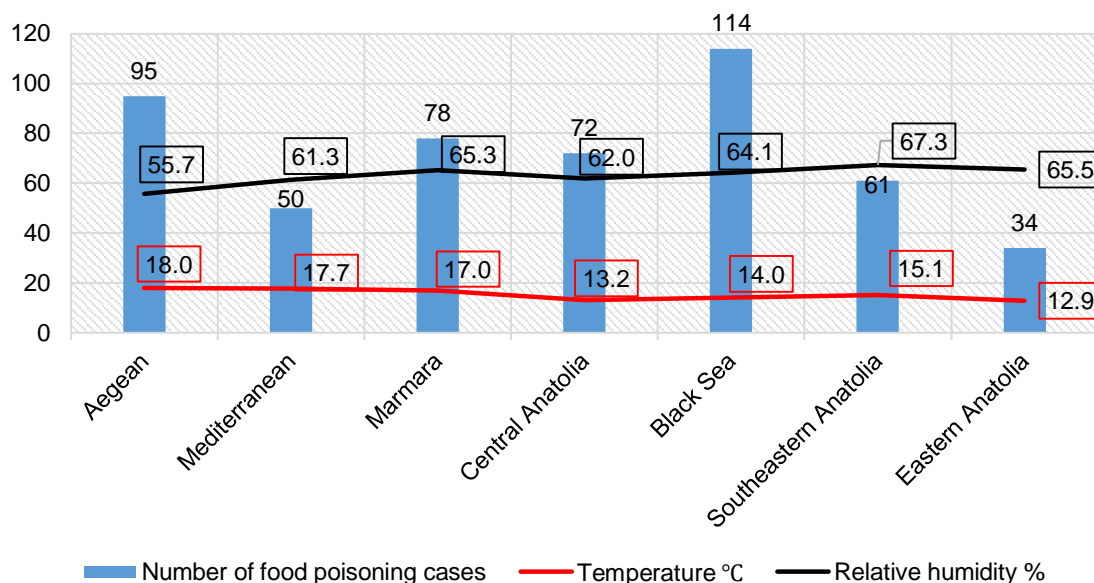


Figure 4. Number of food poisoning cases by geographical regions of Turkey

Cases of food poisoning were most common at school (n=135-26.8%), work (n=89-17.7%) and home (n=81-16.1%). As for the professional status, students and employees were most affected by food poisoning. 2,424 people in the other** group are soldiers. Dewey-Mattia et al. (Centers for Disease Control and Prevention-2018) reported that 61% (n=459) of the 839 cases of food poisoning in the United States in 2016 occurred in restaurants, 14% (n=102) in catering organizations, 10% (n=76) at homes where individuals lived, and 3% (n=21) at institutions such as schools and prisons [38].

2.4% (n=12), 29.4% (n=148), 36.5% (n=184), 28.4% (n=143), and 3.4% (n=17) of the food poisoning cases occurred at temperatures ranging from -10 to 0, 1 to 10,

11 to 20, 21 to 30, and 31 to 40, respectively. The number of people affected by food poisoning was the highest in the 21-30 temperature range (10,898) and the lowest in the -10-0 temperature range (553). 1.8% (n=9), 25.6% (n=129), 46.0% (n=232), 26.6% (n=134) of the food poisoning cases occurred at 0-25%, 26-50%, 51-75%, and 76-100% relative humidity ranges respectively. The number of people affected by food poisoning was the highest in the 26-50% relative humidity range (10,898) and the lowest in the 0-25% relative humidity range (Figure 5). Various scholars state that pathogens develop more rapidly at various points of the food chain due to increased temperature and relative humidity, causing an increase in food poisoning [21, 22, 31, 35, 39-44].

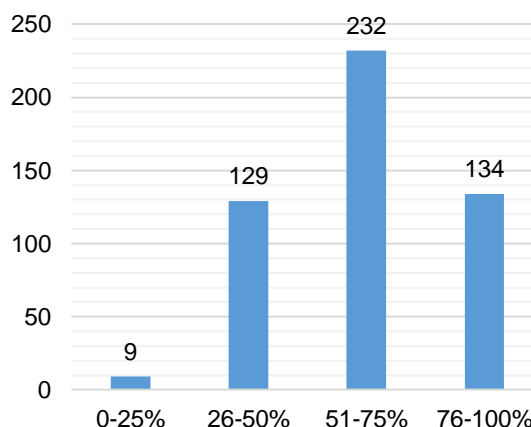
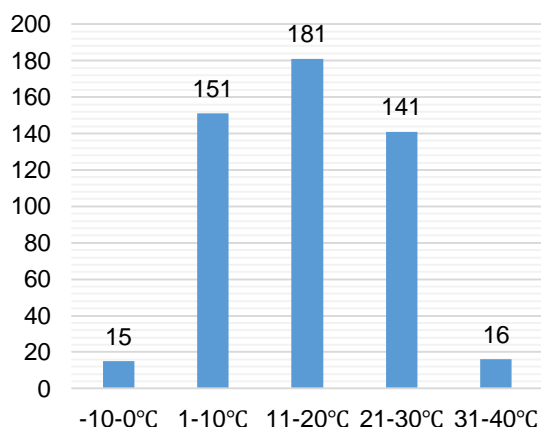


Figure 5. Numbers of food poisoning cases by temperature and relative humidity ranges

The Kruskal Wallis test was used to find out whether there were any differences between more than two independent groups in terms of the number of people

affected by food poisoning and Bonferroni test was used to determine which groups had differences (Table 2).

Table 2. Examining the differences between the variables by the number of people affected by food poisoning

	n	Median (Min-Max)	χ^2	p	Difference
<i>Year</i>					
2016	82	19.5 (1-332)			
2017	87	24 (1-221)			
2018	113	17 (1-1,221)	4.027	0.402	-
2019	128	25 (1-3,300)			
2020	94	23 (1-253)			
<i>Month</i>					
January	19	29 (1-176)			
February	33	10 (1-230)			
March	47	23 (1-331)			
April	44	21.5 (1-226)			
May	31	36 (1-1221)			
June	19	23 (1-200)			
July	55	31 (1-3,300)	22.006	0.024*	2-5,7
August	37	25 (1-163)			
September	38	16.5 (1-316)			
October	56	24 (1-332)			
November	53	24 (2-180)			
December	72	18 (1-473)			
<i>Season</i>					
Spring	122	24.5 (1-1,221)			
Summer	111	30 (1-3,300)	10.249	0.017*	2-4
Autumn	147	21 (1-332)			
Winter	124	16 (1-473)			
<i>Region</i>					
Aegean	95	26 (1-3,300)			
Mediterranean	50	23 (1-226)			
Marmara	78	20.5 (1-253)			
Central Anatolia	72	21.5 (1-300)	2.817	0.831	-
Black Sea	114	18 (1-473)			
Southeastern Anatolia	61	21 (2-332)			
Eastern Anatolia	34	25.5 (1-337)			
<i>Place</i>					
Home	81	7 (1-300)			
Workplace	89	30 (2-3,300)			
Restaurant	68	9.5 (1-110)			
Mevlit	30	45 (13-231)	118,372	0.000**	1,3-2,4,5,6,7 5-7
School	135	23 (1-473)			
Dormitory	47	36 (3-331)			
Other	54	67.5 (1-1,221)			
<i>Profession</i>					
Employee	95	30 (1-3,300)			
Student	218	22 (1-473)	27.125	0.000**	3-1,2,4
Citizen	154	13 (1-316)			
Other	37	44 (3-1,221)			

	n	Median (Min-Max)	χ^2	p	Difference
Temperature (°C)					
-10-0	15	18 (2-176)			
1-10	151	20 (1-473)			
11-20	181	23 (1-1,221)	5.414	0.247	-
21-30	141	25 (1-3,300)			
31-40	16	25 (2-120)			
Relative Humidity (%)					
0-25	9	30 (1-300)			
26-50	129	29 (1-3,300)	5.928	0.115	-
51-75	232	20 (1-300)			
76-100	134	20.5 (1-473)			

*p<0.05, ** p<0.001, Min=Minimum, Max=Maximum, χ^2 =Kruskal Wallis Test, Difference= Bonferroni Test, p= Level of Significance

Table 2 shows that the Kruskal Wallis test did not reveal any statistically significant differences between the years, regions, temperature, and relative humidity ranges in terms of the number of people affected by food poisoning (median) ($p>0.05$). There was a statistically significant difference between the months, seasons, places and occupations in terms of the number of people affected by food poisoning ($p<0.05$). Accordingly, the number of people poisoned in May and July is significantly higher than the number of people poisoned in February while the number of people poisoned in summer is significantly higher than the number of people poisoned in winter. The number of people poisoned at homes and restaurants is significantly lower than the number of people poisoned at other places while the number of people poisoned at school is significantly lower than the number of people poisoned at other places. The number of poisoned citizens is significantly lower than the number of poisoned employees, students and other professional groups.

CONCLUSION

Food poisoning cases in Turkey between 2016 and 2020, and the number of people affected by those cases were statistically analyzed in terms of year, region, season, month, temperature, relative humidity, location, and occupation in this study, which is the first study conducted in this field. A total of 504 cases of food poisoning (100.8 cases/year, 42 cases/month) were experienced in Turkey between 2016 and 2020, and an estimated number of 27,196 people were affected. The number of food poisoning cases by region is the highest in the Black Sea region while the number of people affected by those cases is the highest in the Aegean region. The Aegean region is one of the important centers of Turkey in terms of population density and industry. It is thought that food poisoning cases occurring at workplaces operating in this region where mass food consumption takes place has an impact on the data. Surprisingly, most cases of food poisoning occurred in autumn and winter while the lowest number of cases took place in summer. The highest number of

cases was seen in December, which is a winter month. It is thought that the main reason for the difference between the seasons is that the schools are closed during the summer season. Also, this may mean that consumers or manufacturers do not pay enough attention to product storage requirements in order to reduce energy costs due to temperature changes particularly caused by seasonal transitions and low air temperatures during the winter. Schools and workplaces stand out among the places where food poisoning takes place. As a general evaluation, it can be said that consumers tend to consume foods such as meat and meat products, which can cause poisoning, in winter. Therefore, consumers' food preferences and cooking characteristics styles may also be a reason for the difference in poisoning between seasons. Both schools and workplaces are places where mass meal consumption takes place. Large masses are affected by contamination or negligence at any stage of the food chain at catering organizations where food is both produced and consumed at the same center and from which catering services are purchased. As a matter of fact, students and employees are the professional groups that are most affected by food poisoning. No direct correlation of food poisoning with ambient temperature and relative humidity was determined. However, it can be said that the number of food poisoning cases increases due to the increase in temperature and relative humidity. It is presumed that changes in nutrition methods of consumers caused by temperature have an impact on food poisoning cases. The fact that individuals tend to turn towards raw, quickly accessible and uncooked food in hot weather increases the risk of cross contamination. It should be noted that the data on food poisoning in this study include the minimum values. Another result of this study is the data on food poisoning are not systematically recorded and there is no transparency in information sharing. It must be kept in mind that food poisoning can significantly affect public health and national economies. This is why food poisoning should be criminally investigated and the public and private sectors should work together to prevent similar cases.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Financial Disclosure

There is no funder in this study.

REFERENCES

- [1] Stein, C., Kuchenmüller, T., Hendrickx, S., Prüss-Üstün, A., Wolfson, L., Engels, D., Schlundt, J. (2007). The global burden of disease assessments—WHO is responsible? *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 1(3), e161.
- [2] Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J.L., Daszak, P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451(7181), 990-993.
- [3] Tauxe, R.V., Doyle, M.P., Kuchenmüller, T., Schlundt, J., Stein, C.E. (2010). Evolving public health approaches to the global challenge of foodborne infections. *International Journal of Food Microbiology*, 139(1), 16-28.
- [4] Newell, D.G., Koopmans, M., Verhoef, L., Duizer, E., Aidara-Kane, A., Sprong, H., Opsteegh, M., Langelaar, M., Threlfall, J., Scheutz, F., van der Giessen, J., Kruse, H. (2010). Food-borne diseases—the challenges of 20 years ago still persist while new ones continue to emerge. *International Journal of Food Microbiology*, 139, 3-15.
- [5] Mesquita, J.R., Nascimento, M.S. (2009). A foodborne outbreak of norovirus gastroenteritis associated with a christmas dinner in Porto, Portugal, December 2008. *Eurosurveillance*, 14(41), 19355.
- [6] Meusburger, S., Reichert, S., Heibl, S., Nagl, M., Karner, F., Schachinger, I., Allerberger, F. (2006). Outbreak of foodborne botulism linked to barbecue, Austria, 2006. *Weekly Releases (1997–2007)*, 11(50), 3097.
- [7] Ingelfinger, J.R. (2008). Melamine and the global implications of food contamination. *New England Journal of Medicine*, 359(26), 2745-2748.
- [8] Insulander, M., de Jong, B., Svenungsson, B. (2008). A food-borne outbreak of cryptosporidiosis among guests and staff at a hotel restaurant in Stockholm county, Sweden, September 2008. *Eurosurveillance*, 13(51), 19071.
- [9] Friesema, I., De Jong, A., Hofhuis, A., Heck, M., Van den Kerkhof, H., De Jonge, R., Hameryck, D., Nagel, K., van Vilsteren, G., van Beek, P., Notermans, D., van Pelt, W. (2014). Large outbreak of Salmonella Thompson related to smoked salmon in the Netherlands, August to December 2012. *Eurosurveillance*, 19(39), 20918.
- [10] Harries, M., Monazahian, M., Wenzel, J., Jilg, W., Weber, M., Ehlers, J., Dreesman, J., Mertens, E. (2014). Foodborne hepatitis A outbreak associated with bakery products in northern German, 2012. *Eurosurveillance*, 19(50), 2099.
- [11] Centers for Disease Control and Prevention. (2019). List of Selected Multistate Foodborne Outbreak Investigations. Accessed 07 January 2021. <https://www.cdc.gov/foodsafety/outbreaks/multistate-outbreaks/outbreaks-list.html>.
- [12] Hald, T., Aspinall, W., Devleesschauwer, B., Cooke, R., Corrigan, T., Havelaar, A.H., Gibb, J.H., Torgerson, R.P., Kirk, D.M., Angulo, J.F., Lake, R.J., Speybroeck, N., Hoffman N. (2016). World Health Organization estimates of the relative contributions of food to the burden of disease due to selected foodborne hazards: a structured expert elicitation. *PLoS One*, 11(1), e0145839.
- [13] Torgerson, P.R., Devleesschauwer, B., Praet, N., Speybroeck, N., Willingham, A.L., Kasuga, F., Rokni, B.M., Zhou, N.X., Fevre, M.E., Sripa, B., Gargouri, N., Fürst, T., Budke, M.C., Carabin, H., Kirk, D.M., Angulo, J.F., Havelaar, A. de Silva, N. (2015) World health organization estimates of the global and regional disease burden of 11 foodborne parasitic diseases, 2010: a data synthesis. *PLoS Medicine*, 12(12), e1001920.
- [14] World Health Organization. (2015). Who estimates of the global burden of foodborne disease. Accessed 07 January 2021. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/199350/9789241565165_eng.pdf
- [15] World Health Organization. (2021). Coronavirus disease (COVID-19) outbreak situation. Accessed 15 January 2021. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>
- [16] Addis, M., Sisay, D. (2015). A review on major food borne bacterial illnesses. *Journal of Tropical Diseases*, 3(4), 176-183.
- [17] Havelaar, A.H., Kirk, M.D., Torgerson, P.R., Gibb, H.J., Hald, T., Lake, R.J., Praet, N., Bellinger, C.D., de Silva, R.N., Gargouri, N., Speybroeck, N., Cawthorne, A., Mathers, C., Stein, C., Angulo, J.F., Devleesschauwer, B. (2015). World Health Organization global estimates and regional comparisons of the burden of foodborne disease in 2010. *PLoS Medicine*, 12(12), e1001923.
- [18] Hernández-Cortez, C., Palma-Martínez, I., Gonzalez-Avila, U.L., Guerrero-Andujano, A., Colmenero Solís, R., Castro-Escarpulli, G. (2017). Chapter 3: Food Poisoning Caused by Bacteria (Food Toxins). In *Poisoning - From Specific Toxic Agents to Novel Rapid and Simplified Techniques for Analysis*, Edited by Ntambwe Malangu, InTechOpen, Croatia, 33-72p.
- [19] Kalyoussef, S., Feja, K.N. (2014). Foodborne illnesses. *Advances in Pediatrics*, 61(1), 287-312.
- [20] Valero, A., Carrasco, E., García-Gimeno, R.M. (2012). Principles and Methodologies for The Determination of Shelf-life in Foods. In *Trends in Vital Food and Control Engineering*, Edited by Ayman Amer Eissa, InTechOpen, Croatia, 3-42p.
- [21] Tirado, M.C., Clarke, R., Jaykus, L.A., McQuatters-Gollop, A., Frank, J.M. (2010). Climate change and food safety: A review. *Food Research International*, 43(7), 1745-1765.

- [22] Park, M.S., Park, K.H., Bahk, G.J. (2018). Combined influence of multiple climatic factors on the incidence of bacterial foodborne diseases. *Science of the Total Environment*, 610, 10-16.
- [23] Semenza, J.C. (2014). Climate change and human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11, 7347-7353.
- [24] Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L., Xu, B. (2016). Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment International*, 86, 14-23.
- [25] Hoelzer, K., Switt, A.I.M., Wiedmann, M., Boor, K.J. (2018). Emerging needs and opportunities in foodborne disease detection and prevention: From tools to people. *Food Microbiology*, 75, 65-71.
- [26] Institute of Medicine, 2012. Building Public-private Partnerships in Food and Nutrition: Workshop Summary. The National Academies Press, Washington DC, 13p.
- [27] Hathaway, S.C. (2013). Food control from farm to fork: implementing the standards of Codex and the OIE. *Rev Sci Tech Oie*, 32, 479-485.
- [28] Urazel, B., Çelik, A., Karbeyaz, K., Akkaya, H. (2014). Gıda zehirlenmesine bağlı rapor düzenlenen adli olguların değerlendirilmesi. *Dicle Medical Journal*, 41(1), 113-117.
- [29] Liu, Y., Liu, F., Zhang, J., Gao, J. (2015). Insights into the nature of food safety issues in Beijing through content analysis of an Internet database of food safety incidents in China. *Food Control*, 51, 206-211.
- [30] Peng, G.J., Chang, M.H., Fang, M., Liao, C.D., Tsai, C.F., Tseng, S.H., Kao, M.Y., Chou, K.H., Cheng, H.F. (2017). Incidents of major food adulteration in Taiwan between 2011 and 2015. *Food Control*, 72, 145-152.
- [31] Mun, S. (2020). The effects of ambient temperature changes on foodborne illness outbreaks associated with the restaurant industry. *International Journal of Hospitality Management*, 85, 102432.
- [32] Hall, G.V., D'Souza, R.M., Kirk, M.D. (2002). Foodborne disease in the new millennium: out of the frying pan and into the fire?. *Medical Journal of Australia*, 177(11), 614-618.
- [33] Yun, J., Greiner, M., Höller, C., Messelhäusser, U., Rampp, A., Klein, G. (2016). Association between the ambient temperature and the occurrence of human Salmonella and Campylobacter infections. *Scientific Reports*, 6(1), 1-7.
- [34] Kendrovski, V., Karadzovski, Z., Spasenovska, M. (2011). Ambient maximum temperature as a function of Salmonella food poisoning cases in the Republic of Macedonia. *North American Journal of Medical Sciences*, 3(6), 264.
- [35] Koluman, A., Dikici, A., Kahraman, T., İncili, G.K. (2017). Food Safety and Climate Change: Seasonality and Emerging Food Borne Pathogens. *Journal of Gastroenterology Research*, 1(1), 24-29.
- [36] Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438, 310-317
- [37] Kim, Y.S., Park, K.H., Chun, H.S., Choi, C., Bahk, G.J. (2015). Correlations between climatic conditions and foodborne disease. *Food Research International*, 68, 24–30.
- [38] Centers for Disease Control and Prevention. (2018). Surveillance for Foodborne Disease Outbreaks, United States, 2016, Annual Report. Atlanta, Georgia: U.S. Department of Health and Human Services, Accessed: 22.12.2020. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/59698>.
- [39] Kovats, R.S., Edwards, S.J., Hajat, S., Armstrong, B.G., Ebi, K.L., Menne, B. (2004). The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiology & Infection*, 132(3), 443-453.
- [40] Louis, V.R., Gillespie, I.A., O'Brien, S.J., Russek-Cohen, E., Pearson, A.D., Colwell, R.R. (2005). Temperature-driven campylobacter seasonality in England and Wales. *Apply Environmental Microbiology*, 71(1), 85–92.
- [41] Fleury, M., Charron, D.F., Holt, J.D., Allen, O.B., Maarouf, A.R. (2006). A time series analysis of the relationship of ambient temperature and common bacterial enteric infections in two Canadian provinces. *International Journal of Biometeorology*, 50(6), 385-391.
- [42] Dominianni, C., Lane, K., Ahmed, M., Johnson, S., McKelvey, W., Ito, K. (2018). Hot Weather Impacts on New York City Restaurant Food Safety Violations and Operations. *Journal of Food Protection*, 81(7), 1048-1054.
- [43] Nichols, G.L., Richardson, J.F., Sheppard, S.K., Lane, C., Sarran, C. (2012). Campylobacter epidemiology: a descriptive study reviewing 1 million cases in England and Wales between 1989 and 2011. *BMJ Open*, 2, e001179.
- [44] Djennad, A., Iacono, G.L., Sarran, C., Lane, C., Elson, R., Höser, C., Lake, R.I., Colon-Gonzalez, J.F., Kovats, S., Semenza, C.J., Bailey, T.C., Kesses, A., Fleming, E.L., Nichols, L.G. (2019). Seasonality and the effects of weather on Campylobacter infections. *BMC Infectious Diseases*, 19(255), 1-10.

Microsoft® Excel’de Monte Carlo Benzetimi: Gıda Bilimlerinde Kullanılan Doğrusal Olmayan Regresyon İçin Model Parametrelerinin Güven Aralıklarının Belirlenmesi

Sencer Buzrul  

Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Melikşah Mah. Beyşehir Cad. No: 9, 42080 Meram, Konya

Geliş Tarihi (Received): 03.12.2020, Kabul Tarihi (Accepted): 19.09.2021

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): sencer.buzrul@gidatarim.edu.tr (S. Buzrul)

☎ 0 332 223 5360 📠 0 332 223 5490

ÖZ

Gıda bilimlerinde deneysel verileri tanımlamak için sıklıkla matematik modeller kullanılmaktadır. Bu modeller parametrelerine göre doğrusalsa doğrusal regresyon, değilse doğrusal olmayan regresyon kullanılır. Doğrusal regresyonun doğrusal olmayan regresyona göre uygulanması ve yorumlanması daha kolaydır. Excel kullanılarak uygulanan doğrusal regresyonda model parametreleri, bu parametrelerin standart hataları, güven aralıkları ve model uyum göstergeleri elde edilebilir. Öte yandan, yine Excel kullanılarak doğrusal olmayan regresyon yapmak mümkündür. Ancak, böyle bir durumda sadece model parametreleri ve model uyum göstergeleri hesaplanabilir. Yani, model parametrelerinin belirsizlikleri (standart hataları ya da güven aralıkları) elde edilemez. Oysa parametre belirsizlikleri elde edilen veriler için bir modelin kullanılıp kullanılmayacağına önemli göstergelerinden biridir ve bunları elde edebilmek için doğrusal olmayan regresyon yapabilen ücretli yazılımlar kullanılabilir. Bir diğer alternatif ise hemen herkesin bilgisayarında yüklü olan Excel’de Monte Carlo (MC) benzetimi yapmaktır. Bu çalışmada bunun nasıl yapılacağı detaylı bir şekilde madde madde açıklanmıştır. Excel’de MC benzetimi yapılarak elde edilen parametre belirsizlikleri doğrusal olmayan regresyon yapabilen diğer ücretli yazılımlarla karşılaştırıldığında birbirlerine çok yakın değerler elde edildiği görülmüştür. Excel kullanımına aşina oldukça Excel’de MC benzetimi yapmak (rastgele veri üretimi, Çözücü aracının kullanımı, vd.) oldukça sıradan ve basit bir işlem olacak ve bu bilgiler gıda bilimlerinde farklı alanlarda (mikrobiyoloji, biyoteknoloji, temel işlemler vd.) çalışan birçok araştırmacı için fayda sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Matematik modelleme, Model uydurma, Monte Carlo yöntemi, Excel

Monte Carlo Simulation in Microsoft® Excel: Confidence Intervals of Model Parameters for Non-Linear Regression used in Food Sciences

ABSTRACT

Mathematical models have been frequently used in food sciences to describe experimental data. Linear regression is used if the parameters of a model are linear; however, if a model is not linear with respect to its parameters non-linear regression should be used. Linear regression is easier to apply and interpret than the non-linear regression. Model parameters, standard errors and confidence intervals of these parameters, and goodness-of-fit indices can be obtained by applying linear regression in Excel. On the other hand, it is also possible to perform non-linear regression in Excel. However, only model parameters and goodness-of-fit indices can be calculated in this case. That is, uncertainties (standard errors or confidence intervals) of model parameters cannot be obtained. However, parameter uncertainties are one of the important indicators whether a model is used or not for the data being handled, and shareware that perform non-linear regression can be used to obtain them. Another alternative is to apply Monte Carlo (MC) simulation in Excel, which is installed on many personal computers. In this study, application of MC simulation in Excel was

explained step by step in details. It was observed that the values of the parameter uncertainties obtained by performing MC simulation in Excel were very close to those obtained by using any shareware. It will be an ordinary and simple process to perform MC simulation (random data generation, use of the Solver tool, etc.) in Excel as the users become familiar with the use of Excel, and this information would be beneficial for many researchers working in different fields of food science (microbiology, biotechnology, unit operations, etc.).

Keywords: Mathematical modeling, Model fit, Monte Carlo method, Excel

GİRİŞ

Gıda bilimlerinin içerisinde yer alan gıda mikrobiyolojisi, gıda kimyası ve gıda biyoteknolojisi gibi alanlarda matematik model ya da modeller kullanılarak verilerin tanımlanmaya çalışılması yaygın bir uygulamadır. Burada amaç mümkün olan en az parametreye sahip bir matematik model ile deneysel verileri tanımlamaktır.

Matematik modeller doğrusal ya da doğrusal olmayan modeller şeklinde ikiye ayrılır. Eğer bir modelde parametreler doğrusalsa doğrusal regresyon kullanılarak parametre değerleri elde edilebilir. Ancak, model parametreleri doğrusal değilse doğrusal olmayan regresyonun kullanılması gerekir.

Örneğin çok basit bir model olan $y = a \cdot x + b$ denklemini ele alalım. Burada x bağımsız değişken, y (x 'e bağımlı olduğu için) bağımlı değişken, a ve b ise model parametreleridir. Modeldeki her iki parametrede doğrusal olduğundan bu parametreleri elde etmek için doğrusal regresyon yeterli olacaktır. Ayrıca model bağımsız değişken x 'e göre de doğrusaldır dolayısıyla bu denklem grafik (x - y) üzerinde gösterildiğinde bir doğru elde edilir.

Şimdi yine çok basit bir model olan $y = x/A + B$ denklemi üstünden örnek verelim. Aynı şekilde x bağımsız değişken, y bağımlı değişken, A ve B ise model parametreleridir. Ancak, denklem A 'ya göre doğrusal değildir. (B 'ye göre doğrusaldır.) Dolayısıyla bu denklemin parametrelerini bulmak için doğrusal olmayan regresyon kullanılmalıdır. Bu denklem de grafik (x - y) üzerinde gösterildiğinde bir doğru elde edilir çünkü model x 'e göre doğrusaldır. Görüldüğü gibi iki modelde de grafik üzerinde doğru elde etmemize rağmen birinci model için doğrusal, ikinci model için doğrusal olmayan regresyon kullanılmalıdır.

Konunun iyice anlaşılabilmesi için bir örnek daha vermek faydalı olacaktır. Şöyle ki, $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ modeli parametrelerine (a , b ve c 'ye) göre doğrusaldır ancak x 'e göre doğrusal değildir. Denklemin grafik üzerinde gösterimi sonucu bir eğri elde edilir fakat parametreleri elde etmek için doğrusal regresyon kullanılır. Yukarıdaki tüm örnekleri özetlemek gerekirse bir modelin grafik üzerinde doğru olarak gösterilmesi o model parametrelerini doğrusal regresyon kullanılarak hesaplanabileceğini göstermez. Farklı bir şekilde söylersek ikinci ya da üçüncü dereceden bir polinom ya da grafik üzerinde eğri olarak görülen bir modelin parametreleri doğrusal regresyonla hesaplanabilir. Özetle doğrusal modeller sadece düz çizgileri, doğrusal olmayan modeller ise sadece eğrileri tanımlamaz.

Excel günümüzde finanstan mühendisliğe kadar birçok alanda farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Gıda bilimlerinde de Excel kullanımı yaygındır çünkü hemen hemen tüm bilgisayarlarda bu program yüklüdür. Excel kullanarak doğrusal regresyon analizi yapmak mümkündür. Şöyle ki, Excel'deki "veri çözümüleme" aracının içinde yer alan regresyon uygulaması ile (parametrelerine göre) doğrusal modellerin parametreleri kolaylıkla bulunabilir [1].

Öte yandan Excel'in içerisinde yüklü olan modellerden (parametresine göre doğrusal ve doğrusal olmayan modeller yer almaktadır) ve grafik üzerinde gösterimden de yararlanılarak veriler tanımlanabilir. Burada çoğu araştırmacının atladığı bazı hususlar vardır. Bu hususlar aşağıda kısaca sıralanmıştır. Excel'in içerisinde yüklü doğrusal veya doğrusal olmayan modeller için grafik üzerindeki gösterimde parametre değer/değerleri ve R^2 değeri elde edilebilir. Ancak, parametre değerlerinin belirsizlikleri (standart hataları veya güven aralıkları) ve model uyumunun diğer göstergeleri (örneğin ayarlı R^2 ve modelin standart hatası gibi) elde edilemez. Kısaca bahsetmek gerekirse örneğin bir modelde hız sabiti parametresini regresyon sonucu hesaplayarak 2 dakika^{-1} olarak ifade etmek pek bir şey ifade etmez çünkü regresyon sonucu elde edilen bu parametre güven aralıklarıyla örneğin $2 \pm 1.8 \text{ dakika}^{-1}$ ya da $2 \pm 0.2 \text{ dakika}^{-1}$ olabilir. İlkinde hız sabiti parametresinin belirsizlik aralığı geniş olup güvenilirliği düşük iken, ikincisi oldukça güvenilir bir tahmin sunmaktadır.

Birçok araştırmacı model uyumunu göstermek için R^2 değerinin yeterli olduğunu düşünür ancak bu doğru değildir. Bunun için R^2 değerinin yanı sıra farklı göstergeler de kullanılmalıdır. Bu göstergeleri doğrusal modeller için elde etmek için veri çözümüleme aracında yer alan regresyon uygulaması kullanılmalıdır. Excel'de doğrusal regresyonun kullanımı, model uyumu göstergeleri ve akla takılan diğer hususlar için Leylak ve ark.'nın [1] çalışması incelenebilir. Daha önemli bir konu Excel'in içinde yer alan doğrusal olmayan modellerin doğrusal hale dönüştürülmesi ve Excel'in bu modellere doğrusal olmayan regresyon yerine doğrusal regresyon uygulamasıdır. Excel'deki bu modelleri kullanan araştırmacılar çoğu zaman bunun farkında olmamaktadır ve elde ettikleri sonuçlar aslında olması gerekenden farklıdır. Yani parametre değerlerini doğrusal olmayan regresyon yerine doğrusal regresyon kullanarak buldukları için çoğu zaman sonuçlar yakın olmakla birlikte, aynı değildir. Bu konuyla ilgili olarak da Yurdakul ve ark.'nın [2] çalışması faydalı olabilir.

Doğrusal olmayan modeller için Excel'de "çözücü" aracı kullanılabilir ancak çözücü aracı kullanılarak sadece parametre değerleri elde edilir. Yani parametre

belirsizlikleri bulunmaz. Ancak, yukarıda da değindiğimiz gibi parametre belirsizliklerini elde etmek parametrelerin yorumlanabilir olmasını sağlayacaktır. Öte yandan doğrusal olmayan modeller için model uyumu göstergelerini (R^2 , ayarlı R^2 ve modelin standart hatası (RMSE)) Excel kullanarak hesaplamak oldukça basittir. Yurdakul ve ark. [2] çalışmasında çözücü aracının kullanımını ve model göstergelerinin hesaplamalarını göstermişlerdir. Ancak yine de parametre değerlerinin standart hataları ya da güven aralıklarının hesaplanması gereklidir.

Bu çalışmanın amacı Excel'de Monte Carlo benzetimi (simülasyonu) kullanılarak doğrusal olmayan modellerin parametre güven aralıklarının elde edilmesidir. Neden doğrusal olmayan modeller için bunun yapıldığı sorusu akla gelebilir. Bunun iki nedeni vardır: (1) Doğrusal modeller için Excel (veri çözümlene > regresyon) parametrelerin standart hatalarını ve model uyumu göstergelerini hesaplayabilmektedir [1]. (2) Gıda bilimlerinde kullanılan çoğu model (örneğin Arrhenius ve Michaelis-Menten denklemleri) doğrusal değildir. Bu amaç doğrultusunda önce kısaca Monte Carlo benzetiminden kısaca bahsedilecek daha sonra Excel'de bunun nasıl yapılabileceği bir örnek üzerinden açıklayıcı bir şekilde anlatılacaktır. Ancak, Excel'de doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon konularında daha detaylı bilgi sahibi olmak isteyen okuyucular yukarıda da sık sık atıfta bulunduğumuz Leylak ve ark. [1] ile Yurdakul ve ark.'nın [2] çalışmalarından faydalanabilirler.

YÖNTEM

Monte Carlo Benzetimi

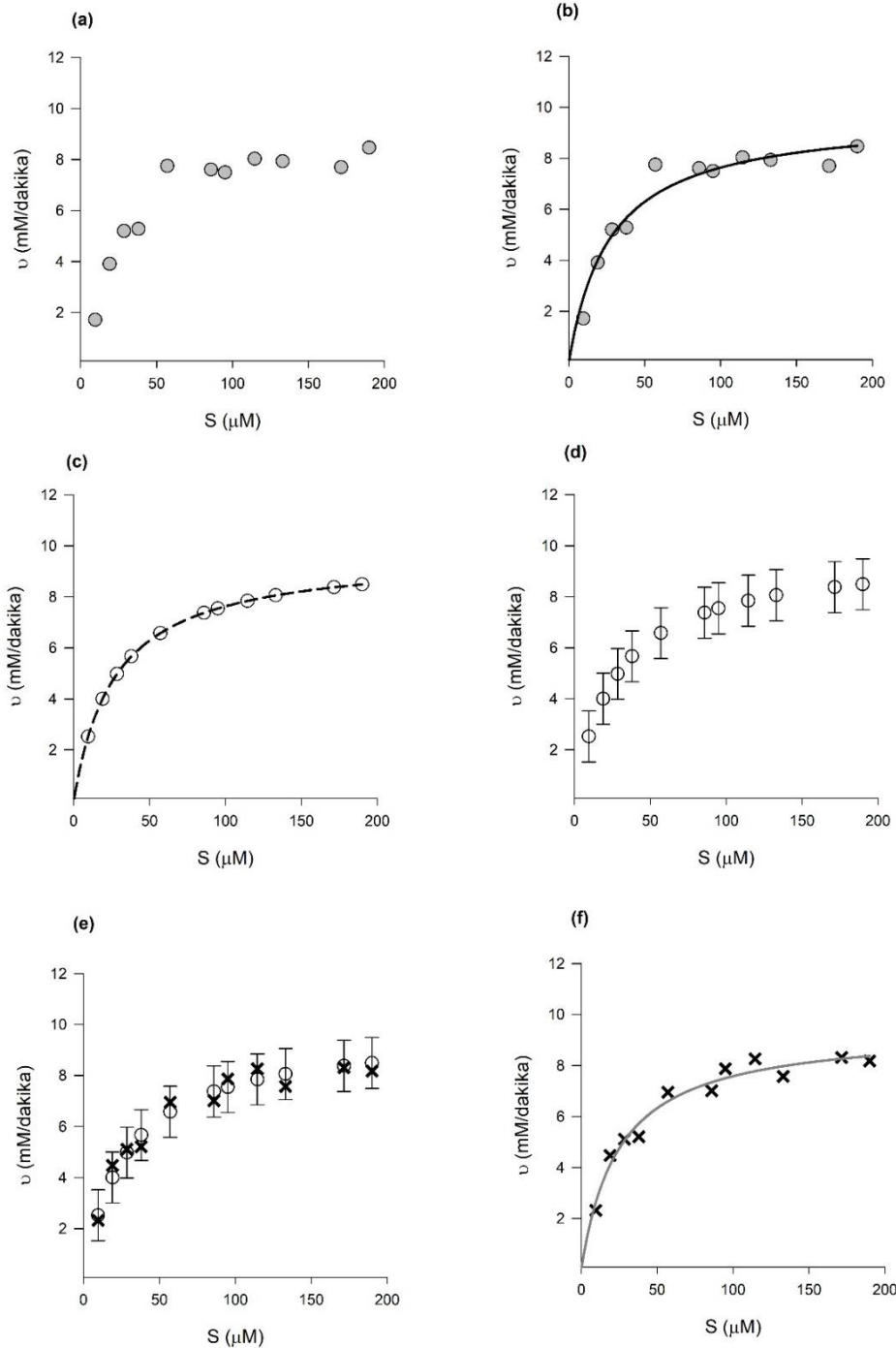
Monte Carlo (MC) yöntemi (deneysel) verileri tanımlayan bir modelin bilgisayar yardımı rastgele benzetimi ilkesine dayanmaktadır. MC model parametrelerinin belirsizliklerini belirleyebilmek için belki de en kolay ve en basit yöntemdir. MC benzetimi yapabilmek için iki bilgiye ihtiyaç vardır. Bunlardan ilki uygun bir model, ikincisi deney verilerindeki belirsizlik ya da standart sapmadır [3].

Uygun bir model bulmak çok da zor değildir. Hatta aynı veri için uygun olan birden çok model olabilir. Dolayısıyla birinci bilgi, modelleme konusunda deneyimli olanlar için, kolaylıkla elde edilebilir. İkinci bilgi ise görecelidir. Yine de bunun için farklı yaklaşımlar vardır. Örneğin mikrobiyolojik veriler için genellikle uygun standart sapma olarak $0.5 \log_{10}$ kullanılır çünkü bakteri sayımlarında $1 \log_{10}$ hata normal olarak sayılır [4, 5] ve $\pm 0.5 \log_{10}$ standart hata olarak kullanılabilir. Öte yandan, veriye uygulanacak modelin standart hatasını hesaplayarak bunu verilerin standart sapması olarak kullanmak da mümkündür [6]. Böylece MC benzetimi için gerekli olan iki bilgiye de ulaşılabilir.

MC benzetiminin bu çalışma için uygulanışı aşağıda özetlenmiştir:

1. Deneysel veriler uygun bir modelle (parametresine veya parametrelerine göre doğrusal olmayan) Excel'de çözücü aracı kullanılarak tanımlanır.
2. Model parametreleri ve modelin standart hatası hesaplanır.
3. Model parametreleri kullanılarak aynı bağımsız değişken (x) değerlerindeki "mükemmel veri seti" oluşturulur.
4. Modelin standart hatası her bir bağımsız değişken değerinde karşılık gelen mükemmel verinin üzerine standart sapma olarak eklenir.
5. Eklenen standart sapma değerlerinin içerisinde kalacak şekilde sanal veriler Excel kullanılarak üretilir. Sanal veri üretme işlemi Excel'de kolayca yapılabilir. Bununla ilgili detaylı açıklamalar "Bulgular ve Tartışma" kısmında verilmiştir. Yani 100 adet sanal veri seti oluşturulur. MC benzetimi genellikle uygulanacak işleme göre 100, 1000 veya 10000 kez tekrarlanır. Ancak, Lambert ve ark. [6] ve Öksüz ve Buzrul [7] tarafından da ifade edildiği üzere, genellikle 1000 veya 10000 kez tekrar etmenin biyolojik veriler açısından 100 kez tekrardan önemli bir farkı bulunmamaktadır.
6. Yarattıkları her bir sanal veri seti için Excel'de tek bir seferde model (ilk kullandığımız model) uygulanır ve parametre değerleri listelenir.
7. Listelenen parametrelerden değerlerin ortalamaları ve 95% güven aralıkları yine Excel kullanılarak hesaplanır.

Bu işlemin daha iyi anlaşılabilmesi için MC benzetiminin nasıl yapılacağı Şekil 1 üzerinde basitçe gösterilmiştir. Şekil 1a'da gösterilen veri Şekil 1b'de (doğrusal olmayan) Michaelis-Menten denklemi ile tanımlanmıştır. Şekil 1c'de ise model parametreleri kullanılarak mükemmel veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan mükemmel veri setine standart sapma olarak modelin standart hatası (örnek olarak kullanılan veri seti için (Şekil 1a) Michaelis-Menten denklemi kullanılarak (Şekil 1b) modelin standart hatası 0.557 olarak bulunduğundan dolayı her bir veri için $\pm 2 \times 0.557$ standart sapma kullanılmıştır.) eklenmiştir (Şekil 1d). Eklenen standart sapma değerlerinin içerisinde kalmak kaydıyla Excel'de rastgele yeni veriler üretilmiştir (Şekil 1e). Üretilen yeni verilere seçilen model (Michaelis-Menten denklemi) uygulanmıştır (Şekil 1f). Burada Şekil 1e ve 1f'de gösterilen işlemler Excel'de 100 kez tekrarlanmıştır. Ancak, Excel'deki çözücü aracı tek seferde 200 hesaplama yapabilmektedir. Dolayısıyla modeldeki parametre sayısına göre çözücünün hesaplayabileceği miktar kadar giriş yapılması gerekmektedir. Örneğin modelin 2 parametresi varsa tek seferde 100 benzetim yapılabilir ($2 \times 100 = 200$) ama 4 parametrelilik model için tek seferde 50 hesaplama yapılacağından ($4 \times 50 = 200$) 100 benzetim için bu işlem iki kez tekrarlanmalıdır.



Şekil 1. Papain'in kazein üzerindeki etkisini gösteren veriler. Veriler van Boekel'dan [3] alınmıştır (a), verilere Michealis-Menten denkleminin uygulanışı (b), uygulanan model yardımıyla mükemmel veri seti oluşturma (c), mükemmel veri setine standart sapma eklenmesi (d), eklenen standart sapma aralığında kalmak koşulu ile rastgele yeni veri oluşturma (e), oluşturulan veri setine Michealis-Menten denkleminin uygulanışı (f)

Figure 1. Data showing the effect of papain on casein. Data were taken from van Boekel [3] (a), the application of the Michealis-Menten equation to the data (b), creating a perfect data set with the help of the applied model (c), adding standard deviation to the perfect data set (d), staying in the added standard deviation range generating new data randomly with (e), applying the Michealis-Menten equation to the generated data set (f)

BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde basit bir örnek üzerinden Excel'de (Bu çalışmada Windows 10'un altında yer alan Excel 2016

kullanılmıştır.) MC benzetimi yapılarak model parametrelerinin güven aralıklarının hesaplanması aşamalı olarak anlatılacaktır.

Zeytindeki Klorofilin Bozulma Kinetiği

Örneğimizde zeytinde bulunan klorofil maddesinin zamana bağlı değişiminin tanımlanmasını inceleyeceğiz. Söz konusu veri daha önce yayımlanmış olan bir çalışmadan alınmış olup [8], Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu veriyi tanımlamak için çok basit bir model olan $y = a \cdot e^{-b \cdot t}$ denklemini kullanacağız. Burada y klorofil miktarını (bağımlı değişken), t süreyi ya da zamanı (bağımsız

değişken), e ise Euler sayısını ($e = 2.7182 \dots$) ifade etmektedir. Model parametreleri de a ve b ile gösterilmişlerdir. Excel kullanımına aşina olan birçok kullanıcı bu modelin Excel'in içerisinde yer aldığını bilmektedir. Ancak, daha önce de değinildiği gibi Excel doğrusal olmayan bu modeli doğrusal hale dönüştürerek verilere doğrusal regresyon uygulamaktadır. Bu da sonuçların ya da parametre değerlerinin doğrusal olmayan regresyonla elde edilmesine göre farklı hesaplanmasına yol açmaktadır.

	A	B
1	süre (gün) - t	Klorofil miktarı ($\mu\text{mol/kg}$) - y
2	0	53,76
3	3	40,34
4	4	32,73
5	6	30,64
6	8	25,75
7	10	21,22
8	12	14,1
9	19	11,08
10	26	7,53
11	30	6,87
12	33	5,15
13	40	3,77
14	47	2,87
15	50	2,07
16	60	1,1

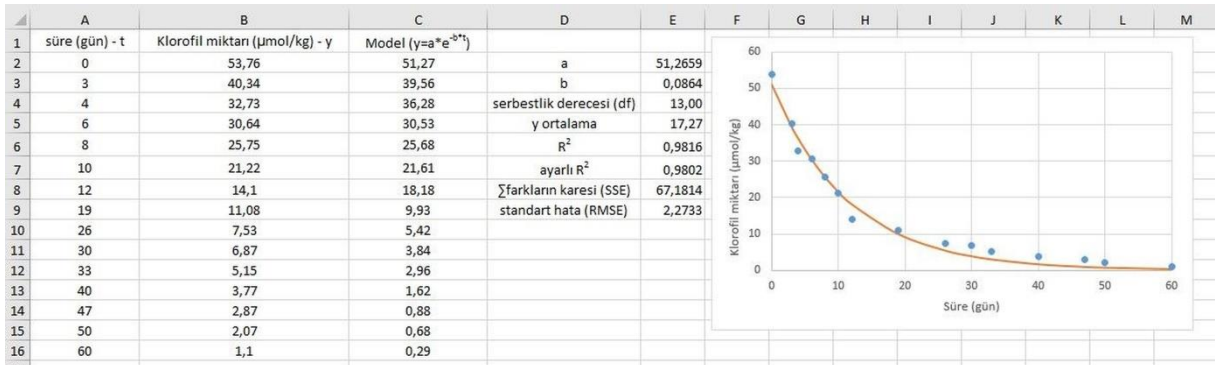
Şekil 2. Yeşil zeytindeki klorofil bozulma verileri. Orijinal veriler Mínguez-Mosquera ve ark.'dan [8] alınmıştır

Figure 2. Chlorophyll degradation data in green olives. Original data were from Mínguez-Mosquera et al. [8]

Model Parametrelerinin ve Model Uyum Göstergelerinin Excel Çözücü Kullanarak Hesaplanması

Şekil 3'te Excel'de deneysel veriler (A ve B kolonu), çözücü aracı kullanılarak elde edilen model parametreleri, model uyumu göstergeleri ve grafik gösterilmiştir. Bu işlemin nasıl yapıldığı Yurdakul ve ark. [2] tarafından detaylıca anlatıldığından sadece sonuçlar

paylaşımıştır. Grafikten görsel olarak model uyumunun iyi olduğu anlaşılrsa da model uyum göstergeleri ($R^2=0.9816$, ayarlı $R^2=0.9802$ ve $RMSE=2.2733$) kullanılan modelin deneysel verileri tanımlamakta oldukça başarılı olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 3'te görüldüğü gibi çözücü aracını kullanarak yapılan doğrusal olmayan regresyon sonucu parametre değerleri de elde edilmiştir ($a=51.27$, $b=0.0864$). Ancak parametrelerin güven aralıkları elde edilememiştir. Bunun için MC benzetimi yapılması gereklidir.



Şekil 3. Şekil 2'de gösterilen verilerin Excel'de çözücü aracı kullanılarak üstel model ($y = a \cdot e^{-b \cdot t}$) ile tanımlanması

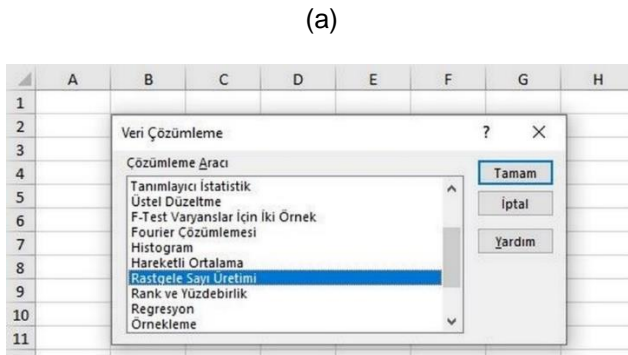
Figure 3. Definition of the data shown in Figure 2 with the exponential model ($y = a \cdot e^{-b \cdot t}$) using the solver tool in Excel

Modelin Standart Hatasının (RMSE değeri) Kullanılarak Excel'de Rastgele Sayılar Üretilmesi

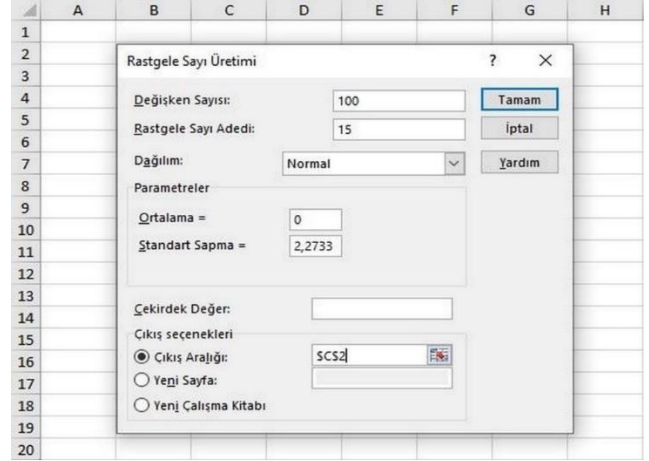
Daha önce ifade ettiğimiz gibi MC benzetimi için modelin RMSE değerini (2.2733) normal dağılımın standart hatası olarak her bir veriye ekleyerek rastgele sayılar üretilmesi gereklidir. Bu amaçla Excel'in içerisindeki veri çözümü aracının içerisinde yer alan "rastgele sayı üretimi" uygulaması kullanılacaktır (Şekil 4a). Excel'de

sırasıyla Veri > Veri Çözümü > Rastgele Sayı Üretimi sekmeleri izlenir. Açılan ekrandan "Dağılım" olarak "Normal" seçilir. Değişken sayısı kaç kez MC benzetimi yapacağımızı gösteren sayıdır ve buraya 100 yazılır. Rastgele sayı adedi ise veri sayımızdır, 15 adet verimiz (Şekil 2) olduğundan bu kısma da 15 yazılır (Şekil 4b). Rastgele sayıların yeni bir Excel sayfasında mı yoksa yeni bir çalışma kitabında mı ya da mevcut çalışma kitabının içerisinde mi yer alacağı aşağıda seçilir. Bütün bu işlemlerin nasıl yapılacağı Şekil 4'te özetlenmiştir.

(b)



(a)



Şekil 4. Excel'de veri çözümü aracının içerisinde yer alan rastgele sayı üretimi uygulaması (a), bu uygulama kullanılarak 15 satır (Şekil 1'de yer alan veri sayısı) 100 sütunluk (Monte Carlo benzetim sayısı) veri üretilmesi ile normal dağılımın seçilerek standart sapma olarak 2.2733 girilmesi (b).

Figure 4. Random number generation application (a) included in the data analysis tool in Excel, using this application to generate 15 rows (the number of data in Figure 1) and 100 columns (Monte Carlo simulation number) by selecting the normal distribution and choosing the standard entering 2.2733 as the deviation (b).

Sanal Veri Setlerinin Oluşturulması

Şekil 5'te de rastgele üretilmiş sayılar gösterilmektedir. Bu sayılar modelimizden elde ettiğimiz verilere yani mükemmel veri setine eklenerek 100 adet sanal veri seti oluşturulacaktır. Bunun için Şekil 5'te yer alan rastgele üretilmiş sayıların altına uygun bir şekilde mükemmel veri seti yapıştırılır (Şekil 6a) ve rastgele sayılar mükemmel veri setine eklenir (Şekil 6b). Mükemmel veri seti yani

B20-B34 sütunu hep sabit olduğundan (sadece eklenecek rastgele sayılar değişmektedir) Excel'in özellikleri kullanılarak \$ işareti (AltGr + 4) yardımıyla (\$ işareti hücre yazısının önüne yazılmalıdır ki sadece sütunun sabit olması sağlanabilsin – Şekil 6b) mükemmel veri seti sabit olacak şekilde bütün rastgele sayılar eklenerek 100 adet sanal veri seti elde edilir (Şekil 6c).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1		veri sayısı																				
2		1	0,78844	-1,76076	-1,5477	-0,08863	-1,04607	-2,67563	-0,40074	5,04028	0,45455	-0,96342	6,3985	-2,74248	-1,37325	-0,96304	2,21042	2,36807	-4,0765	3,88264	1,37429	-0,26345
3		2	3,53215	-2,62484	-2,40185	1,63097	-2,33246	2,78877	0,3475	0,61459	0,99854	-1,49959	0,26677	3,16793	-0,59603	1,04047	1,26926	-0,4324	-7,04093	-2,76166	1,91138	0,26257
4		3	1,66649	4,78722	0,06479	3,37503	0,50862	0,31517	-1,37742	-0,16858	1,35991	-1,75724	-3,95171	3,14831	-6,05917	2,88811	-0,84074	-1,55495	-1,7188	0,014	-3,9917	1,97629
5		4	-0,36546	1,65128	-2,13221	1,67378	5,11397	-0,34557	2,98917	-2,78361	4,84966	0,0754	-2,41281	-3,06988	1,54354	1,56155	2,24244	0,65347	1,90445	-0,40852	-1,08041	1,90989
6		5	1,96439	-1,75279	-0,56459	-0,19597	-1,14056	0,60017	4,51674	-0,65564	-2,41037	1,17263	1,11813	2,68783	3,87295	1,9692	-0,37921	-1,14648	-3,93838	-0,43169	-3,44138	0,71936
7		6	0,00687	-0,88766	-3,35423	-1,61549	2,4748	1,24757	-1,8246	0,01748	3,64205	-5,40058	-2,76603	-4,27868	1,70219	-4,96395	-0,53565	-2,64665	0,36124	-2,01516	-2,81442	0,32588
8		7	-4,79842	-1,94502	3,38397	0,87341	-6,25642	-3,20509	4,19858	2,56513	-1,90915	-0,75749	-3,53389	2,56053	2,59193	2,1979	1,49117	-3,98279	-0,84204	-0,38186	1,34642	5,54898
9		8	0,113	0,5422	-4,53059	0,0674	-4,49197	-2,4585	0,41842	-1,76381	-3,12891	0,92702	-2,02057	-3,43701	2,76494	5,74664	0,64513	-0,15882	1,12363	-0,99529	3,98926	0,54459
10		9	0,57554	-5,61639	1,42982	1,92603	-3,74352	2,41678	0,62055	2,57303	3,54383	-0,50862	1,08469	-2,39003	-0,45846	0,64386	-0,01748	-0,14296	-2,93471	1,02774	1,54266	-2,13816
11		10	1,73924	-2,34575	0,47302	-0,13268	-1,8735	-0,82326	0,98325	0,44834	-0,59495	0,36652	1,69552	2,70964	1,71233	0,777	-0,94481	-1,66103	-0,29814	2,28903	2,29799	
12		11	-4,28073	0,2309	-1,9208	0,63771	2,25095	-0,62199	0,79657	2,1433	-3,77766	0,86691	-1,54683	-2,72849	4,21012	-1,29822	0,02217	-0,21256	2,48299	3,47457	-3,13565	-0,22199
13		12	-2,64493	0,61441	0,56047	1,49894	-3,06685	1,56022	-6,15544	-4,45105	0,76429	-0,90514	-0,22828	-1,29945	-6,18306	1,11441	-0,82902	3,14559	2,04574	-3,80563	-2,98216	0,85901
14		13	-4,15254	0,39449	-1,79618	2,60061	0,34416	-0,74408	-1,59563	-0,18847	0,25014	1,75935	4,90883	-2,06169	-6,28768	-1,39061	2,55072	0,58308	-2,62315	4,87364	2,41648	-2,14466
15		14	-1,55847	0,78198	1,78859	3,8177	-0,51254	-2,04027	1,93951	-0,04757	-1,9084	-4,16087	-1,14806	1,29311	1,01581	-2,33129	-0,24384	-0,5329	-2,19318	3,72077	-1,59229	-0,12362
16		15	-2,02134	2,94514	0,33431	-0,81268	0,65292	-0,14156	1,48105	1,42918	1,92827	1,07165	0,98477	1,50803	-2,24046	-2,23849	-1,15617	-1,28351	-3,04326	-5,18402	-4,1881	1,61616
17																						
18																						

Şekil 5. Excel'de rastgele üretilen verilerin (Şekil 4c) bir kısmı. Değerlerin okunabilmesi 100 benzetimin sadece 20 tanesi gösterilmiştir

Figure 5. Some of the randomly generated data in Excel (Figure 4c). Only 20 of the 100 simulations are shown so that the values can be read

Çözücü Kullanarak Aynı Anda Birden Fazla Veri Setine Modelin Uydurulması

Sanal veri setinin hemen altına uygun bir şekilde modelimiz ve onun hemen altına da model ya da

regresyon parametreleri yerleştirilir (Şekil 7a) her bir set için model parametreleri için ilk elde ettiğimiz değerler yazılabilir ($a=51,27$, $b=0,0864$). Model yazılırken dikkat edilmesi gereken husus \$ işaretinin (AltGr + 4) nasıl kullanılacağıdır. Örneğin C37 hücresine " $=C$53*ÜS(-$

S. Buzrul Akademik Gıda 19(3) (2021) 291-299

C\$54*\$A37” yazılmalıdır çünkü A sütunu (A37-A51) süreyi göstermektedir ve her bir model için aynı süreler kullanılacaktır. Sütunun sabit olması için \$ işareti başa yazılır. Öte yandan, parametre değerleri aynı veri seti için aynı olmalıdır bu yüzden sütun harfi ile satır numarası arasında \$ işareti konularak bu işlem yapılır. Excel kullanımına ve formül yazımına aşina oldukça bu basit kurallar yerine oturacaktır.

Parametrelerin hemen altına da farkların kareleri toplamı (SSE) yazılır. Yüz adet sanal veri seti ile (yine 100 adet) model farklarının kareleri toplamı hesaplatılmalıdır.

Bunun için C55 hücresine =TOPLA((C20:C34-C37:C51)^2) yazılır ancak bu formül dizisi olduğundan (yani her bir çıkarma işlemi yapıldıktan sonra kare alma işlemi yapıldığından) formül seçilerek Ctrl + Shift + Enter'a basılır ve formül {=TOPLA((C20:C34-C37:C51)^2)} haline getirilir. Elde edilen tüm SSE'ler toplanarak B57 hücresine yazılır. Çözücü 200 değeri (100 satıra yazılmış 2 adet model parametresi) kullanarak B57 hücresindeki sayıyı en düşük yapacak şekilde ayarlanır ve çalıştırılır. Sonuçta 100 adet a ve b değeri elde edilir (Şekil 7b).

(a)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
15			14	-1,55847	0,78198	1,78859	3,8177	-0,51254	-2,04027	1,93951	-0,04757	-1,9084	-4,16087	-1,14806	1,29311	1,01581	-2,33129	-0,24384	-0,5329	-2,19318	3,72077	-1,59229
16			15	-2,02134	2,94514	0,33431	-0,81268	0,65292	-0,14156	1,48105	1,42918	1,92827	1,07165	0,98477	1,50803	-2,24046	-2,23849	-1,15617	-1,28351	-3,04326	-5,18402	-4,1881
17																						
18																						
19				süre (gün) - t																		
20				0		51,27																
21				3		39,56																
22				4		36,28																
23				6		30,53																
24				8		25,68																
25				10		21,61																
26				12		18,18																
27				19		9,93																
28				26		5,42																
29				30		3,84																
30				33		2,96																
31				40		1,62																
32				47		0,88																
33				50		0,68																
34				60		0,29																
35																						

(b)

	A	B	C	D
17				
18				
19				süre (gün) - t
20				Model (y=a*e ^{-bt})
20	0	51,27	=B20+C2	=B20+D2
21	3	39,56	=B21+C3	=B21+D3
22	4	36,28	=B22+C4	=B22+D4
23	6	30,53	=B23+C5	=B23+D5
24	8	25,68	=B24+C6	=B24+D6
25	10	21,61	=B25+C7	=B25+D7
26	12	18,18	=B26+C8	=B26+D8
27	19	9,93	=B27+C9	=B27+D9
28	26	5,42	=B28+C10	=B28+D10
29	30	3,84	=B29+C11	=B29+D11
30	33	2,96	=B30+C12	=B30+D12
31	40	1,62	=B31+C13	=B31+D13
32	47	0,88	=B32+C14	=B32+D14
33	50	0,68	=B33+C15	=B33+D15
34	60	0,29	=B34+C16	=B34+D16
35				

(c)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U				
15			14	-1,55847	0,78198	1,78859	3,8177	-0,51254	-2,04027	1,93951	-0,04757	-1,9084	-4,16087	-1,14806	1,29311	1,01581	-2,33129	-0,24384	-0,5329	-2,19318	3,72077	-1,59229			
16			15	-2,02134	2,94514	0,33431	-0,81268	0,65292	-0,14156	1,48105	1,42918	1,92827	1,07165	0,98477	1,50803	-2,24046	-2,23849	-1,15617	-1,28351	-3,04326	-5,18402	-4,1881			
17																									
18																									
19				süre (gün) - t																					
20				0		51,27	52,05	49,51	49,72	51,18	50,22	48,59	50,87	56,31	51,72	50,30	57,66	48,52	49,89	50,30	53,48	53,63	47,19	55,15	52,64
21				3		39,56	45,09	36,93	37,16	41,19	37,23	42,35	39,91	40,17	40,56	38,06	39,83	42,73	38,96	40,60	40,83	39,13	32,52	36,80	41,47
22				4		36,28	37,95	41,07	36,35	39,66	36,79	36,60	34,91	36,12	37,64	34,53	32,33	39,43	30,23	39,17	35,44	34,73	34,57	36,30	32,29
23				6		30,53	30,16	32,18	28,39	32,20	35,64	30,18	33,52	27,74	35,38	30,60	28,11	27,46	32,07	32,09	32,77	31,18	32,43	30,12	29,45
24				8		25,68	27,65	23,93	25,12	25,49	24,54	26,28	30,20	25,03	23,27	26,85	26,80	28,37	29,55	27,65	25,30	24,53	21,74	25,25	22,24
25				10		21,61	21,61	20,72	18,25	19,99	24,08	22,85	19,78	21,62	25,25	16,20	18,84	17,33	23,31	16,64	21,55	18,96	21,97	19,59	18,79
26				12		18,18	13,38	16,23	21,56	19,05	11,92	14,97	22,38	20,74	16,27	17,42	14,64	20,74	20,77	20,37	19,67	14,19	17,33	17,79	19,52
27				19		9,93	10,04	10,47	5,40	9,99	5,44	7,47	10,35	8,16	6,80	10,85	7,91	6,49	12,69	15,67	10,57	9,77	11,05	8,93	13,92
28				26		5,42	6,00	-0,19	6,85	7,35	1,68	7,84	6,04	7,99	8,97	4,91	6,51	3,03	4,96	6,07	5,40	5,28	2,49	6,45	6,96
29				30		3,84	5,58	1,49	4,31	3,70	1,96	3,01	4,82	4,29	3,24	4,42	4,20	5,53	6,55	5,55	4,61	2,89	2,18	3,54	6,13
30				33		2,96	-1,32	3,19	1,04	3,60	5,21	2,34	3,76	5,10	-0,42	3,85	1,41	0,23	7,17	1,66	2,98	2,75	5,44	6,44	-0,17
31				40		1,62	-1,03	2,23	2,18	3,12	-1,45	3,18	-4,54	-2,83	2,38	0,71	1,39	0,32	-4,57	2,73	0,79	4,76	3,66	-2,19	-1,36
32				47		0,88	-3,27	1,22	-0,91	3,48	1,23	0,14	-0,71	0,69	1,13	2,64	5,79	-1,18	-5,40	-0,51	3,43	1,47	-1,74	5,76	3,30
33				50		0,68	-0,88	1,46	2,47	4,50	0,17	-1,36	2,62	0,63	-1,23	-3,48	-0,47	1,97	1,70	-1,65	0,44	0,15	-1,51	4,40	-0,91
34				60		0,29	-1,73	3,23	0,62	-0,53	0,94	0,15	1,77	1,72	2,22	1,36	1,27	1,80	-1,95	-1,95	-0,87	-1,00	-2,76	-4,90	-3,90
35																									

Şekil 6. Şekil 5'te gösterilen rastgele üretilmiş sayıların hemen altına mükemmel veri setinin girilmesi (a), rastgele üretilmiş verilere mükemmel veri setinin eklenmesi (b), bu işlemin sonucunda elde edilen verilerin bir kısmı (c). Negatif değerler, mükemmel veri setinden çıkarılan sapma değerinin verinin kendisinden daha büyük olduğu anlamına gelmektedir

Figure 6. Entering the perfect data set just below the randomly generated numbers shown in Figure 5 (a), adding the perfect data set to the randomly generated data (b), some of the data obtained as a result of this process (c). Negative values mean that the deviation value extracted from the perfect dataset is greater than the data itself

(a)

	A	B	C
36	süre (gün) - t	Model ($y=a \cdot e^{-bt}$)	
37	0	=51,2659*ÜS(-0,0864*A37)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA37)
38	3	=51,2659*ÜS(-0,0864*A38)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA38)
39	4	=51,2659*ÜS(-0,0864*A39)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA39)
40	6	=51,2659*ÜS(-0,0864*A40)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA40)
41	8	=51,2659*ÜS(-0,0864*A41)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA41)
42	10	=51,2659*ÜS(-0,0864*A42)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA42)
43	12	=51,2659*ÜS(-0,0864*A43)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA43)
44	19	=51,2659*ÜS(-0,0864*A44)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA44)
45	26	=51,2659*ÜS(-0,0864*A45)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA45)
46	30	=51,2659*ÜS(-0,0864*A46)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA46)
47	33	=51,2659*ÜS(-0,0864*A47)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA47)
48	40	=51,2659*ÜS(-0,0864*A48)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA48)
49	47	=51,2659*ÜS(-0,0864*A49)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA49)
50	50	=51,2659*ÜS(-0,0864*A50)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA50)
51	60	=51,2659*ÜS(-0,0864*A51)	=C\$53*ÜS(-C\$54*SA51)
52			
53	a	51,2659	51,2629
54	b	0,0864	0,0864
55	SSE	67,1814	=TOPLA((C20:C34-C37:C51)^2)

(b)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
35																					
36	süre (gün) - t	Model ($y=a \cdot e^{-bt}$)																			
37	0	51,27	54,1278	51,5098	49,7228	52,0094	52,1377	50,946	51,2244	54,0309	53,0203	50,0028	55,2564	51,8775	48,8574	51,1874	52,7441	52,8715	46,6929	52,6950	51,1128
38	3	39,56	40,7832	39,2434	38,1494	40,5327	39,2472	39,2856	40,2277	40,9044	40,708	38,356	40,3005	39,5993	38,8464	40,211	40,6828	39,5171	36,4324	39,9135	39,1151
39	4	36,29	37,1109	35,842	34,9246	37,3003	35,7021	36,0253	37,1143	37,2803	37,2757	35,1112	36,276	36,1901	35,988	37,1027	37,3099	35,8624	33,5403	36,3834	35,7779
40	6	30,53	30,7285	29,898	29,2698	31,5885	29,5437	30,294	31,5918	30,967	31,2549	29,422	29,3926	30,2271	30,8867	31,5883	31,3797	29,5358	28,4266	30,2322	29,9336
41	8	25,68	25,4438	24,998	24,5306	26,7512	24,4476	25,4745	26,891	25,7228	26,2065	24,6546	23,8153	25,2465	26,5086	26,8935	26,392	24,3253	24,0925	25,121	25,0439
42	10	21,61	21,068	20,8039	20,5587	22,6548	20,2305	21,4217	22,8897	21,3667	21,9736	20,6597	19,2964	21,0866	22,751	22,8965	22,1972	20,034	20,4193	20,8739	20,9529
43	12	18,18	17,4447	17,3538	17,2299	19,1856	16,7409	18,0137	19,4837	17,7483	18,4244	17,3121	15,6349	17,6122	19,526	19,4935	18,6691	16,4997	17,3061	17,3448	17,5302
44	19	9,93	9,01165	9,19969	9,28521	10,7233	8,62933	9,82258	11,0863	9,27091	9,94522	9,32479	7,48615	9,37848	11,4357	11,0998	10,1861	8,36488	9,69953	9,07098	9,39047
45	26	5,42	4,65528	4,87698	5,0038	5,99354	4,44811	5,35608	6,30812	4,84271	5,36829	5,02261	3,58446	4,99404	6,6975	6,32033	5,55771	4,24075	5,4363	4,74393	5,03023
46	30	3,84	3,19173	3,39354	3,5146	4,29848	3,04591	3,78743	4,57051	3,34138	3,77415	3,5268	2,35321	3,48388	4,93333	4,58123	3,93138	2,87648	3,90498	3,27546	3,52106
47	33	2,96	2,40485	2,58541	2,69655	3,34995	2,29284	2,92058	3,58933	2,52962	2,89772	2,70532	1,71628	2,65933	3,92249	3,59885	3,03237	2,14993	3,04688	2,48098	2,69456
48	40	1,62	1,24231	1,37059	1,45317	1,87237	1,18188	1,59254	2,04234	1,32136	1,56415	1,45717	0,82177	1,41609	2,29726	2,04922	1,65451	1,08995	1,70769	1,2975	1,44341
49	47	0,88	0,64176	0,72658	0,78311	1,04652	0,60922	0,86838	1,1621	0,69022	0,84431	0,78487	0,39348	0,75407	1,34543	1,16685	0,90273	0,55257	0,95711	0,67856	0,77319
50	50	0,68	0,48354	0,53356	0,60084	0,81559	0,45859	0,66963	0,91262	0,52254	0,64824	0,60206	0,28698	0,5756	1,06975	0,91663	0,69629	0,413	0,74679	0,51397	0,5917
51	60	0,29	0,18821	0,23357	0,24843	0,35526	0,17794	0,28157	0,40781	0,20664	0,26866	0,24875	0,10022	0,23396	0,49814	0,41002	0,29903	0,15649	0,32658	0,2036	0,24256
52																					
53	a	51,2659	54,1278	51,5098	49,7228	52,0094	52,1377	50,9460	51,2244	54,0309	53,0203	50,0028	55,2564	51,8775	48,8574	51,1874	52,7441	52,8715	46,6929	52,6950	51,1128
54	b	0,0864	0,0944	0,0907	0,0883	0,0831	0,0947	0,0866	0,0806	0,0928	0,0881	0,0884	0,1053	0,0900	0,0764	0,0805	0,0865	0,0970	0,0827	0,0926	0,0892
55	SSE	67,1814	80,7513	86,3682	57,1501	40,3993	119,7228	47,0426	90,0611	65,2175	84,9870	52,9572	76,9450	104,4963	163,6315	87,0445	17,7859	30,3654	85,5231	115,3266	109,7128
56																					
57	Toplam SSE		7103,7146																		

Şekil 7. Şekil 6b'de gösterilen verilerin hemen altına model parametre değerlerinin girilerek modelin hesaplanması ve sanal veri seti ile model arasındaki farkların karelerinin toplamının (SSE) alınması (a), B57 hücresinde 100 adet SSE değerinin toplanması ve çözücü aracında bu değer en küçük yapılarak elde edilen 100 adet parametre değerinin bir kısmının gösterilmesi (b). Değerlerin okunabilmesi 100 işlemden sadece 19 tanesi gösterilmiştir

Figure 7. Calculating the model by entering the model parameter values just below the data shown in Figure 6b and taking the sum of the squares (SSE) of the differences between the virtual data set and the model (a), adding 100 SSE values in cell B57 and minimizing this value in the solver tool. Displaying part of the 100 parameter values obtained (b). Only 19 out of 100 operations were shown to be able to read the values

Parametrelerin %95 güven aralıklarının hesaplanması ve sonuçların Excel dışında doğrusal olmayan regresyon yapan başka bir programla karşılaştırılması

Elde edilen 100'er adet parametre değerleri Excel'de alt alta sıralandıktan sonra %95 güven aralıkları " =YÜZDEBİRLİK(dizi; 0.025)" ve " =YÜZDEBİRLİK(dizi; 0.975)" kullanılarak bulunabilir. Örneğimizde a parametresinin %95 güven aralığı 48.5477 ile 54.7477

arasında değişmektedir. Diğer parametrenin %95 güven aralığı ise 0.0765 ile 0.0964 arasında değişmektedir. Peki bu ne anlama gelmektedir? Doğrusal olmayan regresyon sonucu elde edilen parametre değerleri %95 ihtimalle bu değerler arasındadır. Dikkat edilirse güven aralıkları simetrik değildir çünkü (a parametresinin değeri 51.2659 olarak bulunurken b parametresi 0.0864 olarak hesaplanmıştır (Şekil 2)) doğrusal olmayan regresyonda doğrusal regresyonun aksine güven aralıkları simetrik olmaz [9]. Ancak, genelde doğrusal yaklaşımla güven aralıkları simetrikmiş gibi gösterilir ya da hesaplanır.

Tablo 1. Üstel model ($y = a \cdot e^{-bt}$) parametrelerinin standart hatalarının, alt ve üst limitlerinin Excel'de 100 Monte Carlo benzetimi yapılarak hesaplanmasının SigmaPlot programının çıktıları ile karşılaştırılması
Table 1. Comparison of the standard errors, lower and upper limits of the exponential model ($y = a \cdot e^{-bt}$) parameters with the output of SigmaPlot program by simulating 100 Monte Carlo in Excel

Program	Parametre	Parametre değeri	Standart hata	Alt limit (%95)	Üst limit (%95)	R ²	Ayarlı R ²	RMSE
Excel	a	51.2629	1.6744	48.5477	54.7477	0.9816	0.9802	2.2733
	b	0.0864	0.0059	0.0077	0.0096			
SigmaPlot [†]	a	51.2629	1.7754	47.4304 [†]	55.1014 [†]	0.9816	0.9802	2.2733
	b	0.0864	0.0058	0.0074 [†]	0.0099 [†]			

[†] Alt ve üst limitler (%95) doğrusal yaklaşım yapılarak hesaplanmıştır.

Sonuçları karşılaştırmak için SigmaPlot programı yardımıyla aynı veri seti aynı modelle tanımlanmıştır. Bu sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. Görüldüğü gibi parametre değerleri ve model uyum göstergeleri Excel çözücü ile birebir aynıdır ve bu beklenen bir sonuçtur [2]. SigmaPlot programı model parametrelerinin yanında bu parametrelerin standart hatalarını da vermiştir. Bu hatalar kullanılarak doğrusal varsayım ile simetrik %95 güven aralıkları hesaplanabilir. Standart hataların $t_{0.05}$ değeri ile çarpılması ile %95 güven aralıkları hesaplanabilir. Bunun için t tablosunda bakılabilir ya da Excel’de t tablosuna bakmadan $t_{0.05}$ değeri hesaplanabilir. Excel’de herhangi bir hücreye “=T.TERS.2K(0.05; serbestlik derecesi)” yazılabilir. Serbestlik derecesi (veri sayısı – parametre sayısı) olduğundan yani örneğimiz için $15 - 2 = 13$ olduğundan $t_{0.05}$ değeri 2.1604 olarak bulunabilir. Bu değer her bir parametrenin standart hatası ile çarpıldığında %95 güven aralığı a için $\pm 3.8355 b$ için ise ± 0.01253 olarak hesaplanır. Bunlar a ve b ’nin regresyonda elde ettiğimiz değerlerine eklenirse simetrik aralıklar a için 47.4304-55.1014 b için 0.07387-0.09893 bulunur. Sonuç olarak her iki yöntemle de birbirine yakın güven aralıkları elde edilmiştir. Ancak, doğrusal olmayan regresyonda güven aralıkları simetrik olamayacağından ikinci örnekte ve genelde yapıldığı gibi doğrusal yaklaşım bu aralıkların yanlış hesaplanmasına yol açacaktır [10].

SONUÇ ve BAZI ÖNERİLER

Doğrusal olmayan modellerin kullanımı gıda bilimleri de dahil olmak üzere birçok alanda oldukça yaygındır. Bir takım ücretli yazılımlar kullanılarak doğrusal olmayan regresyon yapılabilir, böylece model parametreleri ve bu parametrelerin belirsizlikleri bulunabilir. Ancak, bu ücretli yazılımları kullanabilmek için belirli bilgi ve beceriler gereklidir. Öte yandan, her ne kadar Excel de ücretli olsa da kullanılan hemen her bilgisayarda bu hesap çizelgesi yazılımı yüklüdür. Dahası verilerle uğraşan araştırmacılar Excel kullanımına oldukça aşinadır.

Excel kullanılarak doğrusal regresyon yapmak nispeten kolaydır. Bunun için Excel’deki veri çözümleme aracının içerisinde yer alan regresyon uygulaması kullanılabilir ve model parametreleriyle birlikte bu parametrelerin standart hataları ve %95 güven aralıkları da elde edilebilir. Dahası model uyumu gösteren R^2 , ayarlı R^2 ve RMSE değerleri de bulunabilir. Excel’de doğrusal olmayan regresyon yapılmak isteniyorsa çözücü aracı kullanılmalıdır. Ancak, böyle bir durumda model parametrelerinin standart hata ya da güven aralıkları elde edilemez. Sadece parametre değerleri bulunabilir ve eğer istenirse R^2 , ayarlı R^2 ve RMSE değerleri de hesaplanabilir.

Bu çalışmada Excel’de doğrusal olmayan regresyon yapıldığında model parametrelerinin %95 güven aralıklarının nasıl elde edileceği gösterilmiştir. Bunun için Excel’de MC benzetimi yapılmıştır. MC benzetimi sırasında Excel’de yer alan veri çözümleme aracı içerisindeki rastgele sayı üretimi uygulaması

kullanılmıştır. Çözücü aracıyla da 2 parametrelili bir modelin 100 farklı veri setine aynı anda uygulanması ve parametrelerin güven aralıklarının hesaplanması gösterilmiştir. Unutulmamalıdır ki çözücü aracı tek seferde 200 hesaplama yapabilmektedir dolayısıyla 3, 4 veya daha fazla parametrelili modeller için bu çalışmada gösterilen yöntem birden fazla tekrarlanmalıdır. Örneğin 4 parametrelili bir model için iki sefer 50 benzetim yapılabilir.

Excel genellikle grafik çizmek, bazı basit istatistiksel (örneğin standart sapma hesaplaması) ve matematiksel işlemleri (örneğin logaritmik işlemler) yapmak için kullanılsa da araştırmacıların Excel kullanımı geliştikçe veri çözümleme ve çözücü araçlarına aşinalığı da artmaktadır. Bu da MC benzetimi gibi biraz daha ileri yöntemlerin kullanımlarını kolaylaştıracaktır. Bu çalışma gıda bilimleri alanında ücretli yazılıma sahip olmayan ve verilerle uğraşan birçok araştırmacı için faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Leylak, C., Yurdakul, M., Buzrul, S. (2020). Gıda bilimlerinde Excel kullanımı 1: Doğrusal regresyon. *Food and Health*, 6(3), 186-198.
- [2] Yurdakul, M., Leylak, C., Buzrul, S. (2020). Gıda bilimlerinde Excel kullanımı 2: Doğrusal olmayan regresyon. *Food and Health*, 6(3), 199-212.
- [3] van Boekel, M.A.J.S. (2009). *Kinetic modeling of reactions in foods*. CRC press Boca Raton FL.
- [4] Jarvis, B. (1989). Statistical aspects of the microbiological analysis of foods. In: *Progress in Industrial Microbiology*, Vol. 21. Elsevier, Amsterdam.
- [5] Mossel, D.A.A., Corry, J.E.L., Struijck, C.B., Baird, R.M. (1995). *Essentials of the Microbiology of Foods*. John Wiley & Sons, Chichester.
- [6] Lambert, R.J.W., Mytilinaios, I., Maitland, L., Brown, A.M. (2012). Monte Carlo simulation of parameter confidence intervals for non-linear regression analysis of biological data using Microsoft Excel. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 107, 155-163.
- [7] Öksüz, H.B., Buzrul, S. (2020). Monte Carlo analysis for microbial growth curves. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Science*, 10(3), 418-423.
- [8] Minguez-Mosquera, M.I., Gandul-Rojas, B., Minguez-Mosquera, J. (1994). Mechanism and kinetics of the degradation of chlorophylls during the processing of green table olives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 1089-1095.
- [9] Brown, A.M. (2001). A step-by-step guide to non-linear regression analysis of experimental data using a Microsoft Excel spreadsheet. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 65, 191-200.
- [10] van Boekel, M.A.J.S. (1996). Statistical aspects of kinetic modeling for food science problems. *Journal of Food Science*, 61(3), 477-485, 489.

Altın (Gökova) Susamın (*Sesamum indicum* L.) Bazı Tohum ve Yağ Özellikleri

Melisa Özpolat , Murat Reis Akkaya  ✉, Yasemin Bakaçhan 

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş Tarihi (Received): 30.07.2021, Kabul Tarihi (Accepted): 19.09.2021

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): mrakkaya@atu.edu.tr (M.R. Akkaya)

☎ 0 332 444 0188 📠 0 332 455 0009

ÖZ

Geleneksel olarak yüzyıllardır insan beslenmesinde ve hastalıklarda iyileştirici olarak kullanılan susam tohumlarına ve ürünlerine olan talep, beslenme ve sağlık üzerindeki olumlu etkilerinin daha iyi anlaşılması nedeniyle son yıllarda daha da artmıştır. Bu çalışmada neredeyse tamamı ihraç olan Altın (Gökova) Susamın bazı tohum ve yağ özellikleri belirlenmiştir. Susam tohumlarının bin dane ağırlığı 3.40 g, ham protein oranı %20.24, ham yağ oranı ise %50.05 olarak bulunmuştur. Tohum renk analizi değerlerinden L*, a*, b*, c* ve h ortalamaları sırasıyla; 55.78, 10.35, 29.88, 31.62 ve 70.89 olarak belirlenmiştir. Toplam antioksidan kapasitesi 1405.53 mg trolox eşdeğeri/100g olarak belirlenirken, toplam fenolik madde içeriği ise 483.34 mg gallik asit eşdeğeri/100g olarak bulunmuştur. Susam numunelerinin yağlarında yapılan analizler sonucunda ise; palmitik asit oranı %9.45, oleik asit oranı %40.46, linoleik asit oranı %42.57 ve stearik asit oranı %4.96 olarak belirlenmiştir. Susam lignanlarından sesamol, sesamin ve sesamolin içerikleri ise sırasıyla 0.076 µg/g yağ, 12.278 mg/g yağ, 0.906 mg/g yağ olarak bulunmuştur. Susam tohum yağlarında ortalama α-tokoferol 1.57 µg/g, α-tokotrienol 1.22 µg/g, γ-tokoferol 47.59 µg/g, toplam tokoferol ise 49.17 µg/g olarak belirlenmiştir. Susam yağı renk analizi değerlerinden L*, a*, b*, c* ve h sırasıyla; 93.34, -1.57, 30.37, 30.41 ve 92.99 olarak belirlenmiştir. Kırılma indisi (20°C), iyot sayısı, sabunlaşma sayısı, serbest yağ asidi, ve sabunlaşmayan madde değerleri ise sırasıyla; 1.47, 107.86, 186.4 mgKOH /g yağ, %0.82 ve 1.74 g/kg olarak bulunmuştur. Altın (Gökova) Susam numunelerinde belirlenen kalite kriterlerinin literatür verilerine uygun olduğu ve çoğunlukla daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Altın-Gökova Susamı, Kalite, Susam Lignanları, Sesamol, Tokoferol

Some Seed and Oil Properties of Golden (Gökova) Sesame (*Sesamum indicum* L.)

ABSTRACT

The demand for sesame seeds and their products, which have traditionally been used for centuries as a cure for human nutrition and diseases, has increased in recent years due to a better understanding of their positive effects on nutrition and health. In this study, some seed and oil properties of Golden (Gökova) Sesame, almost all of which are exported, were determined. The thousand grain weight of sesame seeds was 3.40 g, the crude protein rate was 20.24% and the crude oil rate was 50.05%. Seed color analysis average values L*, a*, b*, c* and h respectively; 55.78, 10.35, 29.88, 31.62 and 70.89. While the total antioxidant capacity was determined as 1405.53 mg trolox equivalents/100g, the total phenolic content was found to be 483.34 mg gallic acid equivalents/100g. As a result of the analyzes made in the oils of sesame samples; palmitic acid ratio 9.45%, oleic acid ratio 40.46%, linoleic acid ratio 42.57% and stearic acid ratio 4.96%. Sesamol, Sesamin and Sesamoline amounts of sesame lignans were found as 0.076 µg/g oil, 12.278 mg/g oil, and 0.906 mg/g oil, respectively. Average α-tocopherol was found as 1.57 µg/g, α-tocotrienol was found as 1.22 µg/g, γ-tocopherol was found as 47.59 µg/g, and total tocopherol was found as 49.17 µg/g in sesame seed oils. Sesame oil color analysis values L*, a*, b*, c* and h respectively; 93.34, -1.57, 30.37, 30.41

and 92.99. The refractive index (20°C), iodine number, saponification number, free fatty acid and unsaponifiable matter values respectively; 1.47, 107.86, 186.4 mgKOH/g oil, 0.82% and 1.74 g/kg. It was determined that the quality criteria detected in the Golden (Gökova) Sesame samples were in accordance with the literature data and mostly gave better results.

Keywords: Golden-Gökova Sesame, Quality, Sesame Lignans, Sesamol, Tocopherol

GİRİŞ

Susam (*Sesamum indicum* L.) tohumu geleneksel olarak yüzyıllardır insan beslenmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde ise besin içeriği, eşsiz tadı ve kokusu ile birçok alanda kullanım yeri bulmuştur. Latince "sesamun" ve Yunanca "sesamon" olarak bilinen susam beyaz, sarı, kahverengi ve siyah olmak üzere 4 farklı renkte bulunmaktadır. Susam özellikle Uzak Doğu ve Ortadoğu'da yaygın olarak yetiştirilmektedir. Türkiye'de ise yağlı tohumlar içerisinde üretim bakımından 5. sırada yer almaktadır [1].

Kimyasal bileşimi tohumun çeşidine, yetiştirme koşullarına, iklime, rengine ve büyüklüğüne göre değişiklik gösteren ve zengin bir besin değeri olan susam tohumunun önemli bir yağ (%50-60) ve protein (%18-25) kaynağı olduğu, yaklaşık olarak %5 oranında kül içerdiği, lif ve karbonhidrat içeriği bakımından büyük farklılıklar gösterdiği ve karbonhidrat içeriğinin de %3 ila 14 arasında değiştiği bildirilmektedir [2-5].

Tohumunda yüksek miktarda kaliteli yağ bulduran susam dünyada yetiştirilen en eski ve en önemli yağ bitkilerinden birisidir. Susam tohumlarında %50-60 oranında yağ bulunmaktadır [5]. Diğer bitkisel yağların aksine susam yağı, her biri %35 ile 45 arasında değişen oleik ve linoleik yağ asitlerini içerir [6]. Ayrıca susam yağı lignan olarak bilinen sesamin (%0.5-1.5) ve sesamolin (%0.3-0.5) gibi ikincil maddelere bağlı olarak oksidasyona karşı da son derece dirençlidir [7]. Yapılan bir çalışmada [4], susam tohumu yağının yağ asidi bileşimini %9 palmitik asit, %5 stearik asit, %39.17 oleik asit, %44.70 linoleik asit ve %0.87 linolenik asit olarak belirtilmiştir.

Uzun yıllardan beri Doğu'da enerjiyi artıran ve yaşlanmayı önleyen bir gıda olarak görülen susamın günümüzde yaşlanma karşıtı olan etkisi kapsamlı bir şekilde hala araştırılmamıştır [8]. Susam tohumu ve yağı yemeklerde, tatlılarda, şekerlemelerde ve özellikle ülkemizde tahin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Susam yağı, fıstık yağının kullanımına başlayıncaya kadar Hindistan'da ilk olarak tercih edilen yemeklik yağlardan biri olmuştur [9]. Susam tohumunun aroması, tadı ve lezzeti Kore mutfağında da oldukça popülerdir. Susam bitkisinin yaprakları ise Kore geleneksel yemeklerinde et ve diğer sebzelerle yenen bir tür sargı olarak kullanılır. Susam tohumları sağlığı geliştirici etkilerde önemli bir rol oynayan lignanların içermektedir. Hem sesamin hem de sesamolin, susam tohumunun karakteristik lignanlarıdır [10].

Susam yağının en önemli özelliklerinden biri de tokoferol bileşenleridir. Yapılan bir çalışmada [11], susam yağındaki toplam tokoferol miktarının 294-528 mg/kg

olduğu bildirmiştir. Bitki kaynaklı lipofilik ve fenolik bileşikler olan tokoferoller, aynı zamanda E vitamininin ana bileşenleri olarak bilinirler. Tokoferollerin kalp hastalığı ve kanser gibi yaşa bağlı hastalıkları önlediği düşünülmektedir [12]. Tokoferol vitaminleri lipitte çözünür antioksidanlar olarak işlev gören, çoklu doymamış yağ asitlerini lipit peroksidasyonundan korumaya yardımcı olan ve böylece serbest radikal aracılığıyla olayların oksidatif veya nitratif stresden yayılmasını önleyen serbest radikal temizleyicileridir [12].

Türkiye'de susam Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Toplam ekim alanının %48.6'sı Ege Bölgesi'nde bulunmaktadır [13]. Ana ürün tarımında olduğu kadar ikinci ürün tarımında da yer alan susam, yetiştirme süresinin kısalığından dolayı her kültür bitkisi ile ekim nöbetine girebilmektedir. Son yıllarda Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde tahıllardan sonra ikinci ürün olarak yetiştirilmektedir [14]. Bunların yanı sıra, toprak seçiciliğinin olmaması, düşük besin ihtiyacı, kuraklığa toleranslı olması ve pazarlama problemlerinin olmaması nedenleriyle de susam önemli bir bitkidir [15].

Muğla'nın Gökova havzasında yetişen Altın Susam, Türkiye'nin kimyasal ve fiziksel özellikleri (irilik ve altın renk) bakımından en kaliteli ve en değerli susamı olarak bilinen ve hala geleneksel yöntemlerle üretilen, bölgenin iklim özelliklerinden dolayı da başka yerde yetişmeyen ender bir susam çeşididir. Altın Susam gübre veya tarım ilaçları kullanılmadan tamamen organik olarak yetiştirilmektedir. Bu bölgede her yıl yaklaşık 20 bin dekarlık bir alanda tarımı yapılan Altın Susamın yıllık üretim miktarı da yaklaşık 2 bin tondur [16]. Gökova havzasının iklimi nedeniyle Altın Susam yüksek yağ içeriği, lezzeti ve aroması ile başta Japonya ve Çin olmak üzere birçok farklı ülkeye ihraç edilmektedir. Çin ve Japonya'ya ihraç edilen Altın Susam, lezzetine ve kalitesine ciddi önem verdikleri geleneksel bir yemek olan suşi için yıllardır kullanılmaktadır. Yetiştirilen Gökova/Altın Susamın %90'ı ihraç edilmekte ve geri kalanı ülkemizde başta tahin ve susam yağı üretimi olmak üzere birçok farklı sektörde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de Muğla'nın Ula ilçesine bağlı Gökova havzasında yetiştirilen Gökova/Altın Susamın tohum ve yağında bazı kalite kriterleri belirlenmiştir.

MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada Muğla'nın Ula, Gökova ve Köyceğiz bölgelerinde yetiştirilen Gökova/Altın Susam numuneleri materyal olarak kullanılmıştır. Susam numuneleri üretim bölgelerinin tamamını yansıtan beş farklı toplama merkezinden (tüccar) alınmış (AS1, AS2, AS3, AS4, AS5), tohumunda ve soğuk pres yöntemiyle çıkarılan

yağlarında 3 paralel olarak analizler yapılmıştır.

Altın Susam tohumunda bin dane ağırlığı [17], Minolta Spektrofotometre CM-5 (Konica Minolta) model renk ölçüm cihazı ile tohum rengi [18], kuru madde tayini [19], Kjeldahl yağ yakma yöntemi ile ham protein tayini (NX6.25) [20], soxhlet yöntemi ile ham yağ tayini [21] yapılmıştır. Homojenizatör yardımıyla parçalanmış susam tohumları 1:10 (W/V) oranında %80'lik metanol çözeltisi eklenerek homojen hale getirilmiş, homojen karışım 45 dk boyunca oda sıcaklığında sonikatörde bekletilerek ultrasonic dalgalarla fenolik bileşenlerin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiş ve Folin-Ciocalteu reaktifi kullanılarak Agilent Technologies Cary 60 UV-VIS cihazında 765 nm absorbansta toplam fenolik madde tayini [22], 515 nm absorbansta DPPH yöntemi ile de antioksidan kapasitesi tayini [23] yapılmıştır. Ayrıca susam tohumlarının rengi üç panelist tarafından duyuşal olarak (göz ile) değerlendirilmiş ve hangi renkte olduğu belirlenmiştir.

Soğuk pres (Karaerler NF500) yöntemi ile çıkarılan susam tohum yağında ise Minolta Spektrofotometre CM-5 (Konica Minolta) model renk ölçüm cihazı ile renk analizi [18], Abbe refraktometresi (Krüss AR2008) ile kırılma indisi [24], serbest yağ asidi [25], iyot değeri [26], sabunlaşmayan madde [27], sabunlaşma sayısı [27] tayinleri yapılmıştır. Yağ asiti kompozisyonu tayini için öncelikle yağ asitlerinin metil esterleri oluşturulmuş ve silica kapılar kolon (100 m × 0.25: 0.2 mm) ve taşıyıcı helium gazı kullanılarak Gaz Kromatografisi (Agilent Technologies GC-7890A) cihazı ile (Akış: 0.8 mL/dk, enjeksiyon hacmi: 1 µL, split: 10/1) analiz gerçekleştirilmiştir [28]. Hekzan ile ekstrakte edilen yağ numunelerinde de UV dedektörlü Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (HPLC) cihazı ile (Agilent Technologies 1200) tokollerin [29] (Kolon: Inertsil NH₂ 250mm x 4.6mm - 5µm, Mobil faz: n-hexan/asetik asit/IPA (1000mL/5mL/6mL), Kolon sıcaklığı: 20°C, Dalga Boyu: 296 nm, Akış hızı: 1 mL, Enjeksiyon hacmi: 10 µL) ve

lignanların [30] (Kolon: Prodigy ODS3 100A 250mm x 4.6mm - 5µm, Mobil faz: metanol/su (70mL/30mL), Kolon sıcaklığı: 30°C, Dalga Boyu: 290 nm, Akış hızı: 1 mL, Enjeksiyon hacmi: 10 µL) analizleri yapılmıştır. Analizlerde kullanılan tüm kimyasallar Merk marka, standartlar ise Sigma Aldrich (Sesamin Product Number: SMB00701, Sesamin Product Number: 59867, Sesamol Product Number: S3003) ve ChromaDex (Tocotrienol and Tocopherol Mixture Lot Number: 00020329-00569) markadır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Altın Susam Tohumunda Yapılan Analizlerin Sonuçları

Araştırmada materyal olarak kullanılan Altın Susam numunelerinin kuru madde oranları ortalama %95.16 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Altın Susam numunelerinin bin dane ağırlığı ortalama 3.40 g olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Özcan ve Akgül [31] çalışmalarında farklı lokasyonlardan sağladıkları 16 susam örneğinde bin dane ağırlığının 2.17-4.11 g arasında değiştiğini belirtmiş ve tohumun önemli özelliklerinden biri olan bin dane ağırlığının, ortama ve yetiştirme koşullarına göre değiştiğini ifade etmişlerdir. Bir başka araştırmada da yerel susam örneklerinde (Konya, Antalya ve Tekirdağ) bin dane ağırlığı 2.57-4.01 g arasında tespit edilirken, ithal edilen susam örneklerinde (Uganda, Meksika ve Venezuela) bin dane ağırlığının 2.17-3.05 g arasında olduğu belirlenmiştir [32]. Zebib ve ark. [33] yaptığı araştırmasında ise farklı çeşit susam numunelerinde bin tane ağırlığını 3.16 g, 2.74 g, ve 2.98 g olarak bulmuştur. Gölükcü [19] ise çalışmasında ortalama bin tane ağırlığının 3.68 g olduğunu belirlemiştir. Araştırmadan elde ettiğimiz Altın Susam numunelerine ait bin dane ağırlığı benzer çalışmalardan elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde.

Tablo 1. Susam tohumlarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1. Some physical and chemical properties of sesame seeds

Numune	Kuru Madde (%)	Bin Dane Ağırlığı (g) (KM)*	Ham Protein (%) (KM)	Ham Yağ (%) (KM)
AS 1	95.23	3.41	20.1	50.65
AS 2	95.12	3.73	21.0	50.08
AS 3	94.71	3.23	20.2	49.15
AS 4	95.53	3.35	20.4	49.77
AS 5	95.23	3.29	19.5	50.6
Ortalama	95.16	3.40	20.24	50.05
Standart Sapma	0.30	0.19	0.54	0.62

*KM: Kuru Maddede

Araştırmada Altın Susam numunelerinin ham protein oranı ortalama olarak %20.24 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Alperen [34] çalışmasında Diyarbakır/Çüngüş susamının protein içeriğini %21.88 olduğunu belirtmiştir. Zebib ve ark. [33] yaptığı araştırmasında ise farklı çeşit susam numunelerinde protein içeriğini %22.49-26.23 arasında değiştiğini belirtmiştir. Özcan [32] ithal ve yerel susam tohumları üzerine yaptığı araştırmada yerel susamların (Anamur, Gaziantep) protein içeriğini sırasıyla %16.44 ve %22.07, ithal susamların ise

(Uganda, Meksika) sırasıyla %21.18 ve %21.38 olarak belirlemiştir. Salunkhe [7] ise susam protein içeriğinin yüzde 17-32 arasında değiştiğini belirtmiştir. Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliğine göre susam protein içeriği kuru madde üzerinden en az %20 olmalıdır [55]. Bu bilgiler doğrultusunda araştırmamız sonucu bulduğumuz Altın Susam numunelerine ait protein değerlerinin literatürde bildirilen değerler ile ve Türk Gıda Kodeksi ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada Altın Susam numunelerinin ortalama ham yağ oranının %50.05 olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Alperen [34] yaptığı çalışmada yerel susam örneklerinde (Diyarbakır/Çüngüş, Konya/Akören) yağ oranlarını sırasıyla %54.71 ve %49.21 olarak belirlemiştir. Diğer bir çalışmada ise Özcan ve Akgül [31] yerel susam örneklerinde ortalama yağ değerini %52, ithal susam örneklerinde ise ortalama yağ değerini %53.30 olarak belirlemiştir. Ayrıca çalışmalarında, susam yağ içeriğinin tohumun rengine, büyüklüğüne, büyüme koşullarına ve çevresel faktörlere bağlı olarak %37 ile %63 arasında değişmekte olduğu da

belirtilmiştir [31]. Baydar [35] çalışmasında susamın %50'den fazla yağ içerdiğini belirtmiştir. Onur [36] ise çalışmasında, ülkemizde yetişen susam tohumlarının yağ oranının %40-60 arasında olduğunu belirtmiştir. Yapılan bu çalışmada Altın Susam numunelerinde bulunan ham yağ oranlarının literatürde bildirilen sonuçlarla uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir.

Araştırmada elde edilen Altın Susam numunelerine ait renk değerleri Tablo 2'de görülmektedir. Altın Susamın renk analiz değerleri L*, a*, b*, c*, h olarak sırası ile 55.78, 10.35, 29.88, 31.62, 70.89 olarak bulunmuştur.

Tablo 2. Susam tohumunun renk analizi değerleri

Table 2. Color analysis values of sesame seed

Numune	L*	a*	b*	c*	h	Duyusal Renk
AS 1	55.46	10.39	30.21	31.95	71.02	Altın Sarısı
AS 2	56.19	10.42	30.24	31.99	70.98	Altın Sarısı
AS 3	56.00	10.44	30.3	32.05	70.99	Altın Sarısı
AS 4	55.22	10.39	29.54	31.32	70.62	Altın Sarısı
AS 5	56.04	10.11	29.1	30.81	70.84	Altın Sarısı
Ortalama	55.78	10.35	29.88	31.62	70.89	Altın Sarısı
Standart Sapma	0.42	0.14	0.53	0.54	0.17	

Susamda renk önemli bir kalite kriteridir. Susam tohumlarının çeşidine bağlı olarak kahverengi, siyah, sarı, ve beyaz renkleri olabilir. Tohum kabuk rengi ile yağ asitleri arasında da bir ilişki vardır. Alperen [34] yaptığı çalışmada tohum rengi karardıkça, palmitik asit oranının ve linoleik asit oranının azaldığını, oleik asit ve stearik asit oranının ise arttığını bildirmiştir. Titzci [37] yaptığı çalışmasında susamların L*, a*, b*, c*, h renk değerlerini sırasıyla 44.22, 2.35, 9.77, 10.05 ve 76.49 olarak bulurken, Özdemir ve Gölükcü [38] ise çalışmalarında 53.83, 3.23, 15.75, 16.08 ve 78.41 olarak bulmuştur. Bu çalışmada Altın Susam numunelerinin renklerini duyusal olarak değerlendirdiğimizde ise bütün numunelerin altın sarısı renkte ve parlaklıkta olduğu

belirlenmiştir.

Araştırmada kullandığımız beş farklı Altın Susam örneğinin toplam antioksidan kapasite analizi sonuçları Tablo 3'te görülmektedir. Toplam antioksidan kapasite değerleri 966.44 mg trolox eşdeğeri/100g ile 1808.31 mg trolox eşdeğeri/100g arasında değişmiştir. Numunelerin toplam antioksidan kapasitesi ortalama değeri ise 1405.53 mg trolox eşdeğeri/100g olarak belirlenmiştir. Araştırma sonucunda belirlenen antioksidan kapasite değerleri Kurt ve ark. [56]'nın yerel susam çeşitlerinde elde ettikleri toplam antioksidan kapasite değerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 3. Susam tohumu toplam antioksidan kapasitesi ve toplam fenolik madde değerleri

Table 3. Total antioxidant capacity and total phenolic content of sesame seeds

Numune	Toplam Antioksidan Kapasitesi (mg trolox eşdeğeri/100g)	Toplam Fenolik Madde (mg gallik asit eşdeğeri/100g)
AS 1	966.45	362.87
AS 2	1056.16	503.75
AS 3	1485.37	462.32
AS 4	1711.36	598.24
AS 5	1808.31	489.51
Ortalama	1405.53	483.34
Standart Sapma	379.80	84.58

Serbest radikallerin neden olduğu oksidasyonu önleyen ve serbest radikalleri yakalama ve stabilize etme yeteneğine sahip maddelere antioksidanlar denir [39]. Sadece susam tohum yağında bulunan bazı lignanlar ve yüksek tokol içeriği ile susam zengin bir antioksidan özelliğe sahip olarak görülür. Araştırmamızda tespit edilen toplam antioksidan kapasite değerleri de oldukça yüksektir.

Fenolik bileşikler, bir aromatik halkaya bağlı fonksiyonel türevler dahil bir veya daha fazla hidroksil grubu içeren maddelerdir [40]. Fenolikler en aktif doğal

antioksidanlardır ve serbest radikalleri bağlayarak metallerle şelatlar oluşturur ve buna bağlı olarak lipoksigenaz enzimini inhibe ederek antioksidan etkilerine ulaşırlar. Bu çalışmada elde edilen toplam fenolik madde miktarları Tablo 3'te görülmektedir. Altın Susam numunelerinin toplam fenolik madde analizi sonuçlarının ortalaması 483.34 mg gallik asit eşdeğeri/100g olarak bulunmuştur. Araştırma sonucunda belirlenen toplam fenolik madde miktarları Kurt ve ark. [56]'nın yerel susam çeşitlerinde elde ettikleri toplam fenolik madde miktarı değerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

Altın Susam Yağında Yapılan Analizlerin Sonuçları

Altın Susam numunelerine ait yağ asidi kompozisyonu sonuçları Tablo 4'de görülmektedir. Codex Alimentarius'a [41] göre susam yağı palmitik asit oranı %7.9-12 ve stearik asit oranı %4.8-6.1 arasında değişmekte ve %20'den az doymuş yağ asidi içmektedir. Oleik asit ve linoleik asit ise susam yağındaki toplam yağ asitlerinin %80'inden fazlasını kapsamaktadır [41]. Susam yağında oleik asit oranı %35.9-42.3 ve linoleik asit oranı %41.5-47.9 olarak değişmektedir. Dört ana yağ asidinin yanı sıra diğer yağ asitleri de düşük

yüzelere sahiptir (%1'den az); palmitoleik asit (%0.1-0.2), linolenik asit (%0.3-0.4), araşidik asit (%0.3-0.6) ve miristik asit (≤ 0.1) [41].

Yağ asidi bileşimi tohumun çeşidine, yetiştirme koşullarına, iklim ve çevre şartlarına göre değişir [2-5]. Bu çalışmada Altın Susam tohum yağında palmitik asit oranı %9.45, oleik asit oranı %40.46, linoleik asit oranı %42.57 ve stearik asit oranı %4.96 olarak belirlenmiştir. Araştırmadan elde ettiğimiz sonuçlar Codex Alimentarius [41] ve Kamal-Eldin [42,43]'in yapmış olduğu araştırmalardan elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde.

Tablo 4. Altın Susam yağının yağ asidi kompozisyonu (%)

Table 4. Fatty acid composition of golden sesame oil (%)

Numune	Miristik asit (C14:0)	Palmitik asit (C16:0)	Palmitoleik asit (C16:1)	Stearik asit (C18:0)	Oleik asit (C18:1 cis)	Linoleik asit (C18:2)cis	Araşidik asit (C20:0)	Linolenik asit (C18:3 n6)
AS 1	0.016	9.65	0.14	4.85	40.29	42.66	0.50	0.30
AS 2	0.013	9.2	0.13	4.96	40.91	42.36	0.51	0.30
AS 3	0.015	9.6	0.14	5.02	40.37	42.42	0.53	0.31
AS 4	0.014	9.3	0.13	5.02	41.05	42.09	0.52	0.31
AS 5	0.014	9.5	0.13	4.95	39.67	43.31	0.54	0.32
Ort.	0.015	9.45	0.13	4.96	40.46	42.57	0.52	0.31
SS	0.001	0.19	0.00	0.07	0.55	0.46	0.01	0.01

SS: Standart Sapma

Tablo 5'de Altın Susam numunelerinde belirlenen Lignan (Sesamol, Sesamin, Sesamolin) değerleri görülmektedir. Susam örneklerindeki ortalama Sesamol,

Sesamin ve Sesamolin miktarları sırasıyla 0.076 $\mu\text{g/g}$ yağ, 12.278 mg/g yağ, 0.906 mg/g yağ olarak bulunmuştur.

Tablo 5. Altın Susam yağının lignan analizi sonuçları

Table 5. Lignan analysis results of golden sesame oil

Numune	Sesamol (mg/g yağ)	Sesamin (mg/g yağ)	Sesamolin (mg/g yağ)
AS 1	0.044	11.77	0.891
AS 2	0.008	14.04	1.034
AS 3	0.149	12.29	0.877
AS 4	0.103	12.43	0.934
AS 5	0.076	10.86	0.794
Ortalama	0.076	12.28	0.906
Standart Sapma	0.054	1.16	0.088

Çin'de 215 susam örneği ile yapılan bir çalışmada; sesamin, sesamolin ve toplam lignan aralıkları sırasıyla 0.88-11.05, 0.93-6.96 ve 2.49-18.01 mg/g olarak tespit edilmiştir [44]. Williamson ve ark. [45] 11 farklı genotipte susam örneği ile yaptığı çalışmasında sesamin içeriğinin 0.67 ila 6.35 mg/g arasında olduğunu bildirmiştir. Wu [46] 14 farklı ticari susam yağı örneğinde yaptığı araştırmasında ortalama sesamol, sesamin ve sesamolin değerlerini sırasıyla 0.30, 9.47 ve 1.74 mg/g olarak rapor etmiştir. Rangkadilok ve ark. [47] yaptıkları çalışmada susam örneklerinde sesamin ve sesamolin değerlerinin 1.55 ve 0.62 mg/g olduğunu bildirmiştir. Shi ve ark. [48] soğuk pres yöntemi ile elde edilen ticari susam yağlarında yaptıkları çalışmada Sesamol, Sesamin, Sesamolin ve Toplam lignan oranlarını 0.02, 4.86, 3.39 ve 8.27 mg/g olarak tespit etmiştir. Bu araştırmadan elde ettiğimiz sonuçları literatürlerde bildirilen sonuçlarla kıyasladığımızda; özellikle sesamin değerlerinin Altın Susam numunelerinde çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sadece susamda bulunan ve

güçlü bir antioksidan madde olan sesaminin Gökova/Altın susamında yüksek oranda bulunması bu susamının kıymetini daha da artırmaktadır.

Altın Susam numunelerinden elde edilen yağlarda tespit edilen tokollerin analiz sonuçları Tablo 6'da görülmektedir. Altın Susam tohum yağlarında ortalama α - tokoferol 1.57 $\mu\text{g/g}$, α -tokotrienol 1.22 $\mu\text{g/g}$, γ - tokoferol 47.59 $\mu\text{g/g}$, toplam tokoferol ise 49.17 $\mu\text{g/g}$ olarak belirlenmiştir. Rangkadilok ve ark. [47]'nin yaptığı çalışmada ticari susam yağlarında toplam tokoferol içeriğini 304-647 $\mu\text{g/g}$ olarak bildirmiştir.

Codex Alimentarius'a [41] göre susam yağında α -Tokoferol ≤ 3.3 mg/kg, γ -Tokoferol 521-983 mg/kg, δ - tokoferol 4-21 mg/kg, γ -tokotrienol ≤ 20 mg/kg ve toplam tokoller ise 330-1010 mg/kg olarak verilmektedir. Yaptığımız çalışmada tespit ettiğimiz α -Tokoferol değerleri Codex Alimentarius ile uyumlu bulunurken, γ -Tokoferol ve dolayısıyla da Toplam Tokoferol oranlarının

düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durumun analiz yöntemindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca Altın Susam örneklerinde Codex Alimentarius'dan farklı olarak α -Tokotrienol tespit

edilmiştir. Bu durumun Gökova/Altın Susama ait bir özellik olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6. Altın Susam yağının tokol analizi sonuçları
Table 6. Tocol analysis results of golden sesame oil

Numune	α -Tokoferol ($\mu\text{g/g}$ yağ)	α -Tokotrienol ($\mu\text{g/g}$ yağ)	γ -Tokoferol ($\mu\text{g/g}$ yağ)	Toplam Tokoferol ($\mu\text{g/g}$ yağ)
AS 1	1.24	1.25	49.93	51.17
AS 2	1.33	1.01	43.34	44.68
AS 3	1.68	1.21	48.47	50.14
AS 4	1.76	1.42	48.61	50.38
AS 5	1.51	1.23	49.95	51.47
Ortalama	1.57	1.22	47.59	49.17
Standart Sapma	0.22	0.15	2.73	2.79

Yaptığımız araştırmada Altın Susam yağlarına ait renk değerleri Tablo 7'de görülmektedir. Altın Susamın yağlarının renk analiz değerleri L*, a*, b*, c*, h olarak sırası ile 93.34, -1.57, 30.37, 30.41, 92.99 olarak bulunmuştur. Kim ve Choe [57], işlem görmemiş susam yağında L*, a* ve b* değerlerini sırasıyla 5.2, -1.4 ve 0.4 olarak bulurken, Bandara ve ark. [58] ise vidalı tip yağ

presi ile elde ettikleri yağlarda L*, a* ve b* değerlerini sırasıyla 23.44 ile 26.02, -0.88 ile -2.02 ve 8.27 ile 11.81 aralığında tespit etmişlerdir. Renk değerlerindeki bu farklılığın çeşitlerin renklerinin farklı olmasından ve farklı yağ çıkarma tekniklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 7. Altın Susam yağının renk analizi sonuçları
Table 7. Color analysis results of golden sesame oil

Numune	L*	a*	b*	c*	h
AS 1	94.17	-1.45	23.75	23.79	93.50
AS 2	93.79	-1.31	26.14	26.17	92.86
AS 3	93.12	-1.52	32.26	32.30	92.69
AS 4	92.72	-1.80	34.32	34.36	93.00
AS 5	92.90	-1.79	35.39	35.44	92.90
Ortalama	93.34	-1.57	30.37	30.41	92.99
Standart Sapma	0.62	0.22	5.15	5.15	0.31

Çalışmamızda materyal olarak kullandığımız Altın Susam numunelerinin yağının kırılma indisi değeri 20°C'de ortalama olarak 1.4693 bulunmuştur (Tablo 8). Yen ve ark. [4] susam üzerine yaptığı çalışmada kırılma indisi değerini 1.47, diğer bir çalışmada ise Nagaraj [49]

1.4760-1.4770 arasında bulmuştur. Nas ve ark. [50] ise susam yağının kırılma indisi değerini 1.470-1.474 arasında olduğunu belirtmiştir. Türk Gıda Kodeksi'nin verilerine göre susam yağı kırılma indisi değeri 1.465-1.469 (40°C) arasında olarak belirtilmiştir [51].

Tablo 8. Altın Susam yağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri
Table 8. Some physical and chemical properties of golden sesame oil

Numune	AS 1	AS 1	AS 1	AS 1	AS 1	Ort.	SS
Kırılma indisi (20°C)	1.50	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	0.00
İyot Değeri	105.70	110.85	112.43	104.42	105.81	107.86	3.54
Sabunlaşma Sayısı (mg KOH /g yağ)	186.5	186.4	186.0	186.6	186.0	186.4	0.27
Serbest Yağ Asidi (%)	0.78	0.50	1.00	0.98	0.85	0.82	0.20
Sabunlaşmayan Madde (g/kg)	1.65	1.69	1.83	1.89	1.64	1.74	0.11

SS: Standart Sapma

Altın Susam numunelerinden elde edilen yağlarda belirlenen iyot sayısı değeri ortalama 107.86 olarak bulunmuştur (Tablo 8). İyot değeri yağın yağ asitlerinin bileşimi olan doymuş ve doymamış yağ asitleri hakkında bilgi verir. Yen ve ark. [4] susam üzerine yaptığı çalışmada iyot sayısı değerini 98-104 arasında, Daxa ve Kothari [52] araştırmalarında iyot sayısı değerini 97.08-107.25 arasında, Hoffmann [53] ise iyot sayısı değerini 103.6-112.8 olarak bulmuştur. Türk Gıda Kodeksi'nde ise susam yağının iyot değerinin 104-120 arasında olması gerektiğini belirtmiştir [51].

Altın Susam numunelerinin ortalama sabunlaşma sayısı 186.36 mgKOH/g yağ olduğu belirlenmiştir (Tablo 8). Weiss [54] susam üzerine yaptığı araştırmada susam yağında sabunlaşma sayısını 188.6-191.2 mgKOH/g yağ arasında bulmuştur. Nagaraj [49] ise çalışmada susam yağının sabunlaşma sayısını 186-195 mgKOH/g arasında olduğunu bildirmiştir. Türk Gıda Kodeksi'nde ise susam yağının sabunlaşma sayısı değerinin 186-195 mgKOH/g yağ arasında olduğu belirtilmiştir [51].

Bu çalışmada Altın Susam örneklerinin serbest yağ asidi değeri ortalama %0.82 olarak belirlenmiştir (Tablo 8). Yen ve ark. [4] yaptığı çalışmada serbest yağ asitliğini %2.4, Weiss [54] ise araştırmasında susam numunelerinin serbest yağ asitliğinin %1-3 arasında olduğunu bildirmiştir.

Bu çalışmada Altın Susam numunelerinin ortalama sabunlaşmayan madde değeri 1.74 g/kg olarak belirlenmiştir (Tablo 8). Nas ve ark. [50] susamda sabunlaşmayan madde miktarını 1.8 g/kg olarak, Hoffmann [53] yaptığı çalışmada susam yağlarında sabunlaşmayan madde değerini 2 g/kg, Nagaraj [49] ise çalışmasında susam yağlarında sabunlaşmayan madde değerinin 1.4-2.5 g/kg arasında olduğunu belirtmiştir. Türk Gıda Kodeksi'ne göre ise sabunlaşmayan madde değeri ≤ 20 g/kg olmalıdır [51].

SONUÇ

Bu çalışmada ilk kez Muğla'nın Gökova havzasında yetiştirilen Altın Susam tohumlarının ve yağlarının bazı kalite kriterleri belirlenmiştir. Bin dane ağırlığı, ortama ve yetiştirme koşullarına göre değişiklik gösterir. Bu çalışmada Altın Susamın bin dane ağırlığının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Besin değerini arttıran, kalite kriterleri açısından da önemli bir faktör olan ham protein ve ham yağ içeriği Altın Susam tohumlarında diğer çalışmalardakilere benzer oranlarda bulunmuştur. Altın Susam yağında kırılma indisi, iyot sayısı, sabunlaşmayan madde, serbest yağ asidi, sabunlaşma sayısı değerlerinin de literature ve standartlara uygunluğu belirlenmiştir.

Altın Susam tohumu rengi görsel olarak oldukça parlak ve albenisi yüksektir. Altın Susamın fenolik madde miktarının ve antioksidan kapasitesinin diğer susam tohumlarına kıyasla oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Yağ asidi kompozisyonunda sekiz farklı yağ asit değerinin, taranan literatürle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Susam lignanlarından sesamol ve sesamolin değerlerinin literatür verilerine uygunluğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra değerli bir antioksidan olan sesamin içeriğinin ise Altın Susam tohum yağında literatürde belirlenen değerlerden çok daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu özelliği ile Gökova/Altın susamın insan beslenmesi ve sağlığı açısından çok daha değerli olduğu söylenebilir.

İnsan sağlığı üzerinde çok büyük bir rolü olan tokollerin Altın Susam içeriğindeki miktarı tüm literatür verilerine uygun bulunmuş olup özellikle α -tokotrienol miktarının karşılaştırılan diğer susamlardan oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan Altın Susam numunelerinde belirlenen kalite kriterlerinin literatür verilerine uygun olduğu ve çoğunlukla daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209/A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı tarafından desteklenmiştir.


KAYNAKLAR

- [1] Baydar, H. (2001). Susam (*Sesamum indicum* L.) genetiği ve ıslahı üzerinde araştırmalar: Tohum ve yağ kalite özelliklerinin kalıtımı. *IV. Ulusal Tarla Bitkileri Kongresi*, Tekirdağ.
- [2] El Khier, M.K.S., Ishag, K.E.A., Yagoub, A.G.A. (2008). Chemical composition and oil characteristics of sesame seed cultivars grown in Sudan. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4(6), 761-766.
- [3] Dashak, D.A., Fali, C.N. (1993). Chemical composition of four varieties of Nigerian benniseed (*Sesamum indicum*). *Food Chemistry*, 47(3), 253-255.
- [4] Yen, G.S., Shyu, S.L., Lin, T.C. (1986). Studies on improving the processing of sesame oil. I. Optimum processing conditions. *Food Science (Chinese)*, 13, 198-211.
- [5] Yermonos, D.M., Hemstreet, S., Saleeb, W., Huszar, C.K. (1972). Oil content and composition of the World collection of sesame introductions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 49, 20-24.
- [6] Liu, J.R., Zheng, Y.Z., Xu, R.Q. (1992). Analysis of nutrient quality of seed and screening for prominent germplasms in sesame. *Oil Crops of China*, 1, 24-26.
- [7] Salunkhe, D.K. (1992). World oilseeds: chemistry, technology, and utilization. Published in New York by Van Nostrand Reinhold.
- [8] Nakai, M., Harada, M., Nakahara, K., Akimoto, K., Shibata, H., Miki, W., Kiso, Y. (2003). Novel antioxidative metabolites in rat liver with ingested sesamin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(6), 1666-1670.
- [9] Moazzami, A.A., Kamal-Eldin, A. (2006). Sesame seed is a rich source of dietary lignans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83, 719-723.
- [10] Namiki, M. (2007). Nutraceutical functions of sesame: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(7), 651-673.
- [11] Yoshida, H., Abe, S., Hirakawa, Y., Takagi, S. (2001). Roasting effects on fatty acid distributions of triacylglycerols and phospholipids in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 620-626.
- [12] Halliwell, B. (1989). Free radicals, reactive oxygen species and human disease: a critical evaluation with special reference to atherosclerosis. *British Journal of Experimental Pathology*, 70(6), 737-757.
- [13] TÜİK, (2016). Bitkisel üretim istatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- [14] Tan, A.Ş. (2015). Susam Tarımı. Çiftçi Broşürü, No 35. ETAE Matbaası, İzmir.
- [15] Yol, E. (2011). Dünya Susam Koleksiyonunun Agro-Morfolojik ve Kalite Özellikleri Bakımından Karakterizasyonu ve Genetik Çeşitliliğin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Antalya.
- [16] TÜİK, (2019). Bitkisel üretim istatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu.

- [17] Elgün, A., Ertugay Z., Certel M., Kotancılar H.G. (1999). Tahıl ve ürünlerinde analitik kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama kılavuzu (2. Baskı). Atatürk Üniversitesi Yayın No: 867, Ziraat Fakültesi Yayın No: 335, Ders Kitapları Serisi No: 82, 245 s, Erzurum.
- [18] Rahimi, A., Kırılan, M., Arslan, N., Bayrak, A., Doğramacı, S. (2011). Variation in fatty acid composition of registered poppy (*Papaver somniferum* L.) seed in Turkey. *Akademik Gıda*, 9, 22–25.
- [19] Gölükcü, M. (2000). Susam kavrulmasında mikrodalga uygulamaları ve işlemin susam ve tahinin kalitesi üzerine etkisi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Antalya.
- [20] AOAC, (1995). Official methods of analyses. 15th ed. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.
- [21] ISO, (2009). Oilseeds - Determination of oil content (reference method). International Organization for Standardization, ISO 659:2009.
- [22] Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
- [23] Farhoosh, R., Tavassoli-Kafrani, M.H., Sharif, A. (2011). Antioxidant activity of the fractions separated from the unsaponifiable matter of bene hull oil. *Food Chemistry*, 126 (2), 583-589.
- [24] AOAC, (2000). Refractive index or butyro value of edible oils and fats: measure quickly with a refractometer, refractive index of edible oils and fats, AOAC. 921.08.
- [25] TS, (1997). Bitkisel ve hayvansal yağlar - asit sayısı ve asitlik tayini. Türk Standardı, TS 1605 EN ISO 660.
- [26] TS, (1997). Hayvansal ve bitkisel katı ve sıvı yağlar - iyot sayısı tayini. Türk Standardı, TS EN ISO 3961.
- [27] TS ISO, (2000). Animal and vegetable fats and oils - determination of unsaponifiable matter - method using hexane extraction. ISO 18609:2000.
- [28] AOAC, (2000). Fatty acids in oils and fats. preparation of methyl esters / gas chromatographic method. Official Method 969.33 and 969.22.
- [29] TS ISO, (2016). Hayvansal ve bitkisel katı ve sıvı yağlar -Yüksek performanslı sıvı kromatografi ile tokoferol ve tokotrenol muhtevasının tayini. TS EN ISO 9936.
- [30] Shi, L.K., Zheng, L., Xiang, Y.F., Liu, R.J., Chang, M., Jin, Q.Z., Wang, X.G. (2018). A rapid method for simultaneous analysis of lignan and γ -tocopherol in sesame oil by using normal-phase liquid chromatography. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 95 (1), 13–19.
- [31] Özcan, M., Akgül, A. (1995). Susam tohumu ve yağının bazı bileşim özellikleri. *Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi*, 19, 59-65.
- [32] Özcan, M. (1993). Susam, susam yağı ve tahinde fiziksel, kimyasal analizler ve yağ asitleri bileşiminin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [33] Zebib, H., Bultosa, G., Abera, S. (2015). Physico-chemical properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties grown in northern area, Ethiopia. *Agricultural Sciences*, 6(2), 238-246.
- [34] Alperen, H. (2013). Türkiye'nin Farklı Yetiştirme Bölgelerinden Toplanan Yerel Susam (*Sesamum indicum* L.) Çeşitlerinin Aynı Ekolojik Şartlarda Yetiştirilerek Besin İçeriğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [35] Baydar, H. (2005). Susamda (*Sesamum indicum* L.) verim, yağ, oleik ve linoleik tipi hatların tarımsal ve teknolojik özellikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2), 267-272.
- [36] Onur, N. (2017). Türk mutfak kültüründe özel bir tat: Manavgat'ın altın susamı. *Uluslararası Kırsal Turizm ve Kalkınma Dergisi*, 1(1), 19-25.
- [37] Titizci, N. (2014). Kavurma süresinin kabuklu susamın fitik asit içeriği ve bazı fiziko-kimyasal özellikleri üzerine etkisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [38] Özdemir, F., Gölükcü, M. (2007). Influence of different microwave seed roasting processes on the color values of tehina (Sesame Paste). *Gıda*, 32(3), 129-135.
- [39] Elliot J.G. (1999). Application of antioxidant vitamins in foods and beverages. *Food Technology*, 53(2), 46-48.
- [40] Güleşçi, N., Aygül, İ. (2016). Beslenmede yer alan antioksidan ve fenolik madde içerikli çerezler. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(1), 109-129.
- [41] Codex Alimentarius, (2001). Named vegetable oils. Codex Standard 210, 8:12-15.
- [42] Kamal-Eldin, A., Appelqvist L.A. (1994). Variations in the composition of sterols, tocopherols and lignans in seed oils from four sesamum species. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71(2), 149-156.
- [43] Kamal-Eldin, A., Appelqvist L.A. (1994). Variation in fatty acid composition of the different acyl lipids in seed oils from four Sesamum species. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71(2), 135-139.
- [44] Wang, L., Zhang, Y., Li, P., Wang, X., Zhang, W., Wei, W., Zhang, X. (2012). HPLC analysis of seed sesamin and sesamol variation in a sesame germplasm collection in China. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(6), 1011–1020.
- [45] Williamson, K.S., Morris, J.B., Pye, Q.N., Kamat, C.D., Hensley, K. (2008). A survey of sesamin and composition of tocopherol variability from seeds of eleven diverse sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes using HPLC-PAD-ECD. *Phytochemical Analysis*, 19(4), 311–322.
- [46] Wu, W.H. (2007). The contents of lignans in commercial sesame oils of Taiwan and their changes during heating. *Food Chemistry*, 104(1), 341–344.

- [47] Rangkadilok, N., Pholphana, N., Mahidol, C., Wongyai, W., Saengsooksree, K., Nookabkaew, S., Satayavivad, J. (2010). Variation of sesamin, sesamolin and tocopherols in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds and oil products in Thailand. *Food Chemistry*, 122(3), 724–730.
- [48] Shi, L.K., Liu, R.J. Jin, Q.Z., Wang, X.G. (2017). The contents of lignans in sesame seeds and commercial sesame oils of China. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(8), 1035–1044.
- [49] Nagaraj, G. (1990). Biochemical quality of oilseeds. *Journal of Oilseeds Research*, 7(1), 47-62.
- [50] Nas, S., Gökalp, H.Y., Ünsal, M. (1992). Bitkisel Yağ Teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 723, ss 220, Erzurum.
- [51] TGK, (2012). Türk Gıda Kodeksi Bitki Adı ile Anılan Yağlar Tebliği, Tebliğ No: 2012/29, Resmî Gazete, 12 Nisan 2012 Perşembe, Sayı: 28262.
- [52] Daxa, A., Kothari, I.L. (1989). Seed composition of some new varieties of sesame. *The Journal of the Oil Technologists' Association of India*, 21, 15-16.
- [53] Hoffmann, G. (1986). Edible Oils and Fats, in: Quality Control in Food Industry, 2nd edition pp. 407-504 London.
- [54] Weiss, E.A. (1983). Sesame, In: Oilseed Crops. Published by Longman, London / New York.
- [55] TGK, (2015). Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği, Tebliğ No: 2015/27, Resmî Gazete, 12 Haziran 2015 Cumaartesi, Sayı: 29385.
- [56] Kurt, C., Uçar, B., Akkaya, M.R. (2020). Determination of total phenolic content and antioxidant activities of different sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(8), 1778-1783.
- [57] Kim, I., Choe, E. (2005). Effects of bleaching on the properties of roasted sesame oil. *Food Chemistry and Toxicology*, 70(1), 48-52.
- [58] Bandara, D.M.S.P., Dissanayake, T.M.R., Rathnayake, H.M.A.P., Swarnasiri, D.P.C. (2014). Performance evaluation of a screw type oil expeller for extraction of sesame oil. *Engineer*, 47(1), 17-22.
-

Avokado: Bileşimi ve Sağlık Üzerine Etkileri

Bahar Demircan , Yakup Sedat Velioğlu  

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 06830, Gölbaşı, Ankara

Geliş Tarihi (Received): 31.12.2020, Kabul Tarihi (Accepted): 25.08.2021

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): velioğlu@ankara.edu.tr (Y.S. Velioğlu)

☎ 0 312 203 3300 /3619 📠 0 312 317 8711

ÖZ

Tarihte birçok farklı isimle anılan avokado (*Persea americana* Mill), Amerika'dan gelen tropikal bir meyvedir. En büyük üreticisi Meksika olup günümüzde birçok farklı ülkede üretimi yapılmaktadır. Ülkemizdeki avokado üretimi de hızla artmaktadır ve üretim son 19 yılda 14 kat artarak 2019 yılında 4209 tona ulaşmıştır. Yüksek besin içeriği ve sağlığa yararlı etkilerinin yanı sıra tıbbi amaçlar için de yetiştirilen bu meyve birçok araştırmacının odak noktası olmuştur. Avokado yapısında yüksek düzeyde (ortalama %15) yağ içeren nadir meyvelerden biridir ve yağın bileşimi zeytinyağı ile büyük benzerlik göstermektedir. Bunun yanında, meyve, farklı yağ asitleri, vitaminler, mineraller, karotenoidler ve diğer fitokimyasallar gibi temel besinler açısından oldukça zengin bir bileşime sahiptir. Yapılan araştırmalarda, avokadonun yapısında bulunan biyoaktif bileşiklerin antimikrobiyal, antiinflamatuar, antikanser, antidiyabetik ve antihipertansif gibi sağlığa yararlı etkileri olduğu ve özellikle kolesterolü düşürmede ve kardiyovasküler hastalıkları önlemede avokado tüketiminin önemli olduğu ifade edilmektedir. Tüm bu yararlı etkileri nedeniyle avokadonun son 10 yılda üretimi ve günlük diyetle tüketimi önemli ölçüde artmıştır. Bu derlemede avokadonun tarihçesi, çeşitleri, üretimi, bileşimi ve içerdiği biyoaktif bileşenlerin sağlığa etkileri ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Avokado, Avokadonun tarihçesi, Avokadonun çeşitleri, Avokadonun bileşimi, Sağlık etkileri

Avocado: Composition and Effects on Health

ABSTRACT

Avocado (*Persea americana* Mill), known by various names in history, is a tropical fruit from Americas. Its largest producer is Mexico, and today it has been produced in many different countries. Avocado production in Turkey has also been increasing rapidly, and the production volume has increased 14 times in the last 19 years reaching 4209 tons in 2019. In addition to its high nutritional content and health beneficial effects, this fruit, with its medicinal properties, has been the focus of many research areas. Avocado is one of the rare fruits with a high oil content level (≈15%), and its oil composition is very similar to olive oil. Besides, it has a very rich nutritional composition in terms of essential nutrients such as different fatty acids, vitamins, minerals, carotenoids and other phytochemicals. In various studies, it is stated that the bioactive compounds of avocado have health beneficial effects such as antimicrobial, anti-inflammatory, anticancer, antidiabetic and anti-hypertensive. In addition, avocado consumption is especially important in reducing cholesterol and preventing cardiovascular diseases. Due to all these beneficial effects, the production and consumption of avocados in daily diet have increased significantly in the last 10 years. In this review, the history, varieties, production, composition and health effects of the bioactive components of avocado are discussed.

Keywords: Avocado, History of avocado, Varieties of avocado, Composition of avocado, Health effects

GİRİŞ

Avokado (*Persea americana*), *Lauraceae* familyasına ait, 50 cins ve 2500-3000 türden oluşan, "tımsah armudu, tereyağı meyvesi, avocado, ahucate adlarıyla da anılan Meksika ve Orta veya Güney Amerika kökenli bir meyvedir. Bitki 10 metre veya daha fazla yüksekliğe ulaşabilir [1, 2].

Dünya avokado üretiminin toplam %72'si Amerika'da yapılmaktadır ve en büyük üretici global üretimin yaklaşık %28'ini yapan Meksika'dır. Meksika'nın (1.9 milyon ton) ardından Dominik Cumhuriyeti (601.349 ton) ve Peru (455.394 ton) gelmektedir [3]. En çok bilinen ve pazarlanan çeşitler Hass ve Fuerte çeşitleridir [4]. Özellikle Hass çeşidi, son yıllarda ekili alanlarda ve üretimde önemli bir artış göstermiştir [5]. Dünyadaki avokado üretimi son yirmi yılda hızlı bir şekilde artarak 2016'da 5.5 milyon tonun üzerine çıkmıştır. Bu artan üretimle birlikte tüketim de artmıştır. Artan tüketimin en önemli nedeni meyvenin proteinler, lipitler, karotenoidler, vitaminler, lifler, doymamış yağ asitleri ve polifenoller bakımından zengin olmasıdır [1, 4].

Avokado, yüksek besin içeriği ve sağlığa yararlı etkilerinden dolayı tıbbi amaçlar için de yetiştirilmektedir. Bu meyvenin en eski arkeolojik kanıtı, tohumlarının Peru'da gömülü bulunduğu MÖ 8. yüzyıla kadar uzanmaktadır. 1800'lerin ortalarında avokado yetiştiriciliği Asya'ya yayılmıştır ve halen avokado dünya çapında yetiştirilmektedir [6, 7]. Avokado, diğer ana besin öğelerinin yanında 20 kadar vitamin ve mineral içermektedir. Avokado, riboflavin, niasin, folat, pantotenik asit, magnezyum ve potasyumun yanı sıra iyi bir C, E, K ve B₆ vitamini kaynağıdır. Ayrıca lutein, β-karoten ve omega-3 ve omega-6 yağ asitleri içerir. Avokado meyvesi, herhangi bir toksik etkisi olmaksızın günde 1-2 adet tüketilebilir. Enerji içeriğinin yüksekliği ile çok sayıda vitamin, mineral ve fitokimyasallar içermesinin yanında karın ağrısı, ishal, *diyabet* ve kardiyovasküler hastalıklar üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle günlük diyetle avokadoya ve avokado içerikli ürünlere olan talep giderek artmaktadır [1, 8]. Araştırmacılar, kardiyovasküler hastalıkların önlenmesi için diyetle tekli doymamış yağ asitleri içeren ürünlerin kullanımını önermektedir ki avokado bu açıdan oldukça zengindir [9]. Avokado ayrıca kardiyovasküler sağlıkla ilişkili olan lif, potasyum ve magnezyum içerir. Avokado, %30 çözünür ve %70 çözünmez liften oluşan ~%80 diyet lifi içerir. Bir çalışmada daha fazla diyet lifi alımının daha düşük kardiyovasküler hastalık riski ile ilişkili olduğu ve diyetle alınan magnezyum veya potasyumun ise kan basıncı kontrolünü sağlayarak kardiyovasküler hastalıkları azalttığı belirtilmiştir [10]. Avokado tüketimiyle olumlu yönde değişme potansiyeli olan kardiyovasküler risk faktörleri arasında hiperlipidemi, inflamasyon, kan basıncı, kan şekeri ve insülin konsantrasyonları, metabolik sendrom, vücut ağırlığı ve vücut yağ bileşimi yer almaktadır [11]. Son

yıllarda, birçok araştırmacı tarafından avokado ile ilgili yapılan çalışmaların artması ve avokado bileşimi ile ilgili fazla ve farklı verilerin bildirilmesi eldeki literatür bilgilerinin önemli ölçüde artmasını sağlamıştır [12-17].

Bu derlemede avokadonun tarihçesi, çeşitleri, üretimi, bileşimi ve içerdiği biyoaktif bileşenlerin sağlığa etkileri ele alınmıştır.

AVOKADONUN TARİHÇESİ

Avokado adı Aztek dilindeki "ahuacatl" ve "ahoacaquahuitl" kelimelerinden gelmektedir. Meyvenin daha kolay telaffuz edilen "avokado" adı ise Sir Henry Sloane'a atfedilmektedir. Antik Aztek, Olmec ve Maya kültürlerinde avokado "Tanrı'nın armağanlarından biri" olarak betimlenmektedir [18]. Avokado, Meksika'da yaklaşık MÖ 291 yılında keşfedilmiştir. Eski kabilelerin bu meyveyi yaklaşık 7000 yıl önce yetiştirmeye başladığı belirtilmektedir [19]. 16. yüzyılın başında Amerika'ya ilk gelen Avrupalılar bir dizi egzotik yeni meyve keşfetmişlerdir. Avokadonun ilk yazılı kanıtı, Summa de Geografia (1519) adlı kitabında Kolombiya'da gördüğü bir meyveyi tanımlayan kaşif Martín Fernández de Enciso'ya aittir. Bu tanımda yazar "portakal görünümünde ve yemeye hazır olduğunda sarımsı renk alan bu meyve tereyağı kıvamında harika bir tada sahip olup yendiğinde damakta güzel ve hoş bir lezzet bırakmaktadır" şeklinde ifade etmiştir. Aynı yıl Gonzalo Fernandez de Oviedo ise seyahatlerini yazdığı ve 1526'da yayınlanan "Natural History of the Indies" kitabında avokado meyvesinden "peynirle yenildiğinde mükemmel tat vermektedir" şeklinde bahsetmiştir [20]. İspanyollar "ahuacatl" kelimesini "aguacate" olarak tercüme etmiştir. Böylece avokado Amerika'nın diğer bölgelerine yayılmaya başlamıştır. Amerika'da 1672 yılında yapılan bir çalışmada avokado "ispanyol armudu veya kabuk-armut" olarak tanımlanmıştır. 1696'da ünlü doktor Sir Hans Sloane, Jamaika bitkilerini anlattığı çalışmasında meyveden ilk kez "avokado" olarak bahsetmiştir. 19. yüzyılda, avokado ağaçları Kaliforniya'da dikilmeye başlanmış fakat meyvenin tat eksikliğinden dolayı tüketimi yaygınlaşmamıştır. Bununla birlikte, Kaliforniya'da avokado meyvesi ve çeşitleri üzerine 1915 yılında detaylı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 1950-1970'lerde avokadonun İngiliz mutfağında salatalara ve soslara eklenmesi ile popülaritesi artmıştır. Günümüzde ise meyvenin çok yönlülüğü, soslar, salatalar, içecekler, ana yemekler ve pudıngler gibi çok çeşitli tariflerde kullanılabilirliği avokadoyu önemli bir meyve yapmaktadır [21].

AVOKADO ÇEŞİTLERİ

Bazı morfolojik ve ekolojik özellikleri, avokadoyu menşei merkezleri farklı olan üç botanik ırka ayırmaktadır. En çok bilinen üç ırk Meksika (*P. americana* var. *drymifolia*), Guatemala (*P. americana* var. *guatemalensis*) ve Batı-Hindistan (*P. americana* var. *americana*) ırkıdır [22, 23].

Tablo 1. Üç farklı avokado çeşidinin bazı özellikleri [24]

	Guatemala	Meksika	Batı Hindistan
İklim	Subtropikal	Semitropikal	Tropikal
Soğuk toleransı	Orta	Fazla	Az
Anason varlığı (yaprakta)	Yok	Var	Yok
Çiçeklenme sezonu	Mart-Nisan	Ocak-Şubat	Şubat-Mart
Meyve olgunlaşması	10-18 ay	5-7 ay	6-8 ay
Boyut	Küçük-büyük	Küçük-orta	Orta-çok büyük
Şekil	Yuvarlak	Eliptik	Çeşitli
Renk	Yeşil	Koyu	Yeşil veya kırmızımsı
Kabuk inceliği	İnce	Çok ince	Orta kalınlıkta
Yüzey özelliği	Pürüzlü	Mumsu	Parlak
Çekirdek boyutu	Küçük	Büyük	Çeşitli
Çekirdek yüzeyi	Pürüzsüz	Pürüzsüz	Pürüzlü
Yağ içeriği	Yüksek	Çok yüksek	Düşük
Pulp aroması	Çeşitli tatlarda	Anason benzeri	Daha tatlı ve hafif

Her irkin kendine has tipik özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir [24]. Tohumdan yetiştirilen her avokado ağacı, avokadonun üreme sürecindeki çapraz tozlaşmanın genetik çeşitliliği sağlamasından dolayı bir kültür bitkisi olarak değerlendirilmektedir. Avokado meyvesinin en çok bilinen çeşitleri ve karakteristik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir [25]. Bu çeşitler arasında Hass, dünya çapında yetiştirilen ve satılan tüm avokadonun %85'inden fazlasını oluşturmaktadır [19]. 1960'larda subtropikal alanlarda "mükemmellik standardı" olarak kabul edilen Hass çeşidi, dünyadaki en önemli avokado çeşididir. İhracata konu olan çeşitlerin yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır. Hass, öncelikle kısmen serin subtropikal bölgelerde ve bazı tropikal bölgelerde daha yüksek rakımlarda yetiştirilir. Bu çeşit 1935 yılında patentlenmiştir [25].

Tablo 2. Avokado meyvesinin başlıca çeşitleri ve özellikleri [25]

Çeşit	Köken	Şekil	Ağırlık	Et rengi	Kabuk	Yüzey
Bacon	Meksika ve Guatemala	Oval	170-510 g	Sarı-yeşil	İnce	Yeşil-parlak
Beta	Guatemala ve Batı Hindistan	Eliptik	543-680 g	Sarı-yeşil	İnce	Yeşil- pürüzsüz
Choquette	Guatemala ve Batı Hindistan	Eliptik	510-1133 g	Sarı-açık yeşil	Orta	Pürüzsüz-parlak
Dickinson	Guatemala	Oval	360-480 g	Açık sarı-yeşil	Çok kalın	Koyu mor-pürüzlü
Duke	Meksika	Oval	227-340 g	Sarı-yeşil	Orta	Pürüzsüz-yeşil
Fuchsia	Batı Hindistan	Eliptik	328-490 g	Soluk sarı	İnce	Pürüzsüz-parlak
Gottfried	Miami	Eliptik	210-250 g	Sarı-yeşil	İnce	Mor-pürüzsüz
Hass	Guatemala ve Meksika	Oval	140-400 g	Koyu sarı-yeşil	Orta	Mor-pürüzlü
Lula	Guatemala ve Batı Hindistan	Eliptik	391-680 g	Açık-koyu yeşil	Orta	Koyu yeşil-pürüzsüz
Monroe	Guatemala ve Batı Hindistan	Eliptik	453-1133 g	Soluk sarı	İnce	Koyu yeşil-parlak
Nabal	Guatemala	Yuvarlak	400-680 g	Koyu sarı	Orta	Koyu yeşil-pürüzsüz
Edranol	Guatemala ve Kaliforniya	Yuvarlak	255-500 g	Sarı	Orta	Koyu yeşil
Ettinger	İsrail	Eliptik	170-570 g	Berrak sarı	Çok ince	Parlak yeşil-pürüzlü
Fuerte	Meksika ve Guatemala	Eliptik	170-500 g	Soluk sarı	İnce	Parlak yeşil-pürüzlü

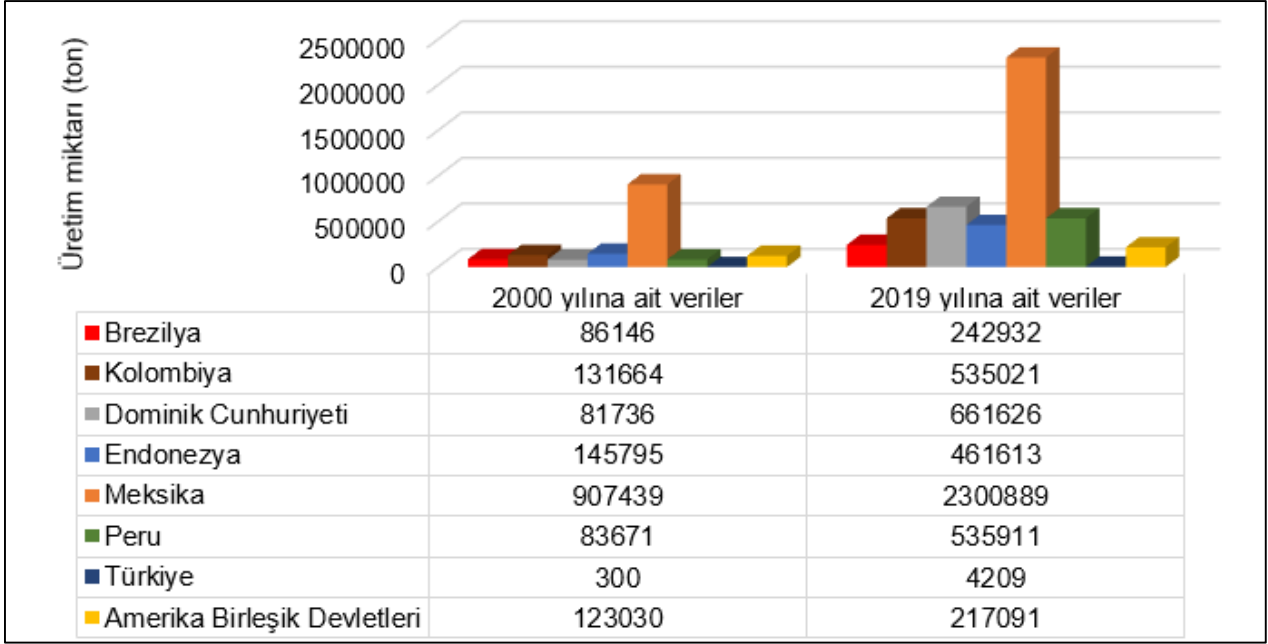
AVOKADO ÜRETİMİ ve YETİŞTİRİCİLİĞİ

Avokadonun yetiştiricilik alanlarının sınırlı olması, yüksek besin değeri ve kendine özgü tadının bulunması temel ekonomik özelliklerindedir. Anavatanı Orta Meksika olmasına rağmen Endonezya, Amerika Birleşik

Devletleri, Brezilya, Kolombiya ve Türkiye gibi farklı ülkeler de yetiştirilmektedir [26, 27]. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization of The United Nations, FAO) tarafından 2019'da bildirilen avokado üretim verilerinin analizi 66 ülkenin yılda 25 tonun üzerinde üretim

yaptığını göstermektedir. Ayrıca 1961 ile 2019 yılları arasında bu rakamın toplamda yaklaşık 5.8 milyon ton arttığı da bildirilmiştir [28]. En önemli avokado

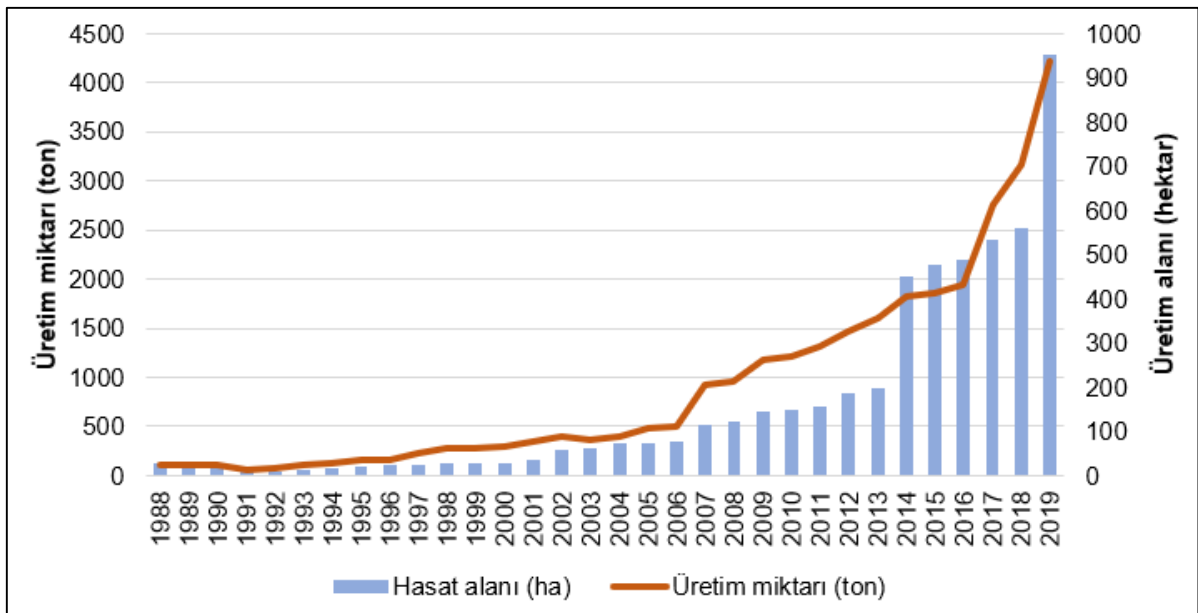
üreticilerinin üretim miktarları son 20 yılda ortalama 3-4 kat artmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. 2000 ve 2019 yıllarında en önemli avokado üreticilerinin üretim miktarları [3]

Ülkemizde avokadonun ticari yetiştiriciliğinin yaygınlaştırılması amacıyla 1970'li yılların başında FAO aracılığıyla, Kaliforniya'dan getirilen dört önemli kültür çeşidinin (Fuerte, Hass, Bacon ve Zutano) ıslah çalışmaları ile ülkemiz *P. americana* ile tanışmıştır. Türkiye'de halk arasında bazı kesimlerce bu meyve "Amerikan armudu" olarak da isimlendirilmektedir. Türkiye'de Akdeniz sahil kesimlerindeki bazı alanların avokado yetiştiriciliğine oldukça uygun olduğu belirtilmiştir [29].

1980'li yıllarda yapılan adaptasyon çalışmaları sonucunda özellikle Antalya ve çevresinde avokado yetiştiriciliği hızla yayılmıştır [30, 31]. Türkiye'deki avokado üretiminin yaklaşık %75-80'i Antalya'da, %15-20'si Mersin'de ve %2-5'i diğer illerde (Muğla ve Hatay) yapılmaktadır. Bunun sonucunda, son zamanlarda yerel pazarda çok fazla avokado yer almaktadır. Şekil 2'de görüldüğü üzere 1988 yılında Türkiye'nin toplam avokado üretimi 100 ton ve üretim alanı toplam 25 hektar iken 2019 yılında üretim 4209 tona ve üretim alanı 949 hektara ulaşmıştır [32].



Şekil 2. 1988-2019 yılları arasında Türkiye'de avokado üretim alanı ve üretim miktarları [3]

AVOKADONUN BİLEŞİMİ ve ÖZELLİKLERİ

Avokadoda bulunan makro ve mikro besin bileşenleri, meyvenin yenilebilir kısmının besin içeriği (posa, pulp veya mezokarp) çeşit, olgunlaşma derecesi ve yetiştirme koşulları gibi faktörlere göre büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Avokado iyi bir enerji, yağ asitleri ve vitamin kaynağı olduğu için önemli bir gıda olarak değerlendirilmektedir [24]. Avokado meyvesinin %65-75 kadarı meyve etinden oluşmaktadır. Hass çeşidi avokadonun yenilebilir kısmının bileşimi Tablo 3 ve 4'te verilmiştir [33-35]. Avokado tüketicileri, diyetlerinde avokado olmayan tüketicilere göre önemli ölçüde daha fazla temel besin ögesi (özellikle diyet lifi, K ve E vitaminleri, potasyum ve magnezyum) almaktadır. Amerika Birleşik Devletleri (United States of America, USA) Beslenme Etiketleme ve Eğitim Yasası (Nutrition Labeling and Education Act, NLEA) bir avokadonun porsiyon boyutunu bir meyvenin beşte biri veya 30 gram olarak tanımlasa da, Ulusal Sağlık ve Beslenme İnceleme Anketi'ne göre (National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES) ortalama tüketim yarım avokadodur [36-37]. Benzer şekilde Yurt ve Demirel [117] tarafından günde yarım avokado (68 g) tüketiminin, tekli doymamış yağ asidi, posa, A, C, E, K ve B vitaminleri, potasyum, magnezyum, lutein, zeaksantin, polifenol, fitosterol gibi fitokimyasal alımına önemli katkı sağlayacağı bildirilmiştir.

Tablo 3. Avokado meyvesinin yenilebilir kısmının genel bileşimi ve enerji değeri (100 gramda) [33-35]

Bileşim ögesi ve enerji değeri	Düzyey
Su (g)	72.3
Enerji (kcal)	167
Protein (g)	1.96
Toplam yağ (g)	15.4
Kül (g)	1.66
Karbonhidrat (g)	8.64
Lif (g)	6.80
Şeker (g)	0.30
Nişasta (g)	0.11

Avokadonun ana bileşenlerinden biri yağıdır ve bu özelliğinden dolayı "tereyağı meyvesi" olarak da bilinmektedir. Avokadonun kendine özgü tadının ve aromasının oluşmasında içerdiği yağın büyük önemi bulunmaktadır [38]. Yüksek lipit içeriği sebebiyle eski çağlardan beri önemli bir enerji kaynağı olarak tüketilen avokado, tekli doymamış yağ asitleri başta olmak üzere çoklu doymamış yağ asitleri ve doymuş yağ asitlerince zengindir. Yapısında nötr lipidler, glkolipidler, fosfolipidler ve serbest yağ asitleri olmak üzere farklı lipit fraksiyonları bulunmaktadır [5]. Genelde avokadonun yağ içeriği olgunlaşma süreciyle birlikte artmaktadır [39]. Tekli doymamış yağ asidi olan oleik asit meyvenin karakteristik içeriği olarak ifade edilmektedir [40]. Bol miktarda oleik asit içeren meyve eti, kolayca sindirilebilir bir dokuya sahiptir [41]. Kremsi ve pürüzsüz bir dokuya, zengin bir tada ve besin içeriğine sahip olan ve kolay sindirilebilir meyve eti, bebekler için bir püre olarak da kullanılmaktadır [42]. Bazı araştırmacılar, günlük diyete avokadonun dahil edilmesi ve et türlerinin avokado

püresi ile değiştirilmesinin sağlık açısından çok daha iyi etkilerinin olacağını savunmaktadır [43, 44].

Avokadonun protein düzeyi yaklaşık %2 kadarken, diğer meyvelerin pek çoğunda bu düzey yaklaşık %1'dir. Bunun yanı sıra avokado yapısında vitaminler (özellikle B, E ve C vitaminleri), potasyum, magnezyum, fosfor gibi mineraller, çeşitli pigmentler (antosiyantinler, klorofiller ve karotenoidler), fenolik bileşikler, şeker ve şeker alkoller (D-mannoheptuloz ve perseitol) de bulunmaktadır [24]. Avokado aynı zamanda yüksek düzeyde fenolik içeriğe ve antioksidan kapasiteye de sahiptir [45]. Provitamin A, E vitamini ve C vitamini gibi çeşitli vitaminler, serbest radikallerin ve reaktif oksijen türlerinin miktarını azaltarak antioksidan görevi görmektedir [40].

Pek çok farklı cinsi bulunan avokado meyvesinin, olgunlaşma derecesi ve yetiştirilme yerleri gibi faktörlere bağlı olarak besin içeriği farklılıklar gösterebilmektedir ancak genel olarak ele alındığında avokado meyvesi oldukça kompleks bir bileşime sahiptir.

Avokado meyvesinin farklı kısımlarından izole edilmiş ve tanımlanmış olan biyoaktif bileşenler Tablo 5'te verilmiştir [46-49]. Avokado meyvesinde bulunan tüm bu bileşenler, meyvenin organoleptik özelliklerini ve bireylerin sağlığını olumlu yönde etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda avokado tüketimi ile daha sağlıklı bir yaşam arasındaki ilişkiye dikkat çekilerek, avokado meyvesinde bulunan çeşitli bileşiklerin insanlarda serum kolesterol düzeyinin korunması, vücut ağırlığı yönetimi, diyabet kontrolü, kanser önlenmesi gibi önemli etkileri olduğu öne sürülmüştür. Araştırmalar, tüm bu etkilerin esas olarak bu meyvede bulunan yağ asitleri, diyet lifi, D-mannoheptuloz ve perseitol, potasyum, magnezyum, C, E, K ve B grubu vitaminleri, karotenoidler, fenolikler, fitosteroller veya terpenoidlerin varlığından kaynaklandığını göstermektedir [1, 7, 50].

Avokadonun rengi, dokusu, tadı ve aroması meyve olgunlaştıkça artan yeme kalitesiyle yakından ilişkilidir ve bu kriterlerden bazıları satın alma sırasında tüketiciler için önemli görülmektedir [51]. Razeto vd. [52], tüketici tarafından kabul edilebilirliğin esas olarak meyve eti dokusu ile ilişkili olduğunu, öte yandan liflerin varlığı ve mezokarp renk değişikliğinin bu algıyı olumsuz etkilediğini ifade etmiştir. Avokadonun sevilirliği veya kabul edilebilirliği üzerine yapılan duyu değerlendirmelerde doku için yumuşak, sert, lifli, kumlu, kremi, pürüzsüz, kuru, sulu, yağlı; tat için kekremi, odunsu-çam, tatlı, yavan, tereyağımsı, tuzlu, yağlı, ekşi, keskin, buruk, metalik ve acı ifadeleri yaygın olarak kullanılan terimlerdir. Obenland vd. [53], kremi, pürüzsüz ve tereyağımsı bir dokuya sahip olgun avokadolar için daha yüksek duyu değerlendirme puanı elde edildiğini belirlemiştir. Olgunlaşma süreci, avokadonun duyu özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yumuşama, olgunlaşma sırasındaki en önemli değişimdir ve yapısal veya enzimatik bozulmalardan kaynaklanmaktadır. Öte yandan yapı, şekerler, asitler ve lipidler açısından zengin olduğu için meyve tadı da olgunlaşma sırasında önemli ölçüde değişmektedir [54].

Tablo 4. Avokado meyvesinin yenilebilir kısmının mineral, vitamin, fitokimyasal ve lipid bileşimi (100 gramda) [33-35]

Bileşim ögesi	Düzyey
Mineraller	
Kalsiyum (mg)	13.0
Demir (mg)	0.61
Magnezyum (mg)	29.0
Fosfat (mg)	54.0
Potasyum (mg)	507.0
Sodyum (mg)	8.0
Çinko (mg)	0.68
Bakır (mg)	0.17
Mangan (mg)	0.15
Selenyum (µg)	0.40
Vitamin ve fitokimyasallar	
C vitamini (mg)	8.80
Tiamin (mg)	0.08
Riboflavin (mg)	0.14
Niasin (mg)	1.91
Pantotenik asit (mg)	1.46
B6 vitamini (mg)	0.29
Folat (µg)	89.0
A vitamini (µg)	7.0
Karoten, β (µg)	63.0
Karoten, α (µg)	24.0
Kriptoksantin, β (µg)	27.0
Lutein + zeaksantin (µg)	271.0
E vitamini (α-tokoferol) (mg)	1.97
Tokoferol, β (mg)	0.04
Tokoferol, gamma (mg)	0.32
Tokoferol, delta (mg)	0.02
K1 vitamini (µg)	21.0
Toplam kolin (mg)	14.2
Betain (mg)	0.7
Lipitler	
Yağ asidi, toplam doymuş (g)	2.13
16:0 (g)	2.08
Yağ asidi, toplam tekli doymamış (g)	9.80
18:1 (g)	9.07
Yağ asidi, toplam çoklu doymamış (g)	1.82
18:2 (g)	1.67
18:3 (g)	0.13
Stigmasterol (mg)	2.0
Kampesterol (mg)	5.0
β-sitosterol (mg)	76.0
Kolestrol (mg)	0

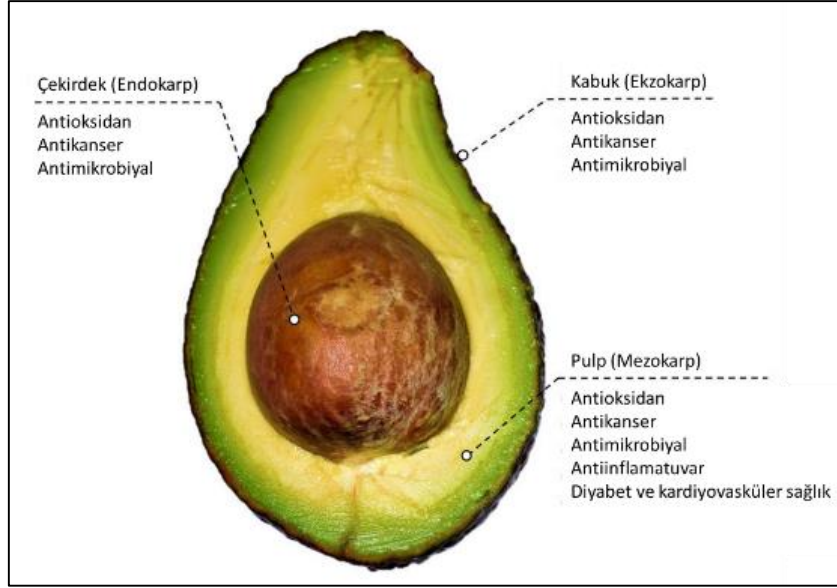
Tablo 5. Avokado meyvesindeki bazı biyoaktif bileşenler [46-49]

Grup	Bileşik
Fenolik bileşikler	Kateşinler, Kafeik asit, Sinamik asit, Klorojenik asit, Ferulik asit, Gallik asit, Prosiyanidinler, Elajik asit, Hidroksisinamik asit, Tannik asit, Kuersetin, Hidroksibenzoik asit
Karotenoidler	Lutein, β-kriptoksantin, Zeaksantin, α-karoten, β-karoten, Neoksantin, Violaksantin
Tokoferol ve steroller	α-tokoferol, γ-tokoferol, δ-tokoferol, β-sitosterol, Kampesterol, Stigmasterol
Yağ asitleri	Oleik asit, Palmitik asit, Linoleik asit, Palmitoleik asit, Linolenik asit
Mineraller	Kalsiyum, Demir, Magnezyum, Fosfor, Potasyum, Sodyum, Çinko
Amino asitler	Asparajin, Aspartik asit, Glutamin, Glutamik asit
Vitaminler	A, B, C, E, K

AVOKADONUN BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ ve SAĞLIĞA ETKİLERİ

Meyve ve sebze tüketiminin sağlık üzerindeki olumlu etkileri olduğu bilinmektedir [8]. Avokado meyvesi, içerdiği çok çeşitli biyoaktif bileşenlerden dolayı çeşitli bağımsız kuruluşlarca “sağlıklı meyve” olarak sertifikalandırılmış ve günlük diyetle tüketilmesi tavsiye edilmiştir. Şekil 3’te görüldüğü gibi avokado meyvesinin farklı kısımlarının vücutta farklı ve yararlı etkileri vardır [55]. Birçok çalışma, avokado gibi bitkisel gıdaların tüketiminin artırılmasının obezite, diyabet, kalp hastalığı,

nörodejeneratif hastalıklar ve genel ölüm riskini azaltırken sağlıklı bir cilt ve yüksek enerji sağladığını bildirmektedir. “Change Your Brain, Change Your Life” kitabının yazarı Dr. Daniel G. Amen, avokadoyu beyin açısından en sağlıklı gıdalardan biri olarak tanımlamıştır [8]. Avokado, lif, potasyum, kalsiyum ve magnezyum yönünden zengin, meyve ve sebze içerikli olan yüksek tansiyonu durdurmak için diyet yaklaşımı (Dietary Approaches to Stop Hypertension, DASH) gibi kalp sağlığı açısından sağlıklı bir diyet modeline en iyi uyan gıdadır [56].



Şekil 3. Avokadonun farklı kısımlarının sağlık üzerine etkileri

Avokadonun bileşimi detaylı olarak incelendiğinde, bu bitkinin beslenme açısından çok önemli ve değerli bir gıda olduğu söylenebilir. Avokadonun en önemli biyoaktif fitokimyasalları karotenoidler, yağ asitleri, mineraller, fenolikler, polifenolik bileşikler, fitosteroller ve fitostanoller, proteinler, yedi karbonlu şekerler ve vitaminlerdir. Bu bitkinin farmakolojik olarak aktif bileşenlerinin bazı çalışmalarda antifungal, antiinflamatuar ve antioksidan aktiviteye sahip olduğu da gösterilmiştir [57, 58].

Avokado, fitosterollerin bilinen en zengin meyve kaynağıdır [34]. Fitosteroller açısından zengin diyetler, toplam kolesterol ve düşük yoğunluklu lipoprotein (Low Density Lipoprotein, LDL) kolesterolün azalmasına yardımcı olur. Fitosterol, yapısı kolesterole çok benzeyen bitkisel kökenli bir maddedir. Vücutta bağırsak kolesterol emiliminin inhibisyonunu ve karaciğer kolesterol sentezinin azalmasını sağlar. Ayrıca avokadodaki β -sitosterol kanser oluşumunu baskılama ve bağışıklık sistemini güçlendirerek insan bağışıklık yetmezliği virüsünü (Human Immunodeficiency Virus, HIV) önlemeye de yardımcı olmaktadır [59]. Yapılan çalışmalar, β -sitosterol aktivitesinin karın bölgesinde kompulsif yeme bozukluğunda ve vücut yağ kütlelerinde azalma sağlayarak vücut ağırlık kaybına yardımcı olduğunu da göstermiştir [60]. Fitosterollerin kardiyovasküler sağlığın iyileştirilmesinde önemli

bileşenler olduğu bilinmektedir. Avokadonun fitosterol içeriği takviye edilmiş gıdalardan daha düşük olsa da yapısındaki emülsifiye edilmiş yağ matrisi ve doğal fitosterol glikozitleri, takviye edilmiş gıdalardakinden daha güçlü bağırsak kolesterolü bloke etme aktivitesine sahiptir [61].

Avokado meyvesi, iyi bir karotenoid içeriğine ve karotenoid emilimini artırmak için zengin bir doymamış yağ ve su matrisine sahiptir [62]. Karotenoidlerin bağırsaktan absorpsiyonu, diyetle yağın olmasına bağlıdır [63]. Yağda çözünen vitaminler, karotenoidler ve turuncu-sarı pigmentler insan vücudunda hücreler tarafından emilebildiği takdirde sağlık için çok yararlı bileşenlerdir. Bu nedenle karotenoidlerle birlikte yağ alımı, bu bileşiklerin emilimlerini artırmaya büyük ölçüde yardımcı olur. Ancak, karotenoid içeren gıdaların çoğu (tatlı patates, havuç, yeşil yapraklı sebzeler vb.) az miktarda yağ içerir. Araştırmacılar, avokadodaki karoten emiliminin diğer gıdalara kıyasla 2-6 kat daha fazla olduğunu öne sürmektedirler [8]. Avokado tüketimi, ksantofil karotenoidlerinin de önemli bir diyet kaynağıdır. Ksantofillerin, vasküler hasarın başlaması ve ilerlemesinde bir ön belirteç olan dolaşımdaki oksitlenmiş LDL kolesterolü azalttığı bildirilmiştir [64]. Ayrıca avokadodaki luteinin prostat kanseri ve katarakt gibi göz hastalıkları riskini azaltmada etkili bir karotenoid olduğu belirtilmiştir [65]. Birkaç araştırmacı, lutein ile

oksidatif deoksiribonükleik asit (Deoxyribonucleic acid, DNA) hasarı arasında da ters korelasyon olduğunu belirlemiştir [66]. Öte yandan insan cildi sık sık ultraviyole ışınlar yoluyla oksidatif ve inflamatuvar hasara maruz kalmaktadır ve karotenoidler bu hasarla mücadele edebilmektedir. Bazı araştırmacılar derideki karotenoid konsantrasyonunun doğrudan meyve ve sebze alım düzeyi ile ilişkili olduğunu savunmaktadır [67, 68].

Avokadodaki doymamış yağlar beyin hücre zarlarının esnekliğine katkıda bulunur. Bazı araştırmacılar, tekli doymamış yağların belirli beyin hastalıklarının tedavisinde kullanılabileceğini vurgulamaktadır [8]. Yüksek miktarda avokado yapısında bulunan ve meyvenin karakteristik lipit fraksiyonu olarak bilinen oleik asit; meme kanseri [69], diyabet [70] ve kardiyovasküler hastalıkları önlerken inflamasyon şiddetini de azaltmaktadır [71]. Öte yandan, avokadonun omega-3 yağ asitlerini yüksek düzeyde içermesinden dolayı Alzheimer'ın ilerlemesini yavaşlattığı ve hatta ilk aşamalarında önlediği klinik olarak kanıtlanmıştır. Omega-3 yağ asitlerinin beyin sağlığı için gerekli olmasının yanı sıra bilişsel (hafıza ve performans) ve davranışsal işlevlerde önemli bir rol oynadığı da bilinmektedir [72].

Birçok çalışma, meyve fenoliklerinin oksidatif ve inflamatuvar stresi azaltarak, kan akışını ve arteriyel endotel (kan damarlarının iç tarafında yer alan tabaka halinde dizili hücrelerin bulunduğu kısım) sağlığı geliştirerek ve damar sağlığının korunmasına yardımcı olmak için trombosit agregasyonunu inhibe ederek kardiyovasküler hastalık riskini azaltmada yararlı etkilerini ortaya koymuştur [73, 74]. Avokado, en yüksek meyve lipofilik antioksidan kapasitesine sahiptir ve bu, serum lipid peroksidasyonunu azaltmaya ve damar sağlığını geliştirmeye yardımcı olan bir faktör olarak değerlendirilmektedir [1]. Avokadonun yapısında bulunan önemli bir antioksidan olan glutatyon, karaciğeri ve sinir sistemini korumaktadır. Vücuttaki diğer antioksidanların yenilenmesinden ve geri dönüştürülmesinden sorumludur. Güçlü bir bağışıklık sistemi için önemlidir [8].

Avokado yapısında fazla miktarda folat içerir. Folat Alzheimer hastalığı için bir faktör olarak kabul edilen beyin yumaklarının oluşumunu önlemeye katkıda bulunur. Ayrıca folat alımı hamile kadınlar için son derece önemlidir. DNA ve diğer hücre bileşenlerinin sentezindeki rolü nedeniyle folat, hızlı hücre büyümesinin aşamalarında da önemlidir [75]. Birçok araştırmacı, kadınlarda hamileliğin ilk 6-8 haftasında folik asit kullanımının nöral tüp defektlerini (bebeklerin omurilik ve beyinin gelişiminde ortaya çıkan anormallikler) %50-60 oranında azaltabileceğini belirtmektedir [76]. Folat seviyesi yüksek gıdaların bir başka yararı da depresyon riskinin azalmasıdır. Folat, vücutta kan ve diğer besin maddelerinin beyne ulaşmasını engelleyebilecek aşırı homosistein oluşumunu önlemeye yardımcı olur. Homosistein düzeyi normalin üzerine çıktığı zaman damar yapısı hasara uğrar ve tıkaçıcı mekanizmalar aktive edilir, bu nedenle insanlar için kardiyovasküler hastalıklar içinde önemli bir

risk faktörü olan yüksek homosistein düzeyi, diyetle alınan folik asit, B6 vitamini ya da B12 vitaminlerinden bir veya birkaçı ile normale indirgenebilir. Öte yandan fazla homosistein insanın kendini iyi hissetmesini sağlayan serotonin ve dopamin hormonu üretimini ve yalnızca ruh halini değil aynı zamanda uykuyu ve iştahı düzenleyen norepinefrin üretimini de baskılayabilir. Bu nedenle vücuda gerekli miktarda folat alımı önemlidir. Birçok çalışma, yüksek homosistein seviyeleri ile hem Alzheimer hem de demans hastalığı (bunama) arasında pozitif ilişki olduğunu göstermektedir [77, 78].

Avokadonun yapısındaki K vitamini de insan vücudu için önem taşıyan bir bileşendir ve uygun kan pıhtılaşması için gereklidir. Ancak kan damarlarının sertleşmesinde de rol oynar. Yetersiz K vitamini alımı sertleşme riskini artırabilir ve bu da felç riskini ortaya çıkarır [8]. K1 vitamini (filokinon), kan pıhtılaşması ve kemik metabolizmasında rol oynayan proteinlerin biyolojik olarak aktif formunun sentezi sırasında bir koenzim olarak işlev görür. Bitki bazlı gıdalardan filokinon, insan diyetindeki K vitamininin birincil kaynağı olarak kabul edilir [1]. Avokadonun yapısındaki bir diğer önemli vitamin olan C vitamini ise, LDL-kolesterol oksidasyon oranını potansiyel olarak yavaşlatmak gibi dolaşımdaki antioksidan korumayı sürdürmek için E vitamininin geri dönüşümünde önemli bir rol oynar. Yapılan araştırmalar, C vitamininin damar sağlığına katkıda bulunabileceğini göstermektedir. C vitamininin sigara içenler, obezler ve aşırı kilolu insanlar gibi belirli popülasyonlar üzerinde kardiyovasküler hastalıklara karşı daha fazla koruyucu etki gösterdiği de bildirilmiştir [79].

Avokadonun zengin besin değeri ve hoş tadının ötesinde hipoglisemik (kan şekeri düşürücü) [80], antihipertansif (yüksek tansiyon önleyici) [81], antioksidan [82], antiobezite [83], hipolipidemik (lipid düşürücü) [84], antilithiasis (böbrek taşı önleyici) [85], antikönvülsan (nöropatik ağrı önleyici) [86], antimikrobiyal [87], antiprotozoal (protozoa enfeksiyonu önleyici) ve antimikobakteriyal [88], hepatoprotektif (karaciğer hastalıklarına karşı koruyucu) [89], antiosteoartrit (eklem hastalıkları önleyici) [90] ve kemoprotektif (toksinlere ve kanserojenlere karşı koruyucu) [91] gibi çeşitli sağlığa yararlı etkilerinden dolayı da popüleritesi giderek artmaktadır.

Yapılan araştırmalar sonucunda meyve eti ve çekirdekte belirlenmiş olan baskın biyoaktif bileşenler ve bu bileşenlerin vücuttaki etkileri Tablo 6'da özetlenmiştir [40]. Bu etkiler kısaca şöyle açıklanabilir:

i. *Antioksidan etki:* Avokadonun farklı kısımlarının, oksidatif stresi ve hücrel oksidasyon reaksiyonunu nötralize edebilen antioksidan aktiviteleri nedeniyle metabolik sendromlara karşı önemli işlevleri olduğu kanıtlanmıştır [92, 93]. Ayrıca avokadonun hipolipidemik etkisinin, yüksek karotenoid içeriği nedeniyle antioksidan aktivitesinden kaynaklandığı öne sürülmüştür. Avokado tüketiminin, lipid metabolizması ve antioksidan özellikleri üzerindeki etkileri ile kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde önemli rol oynadığı da bilinmektedir [62]. Provitamin A, E vitamini ve C vitamini gibi çeşitli vitaminler,

serbest radikallerin ve reaktif oksijen türlerinin miktarlarını azaltan antioksidan görevi görür [94]. Öte yandan avokado yapısında glutatyon ve lutein gibi diğer doğal antioksidanlar da bulunmaktadır. Bu

vitaminler kandaki düşük yoğunluktaki lipoproteinlerin oksidasyonunu azaltarak kalp hastalıklarının önlemede rol oynamaktadır [55].

Tablo 6. Avokadonun meyve eti ve çekirdeğinde bulunan biyoaktif bileşenler ve sağlık üzerine etkileri [40]

Etki türü	Meyve eti (pulp)	Çekirdek
Antioksidan	Persedien Persenon-A Persenon-B Persenon-C Persin 1-asetoksi-2,4-dihidroksi-n -heptadeka-16-en 1-asetoksi-2,4-dihidroksi -heneikosa-12,15-dien	(+)-kateşin (-)-epikateşin Siringik asit Epigallokateşin
Antikanser	Kuersetin (2S,4S)-2,4-dihidroksiheptadek -16-enil asetat (2S,4S)-2,4-dihidroksiheptadek -16-ynil asetat	Triterpenoid 3-(4,5-dimetiltiyazol-2il)-2,5 -difeniltetrazolyum Malondialdehit
Antidiyabetik	Protein Mineraller E vitamini C vitamini β-karoten Tiyamin Riboflavin Nikotinik asit	Mineraller Flavonoidler Tanenler Saponinler
Antiaterojenik ve antihiperkolestrolemik	Persenon-C Tekli doymamış yağ asitleri Lifler Flavonoidler Steroller Fenolik bileşikler	β-sitosterol Fenolik bileşikler
Antimikrobiyal	Avokadenol-A Avokadenol-B (2R,4R)-1,2,4 -trihidroksinondekan (2R,4R)-1,2,4 -trihidroksiheptadek-16-en	(2S,4S)-1,2,4-trihidroksiheptadek -16-en 1,2,4,15-tetrahidroksiheptadek -6,16-dien 1,2,4-trihidroksiheptadek-16-en 1,2,4-trihidroksinondekan
Antiinflamatuvar	Persenon-A	Olefin-A Asetilen-A Olefin-B Asetilen-B Polihidroksile yağlı alkoller Flavonoidler

ii. *Antikanser etki:* Meyve ve sebze tüketiminin yapılarındaki fitokimyasallar nedeniyle kanser riskini azalttığı bilinmektedir. Avokado yapısında karotenoidler, terpenoidler, alkaloidler, tanenler, flavonoidler, saponinler, polifenoller, D-mannoheptuloz, persenon A ve B gibi kanser önleyici özelliklere sahip olduğu bildirilen çok çeşitli biyoaktif fitokimyasal içerir [95]. Avokado meyvesinden ekstrakte edilen fitokimyasalların seçici olarak hücre döngüsünü durdurduğu, gelişmeyi/büyümeyi inhibe ettiği, prekanseröz ve kanser hücre hatlarında apoptozu indüklediği belirtilmektedir [40, 96]. Üç amino asitten (glutamik asit, sistein ve glisin) oluşan bir tripeptit olan glutatyon, bir antioksidan olarak işlev görür ve avokado diğer meyvelerden birkaç kat daha

yüksek glutatyon içermektedir. Gıdalar tüketildiğinde vücut glutatyonu amino asitlere kadar sindirse de, popülasyona dayalı büyük bir vaka kontrollü çalışma, artan glutatyon alımları ile azalmış kanser riski arasında önemli bir korelasyon olduğunu göstermiştir [97]. Diyet karotenoidlerinin meme kanseri üzerinde de koruyucu biyolojik aktiviteler gösterdiği ve özellikle luteinin, göğüs kanseri için potansiyel bir tetikleyici olan oksidatif stresi azalttığı bildirilmiştir [98]. Ayrıca prostat kanseri üzerinde avokado lipit ekstraktlarının antiproliferatif (çoğalmayı önleyici) ve antitümör etkisi olduğu da belirlenmiştir [57].

iii. *Antidiyabetik etki:* Diyabet hastaları, nişasta hidrolizinin yükselmesi, pankreatik α-amilaz ve bağırsak α-glukozidaz yoluyla glikoz alımının neden

- olduğu hiperglisemi durumunda kan glikoz seviyesinin yükselmesinden etkilenmektedir. Avokadonun içerdiği biyoaktif bileşenler bu hidrolize edici enzimler olan α -amilaz ve α -glukozidazın inhibisyonunu sağlayarak glikoz emilimini geciktirmekte ve hiperglisemik durumu ortadan kalkmaktadır [99, 100]. Avokadonun antioksidan aktivitesinin de antidiyabetik etkiye katkı sağladığı belirlenmiştir [101]. Kronik olarak merkezi ve periferik sinir sistemi, böbrek, göz ve kardiyovasküler sistemin bozulmasına neden olan mikrovasküler ve makrovasküler sorunlara yol açan tip 2 diyabet metabolik bir bozukluk olarak tanımlanır [102, 103]. Ayrıca diyabet dünyadaki ölüm, hastalık ve ciddi sağlık sorunlarının ana nedenlerinden biridir. Bu bağlamda araştırmacılar tekli doymamış yağ bakımından zengin diyetlerin abdominal yağ birikimine ve diyabetin komplikasyonlarına karşı olumlu etkiler sağlayacağını savunmaktadır [104, 105].
- iv. *Antihiperlipidemik etki:* Dislipidemi, kanda lipoproteinler tarafından taşınan yüksek seviyelerde lipidler (kolesterol, trigliseritler veya her ikisi) olarak tanımlanır ve kardiyovasküler hastalıkların önemli bir risk faktörüdür. Yılda 17 milyondan fazla insan kardiyovasküler hastalıktan ölmektedir. Ayrıca 2030 yılına kadar her yıl 23 milyondan fazla insanın da bu hastalıktan öleceği tahmin edilmektedir. Avokadonun yapısında bulunan bazı aktif bileşenlerin lipid düşürücü ve antihiperlipidemik etkilere sahip olduğuna dair çalışma sonuçları sunulmuştur [1, 8, 40, 49]. Bir çalışmada avokado yapısındaki magnezyumun, sağlıklı deneklerde yemek sonrası hiperlipidemiyi iyileştirmek için yağ emilimini engellediği belirlenmiştir [1].
- v. *Antiobezite etki:* Dislipidemi ile ilişkili obezite, negatif enerji dengesine neden olan sağlıklı beslenme alışkanlıklarının bir sonucu olarak yağ dokusunda ek yağ içeriği ile tanımlanan kritik küresel bir sorundur [106]. Dünya çapında obezite 1975'ten bu yana yaklaşık 3 katına çıkmıştır. 2016'da 18 yaş ve üzeri 1.9 milyardan fazla yetişkin aşırı kilolu ve bunların ise 650 milyondan fazlası obez olarak belirlenmiştir [118]. Türkiye'de ise nüfusun %34'ü aşırı kilolu olduğu raporlanmıştır. Dünya Sağlık Örgütü 2018-2019 yılı obezite verilerinde Türkiye'de her 3 kişiden 1'inin obez olduğu belirtilmiştir [119]. McKinsey Global Institute raporuna günümüzde 2.1 milyardan fazla insan (dünya nüfusunun yaklaşık %30'u) aşırı kilolu veya obez olarak sınıflandırılmış ve bu oranın 2030 yılına kadar %41'e yükseleceği öngörülmüştür [49, 120]. Obeziteyi önlemek için farklı araştırmacılar doğal ürünlere yönelmiş ve avokadonun antiobezite özellikleri gösteren çok çeşitli biyoaktif bileşenleri içerdiğini bildirmişlerdir [107, 108]. Araştırmacılar meyve ve/veya sebze alımını artırarak gıda bazlı enerji yoğunluğunu düşürmenin önemli vücut ağırlığı kaybı ile ilişkili olduğunu öne sürmektedir [109]. Tüm bir diyet modelinin enerji yoğunluğu, toplam kalori miktarının tüketilen toplam gıda ağırlığına bölünmesiyle hesaplanır; düşük, orta ve yüksek enerji yoğunluklu diyetler sırasıyla g başına 1.3 kcal, 1.7 kcal ve 2.1 kcal enerji içerir. Avokado, hem 1.7 kcal/g orta enerji yoğunluğuna hem de tokluğu artırdığı bilinen viskoz su, diyet lifi ve meyve yağı matrisine sahiptir [110].
- vi. *Antiartrit etki:* Çok sayıda hayvan çalışmasında avokado tüketiminin bağ dokuda inflamasyon riski üzerindeki etkisi araştırılmış ve artrit (eklem iltihapları) riskini azaltmak için avokadonun potansiyel yararları olduğu belirlenmiştir [8]. Osteoartrit, eklem kıkırdağında bozulma ve buna bağlı işlev bozukluğudur ve bu durum yaşlanma, kilo alımı ve obezite gibi durumlarda insan bünyesini çok etkiler [111]. Bir çalışma lutein ve zeaksantin (avokadodaki birincil karotenoidler) açısından zengin meyve ve sebzelerin, kıkırdak kusurları riskinde azalma (osteoaritin erken göstergesi) ile ilişkili olduğunu bildirmiştir [112].
- vii. *Antiinflamatuvar etki:* Fosfolipaz A, inflamasyonda önemli rol oynayan bir enzimdir. Bu enzim, araşidonik asidi serbest bırakır. Bu asit, inflamasyonun lipid araçları olarak hareket eden eikosanoidlerin öncüsüdür [40]. Kim vd. [113], avokado meyvesinden izole edilen persanon A bileşiğinin, fareler üzerinde inflamasyonu önleyerek antiinflamasyon etkileri gösterebildiğini bildirmişlerdir.
- viii. *Antihipertansif etki:* Hipertansiyonun dünya çapında tüm ölümlerin yaklaşık %13'ü olan 7.5 milyon kişinin ölümüne neden olduğu tahmin edilmektedir ve hipertansiyon koroner kalp hastalığı, hemorajik inme, iskemik ve erken ölümler bakımından önemli bir risk faktörüdür. Ayrıca hipertansiyon, kalp yetmezliği, periferik damar hastalığı, retina kanaması, böbrek ve görme bozuklukları gibi bazı komplikasyonlara neden olmaktadır [114]. Doğal bitkisel ilaçların kardiyovasküler riski olan hastalar arasında giderek artan bir popülerlik kazanması ile hipertansiyon tedavisi için çok düşük yan etkileri olan farklı bitkilerin araştırılması birçok araştırmacı için odak noktası olmuştur. Avokadonun hipertansiyon için kullanım potansiyeli olduğu farklı çalışmalarda belirtilmiştir [115].
- ix. *Antiepileptik etki:* Avokado yaprağı özütünün, nöbetleri azaltmak için potansiyel yararlar sağlayabileceği düşünülmektedir. Laboratuvar hayvanları üzerinde yapılan bir çalışmada, vücut ağırlığının kilogramı başına 100 ile 800 mg arasında değişen dozlarda avokado yaprağı özütünün nöbetleri önlemeye yardımcı olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, avokado yaprağı özütünün sakinleştirici nörotransmitter gama aminobütirik asitin (sakinlik ve rahatlama nörotransmitteri) iletimini geliştirdiğini ve çocukluk çağındaki epilepsinin yönetimi için yararlı olabileceğini belirtmişlerdir [8].
- x. *Antimikrobiyal etki:* Avokadonun antimikrobiyal etkisi için kullanımı, sentetik ilaçlara kıyasla daha az yan etkiye yol açtığı için öne çıkmaktadır [116]. Avokadonun mikrobiyal enfeksiyona yönelik sentetik ilaçların yerine kullanımının dışında, gıda endüstrisinde mikrobiyal patojenlerin gelişimini kontrol etmek ve mikrobiyal bozulmayı önlemek için de çeşitli biyoaktif bileşikleri içerdiği bilinmektedir. Avokadonun bakteriyel kontaminasyona karşı doğal bir gıda katkı maddesi olarak kullanılabilirliği bildirilmiştir [40].

SONUÇ

Avokado, çok eski tarihlere kadar uzanan ve günümüzde birçok insanın tükettiği popüler bir meyvedir. Dünya çapında avokadonun birçok çeşidi üretilmekte ve çok sayıda tüketici tarafından günlük diyetinde tüketilmektedir. Sağlıklı bir diyet bağlamında, avokado tüketimi çok çeşitli beslenme planlarına uyabilir. NHANES verilerine göre ortalama avokado tüketimi yarım meyvedir fakat bu miktar bile diyet lifi, potasyum, magnezyum, A vitamini, C vitamini, E vitamini, K1 vitamini, folat, B6 vitamini, niasin, pantotenik asit, riboflavin, kolin, lutein, zeaksantin, fitosteroller ve tekli doymamış yağ bakımından yeterli içeriğe sahiptir. Avokado meyvesinin tüm kısımlarının (pulp, çekirdek ve kabuk) polifenoller, karotenoid ve tokoferoller dahil olmak üzere çeşitli biyoaktif bileşikleri içermesine bağlı olarak besin değerinin yüksek olması ve kendine özgü bir tada sahip olması avokadonun yaygın olarak tüketilen sağlıklı meyvelerden biri olmasını sağlamıştır. Bu biyoaktif bileşikler, çeşitli patolojileri önleme ve kontrol etme potansiyelleri nedeniyle araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmüştür. Birçok çalışmada avokadonun antikanser, antihipertansif, antikonvülsan, hipoglisemik, antiinflamatuvar ve antimikrobiyal gibi aktiviteleri olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle, avokado önemli bir gıda olmanın ötesinde nutrasötik uygulamalar için gerekli biyoaktif bileşiklerin de potansiyel bir kaynağıdır. Avokadoda bulunan fitokimyasallar, özellikle antioksidanlar, çeşitli faktörlerin, özellikle oksidatif stresin neden olduğu nöronal hasara karşı koruma sağlar ve dejeneratif hastalıkların başlangıcını önleyebilir veya yavaşlatabilir. Bileşimi ve bileşiklerinin yararlarının yanı sıra yılın hangi mevsiminde olursa olsun yetiştiriciliğinin yaygınlaşması ve türlerinin büyük çeşitliliği de dikkate alındığında avokado önemli bir gıda olarak değerlendirilebilir.

Birçok meyvenin aksine, avokado çok düşük miktarda şeker içerir. Avokado düşük düzeyde doymuş yağ asitleri ve yüksek düzeyde doymamış yağ asitleri içerdiğinden kan lipid profili ve dolayısıyla kalp sağlığı üzerinde olumlu etkiler göstermektedir. Ayrıca, yapısında bulunan doğal fitosteroller ve diyet lifi de potansiyel kolesterol düşürücü bileşikler olarak değerlendirilmektedir. Avokado kolesterolün yanı sıra vasküler sağlık ile olumlu ilişkili potasyum ve lutein gibi çok çeşitli bileşenlere de sahiptir. Kardiyovasküler sağlık, vücut ağırlığı yönetimi, kan şekeri kontrolü ve sağlıklı yaşam kapsamında avokadonun popülerliği günden güne artmaktadır. Avokadonun beslenmedeki önemi, sağlığa etkisi ve biyoaktif bileşenlerinin gıda sanayi dışında kozmetik ürünleri ve sağlık alanındaki artan kullanımı, avokado tüketiminde önemli bir artış beklentisini desteklemektedir.

Günde yarım avokadonun sağlıklı bir diyetinde yeterli olabileceği birçok araştırmacı tarafından bildirilmesine rağmen sağlığa olumlu etkilerinden dolayı bazı bireylerin tüketiminde aşırıya kaçma eğilimi olabilir. Fakat avokado önemli düzeyde tekli doymamış yağ asidi içerdiğinden aşırı tüketimi zor bir meyvedir. Sağlığa yararlı olan yağ asitlerinin tamamını avokadodan almak olası değildir, bu yüzden sağlıklı bir diyet için çeşitlilik, vücudun ihtiyaç

duyduğu her şeyi almasının anahtarıdır. Ek olarak avokado düşük kalorili bir meyve de değildir, ki bu da tüketimini sınırlandırabilecek bir etkidir. Ülkemizde avokado meyvesinin bulunabilirliği ve satış fiyatı da göz önünde bulundurulduğunda aşırı tüketim söz konusu olamayacak bir olgu olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Dreher, M.L., Davenport, A.J. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53, 738-750.
- [2] Lacerda, L.G., da Silva Carvalho Filho, M.A., Bauab, T., Demiate, I.M., Colman, T.A.D., Andrade, M.M.P., Schnitzler, E. (2015). The effects of heat-moisture treatment on avocado starch granules. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 120(1), 387-393.
- [3] FAOSTAT. (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations Crops Databases. "http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC" Erişim tarihi: 27.11.2020
- [4] Araújo, R.G., Rodriguez-Jasso, R.M., Ruiz, H.A., Pintado, M.M.E., Aguilar, C.N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 80, 51-60.
- [5] Ramírez-Gil, J.G., López, J.H., Henao-Rojas, J.C. (2020). Causes of Hass avocado fruit rejection in preharvest, harvest, and packinghouse: economic losses and associated variables. *Agronomy*, 10(1), 8.
- [6] Ramos-Jerz, M. D. R., Villanueva, S., Jerz, G., Winterhalter, P., Deters, A. M. (2013). Persea americana Mill. seed: fractionation, characterization, and effects on human keratinocytes and fibroblasts. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 1-12.
- [7] Ding, H., Chin, Y.W., Kinghorn, A.D., D'Ambrosio, S.M. (2007). Chemopreventive characteristics of avocado fruit. *Seminars in Cancer Biology*, 17(5), 386-394.
- [8] Ameer, K. (2016). Avocado as a major dietary source of antioxidants and its preventive role in neurodegenerative diseases. *The Benefits of Natural Products for Neurodegenerative Diseases*, 12, 337-354.
- [9] Lichtenstein, A.H., Appel, L.J., Brands, M., Carnethon, M., Daniels, S., Franch, H.A., Karanja, N. (2006). Diet and lifestyle recommendations revision 2006: a scientific statement from the American Heart Association Nutrition Committee. *Circulation*, 114(1), 82-96.
- [10] Del Gobbo, L.C., Imamura, F., Wu, J.H., de Oliveira Otto, M.C., Chiuve, S.E., Mozaffarian, D. (2013). Circulating and dietary magnesium and risk of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 98(1), 160-173.

- [11] Fulgoni, V.L., Dreher, M., Davenport, A.J. (2013). Avocado consumption is associated with better diet quality and nutrient intake, and lower metabolic syndrome risk in US adults: results from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2001-2008. *Nutrition Journal*, 12(1), 1-6.
- [12] Hurtado-Fernández, E., Carrasco-Pancorbo, A., Fernandez-Gutierrez, A. (2011). Profiling LC-DAD-ESI-TOF MS method for the determination of phenolic metabolites from avocado (*Persea americana*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(6), 2255-2267.
- [13] Hurtado-Fernandez, E., Pacchiarotta, T., Gomez-Romero, M., Schoenmaker, B., Derks, R., Deelder, A.M., Fernandez-Gutierrez, A. (2011). Ultra high performance liquid chromatography-time of flight mass spectrometry for analysis of avocado fruit metabolites: Method evaluation and applicability to the analysis of ripening degrees. *Journal of Chromatography A*, 1218(42), 7723-7738.
- [14] Hurtado-Fernández, E., Contreras-Gutiérrez, P.K., Cuadros-Rodríguez, L., Carrasco-Pancorbo, A., Fernández-Gutiérrez, A. (2013). Merging a sensitive capillary electrophoresis-ultraviolet detection method with chemometric exploratory data analysis for the determination of phenolic acids and subsequent characterization of avocado fruit. *Food Chemistry*, 141(4), 3492-3503.
- [15] Hurtado-Fernández, E., Pacchiarotta, T., Longueira-Suárez, E., Mayboroda, O.A., Fernández-Gutiérrez, A., Carrasco-Pancorbo, A. (2013). Evaluation of gas chromatography-atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry as an alternative to gas chromatography-electron ionization-mass spectrometry: Avocado fruit as example. *Journal of Chromatography A*, 1313, 228-244.
- [16] Hurtado-Fernández, E., Pacchiarotta, T., Mayboroda, O.A., Fernández-Gutiérrez, A., Carrasco-Pancorbo, A. (2014). Quantitative characterization of important metabolites of avocado fruit by gas chromatography coupled to different detectors (APCI-TOF MS and FID). *Food Research International*, 62, 801-811.
- [17] Hurtado-Fernández, E., Pacchiarotta, T., Mayboroda, O.A., Fernández-Gutiérrez, A., Carrasco-Pancorbo, A. (2015). Metabolomic analysis of avocado fruits by GC-APCI-TOF MS: effects of ripening degrees and fruit varieties. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 407(2), 547-555.
- [18] Ranade, S.S., Thiagarajan, P. (2015). A review on *Persea americana* Mill.(avocado)-its fruits and oil. *International Journal of PharmTech Research*, 8(6), 72-77.
- [19] Silva, T.A., Ledesma, N. (2014). Avocado history, biodiversity and production. *Sustainable Horticultural Systems*, 2, 157-205.
- [20] Lahav, E., Lavi, U. (2013). The avocado: Botany, production and uses, *CABI*, 2, 51-85.
- [21] Bloomsbury. (2017). Super food avocado. Bloomsbury Publishing, London, UK.
- [22] Bender, G.S., Arpaia, M.L. (2012). Avocado production in California: A cultural handbook for growers.
- [23] Ibarra-Laclette, E., Méndez-Bravo, A., Pérez-Torres, C.A., Albert, V.A., Mockaitis, K., Kilaru, A., Herrera-Estrella, L. (2015). Deep sequencing of the Mexican avocado transcriptome, an ancient angiosperm with a high content of fatty acids. *BMC Genomics*, 16(1), 1-18.
- [24] Hurtado-Fernández, E., Fernández-Gutiérrez, A., Carrasco-Pancorbo, A. (2018). Avocado fruit-*Persea americana*. In Exotic Fruits Reference Guide, Edited by S. Rodrigues, E. Silva, E. Brito, Academic Press, London, 37-48.
- [25] Crane, J.H., Douhan, G., Faber, B.A., Arpaia, M.L., Bender, G.S., Balerdi, C.F., Barrientos-Priego, A.F. (2013). Cultivars and rootstocks, The avocado: botany, production and uses, *CABI*, 2, 200-233.
- [26] Tavlı, Ö.F., Eroğlu, E.Ö. (2020). Ülkemiz kültür bitkilerinden *Persea americana* Mill. (Avokado) ve tıbbi açıdan değerlendirilmesi. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 10(1), 28-36.
- [27] Yahia, E.M., Woolf, A.B. (2011). Avocado (*Persea americana* Mill.). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, 125-186.
- [28] Sommaruga, R., Eldridge, H.M. (2020). Avocado production: water footprint and socio-economic implications. *Agricultural Economics Society and European Association of Agricultural Economists*, 1-6.
- [29] Demirkol, A. (2002). Bazı avokado çeşitlerinin Antalya koşullarında gösterdiği fenolojik ve pomolojik özellikler ve verim durumları. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 1-5.
- [30] Bayram, S., Demirkol, A. (2003). Antalya koşullarında yetiştirilen bazı avokado çeşitlerinin meyve özelliklerinin saptanması üzerine araştırmalar. *Türkiye IV. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi*, 95-98.
- [31] Bayram, S., Tepe, S. (2019). Determination of some physicochemical properties in fruits of some avocado (*Persea americana* Mill.) cultivars during the harvesting periods. *Derim*, 36(1), 1-12.
- [32] Bayram, S., Arslan, M.A., Turgutoğlu, E. (2006). Türkiye'de avokado yetiştiriciliğinin gelişimi, önemi ve önerilen bazı çeşitler. *Derim*, 23(2), 1-13.
- [33] Hasler, C.M., Brown, A.C. (2009). Position of the American Dietetic Association: functional foods. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(4), 735-746.
- [34] USDA (United States Department of Agriculture). (2011). Avocado, almond, pistachio and walnut Composition, Nutrient Data Laboratory, USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 24. U.S. Department of Agriculture. Washington, DC.
- [35] USDA (United States Department of Agriculture). (2018). National nutrient database for standard reference: release April. The National Agricultural Library. ["https://fdc.nal.usda.gov/ndb/foods/show/301058?"](https://fdc.nal.usda.gov/ndb/foods/show/301058?)

- manu%205%20&fgcd%205%20&ds%205%20&q%205%20Avocados,%20raw,%20all%20commercial%20varieties” Erişim Tarihi: 20.12.2020
- [36] Majid, D., Dar, B.N., Parveen, S., Jabeen, A., Allai, F.M., Sofi, S.A., Ganaie, T.A. (2020). Avocado. In *Antioxidants in Fruits: Properties and Health Benefits*, Edited by G.A. Nayik, A. Gull, Springer, Singapore, 103-123.
- [37] Surjawan, I., Abdillah, E. (2018). The potential of avocado paste (*Persea americana*) as fat substitute in non-dairy ice cream. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 102(1), 012006.
- [38] Kosińska, A., Karamać, M., Estrella, I., Hernández, T., Bartolomé, B., Dykes, G.A. (2012). Phenolic compound profiles and antioxidant capacity of *Persea americana* Mill. peels and seeds of two varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(18), 4613-4619.
- [39] Gölükcü, M., Özdemir, F. (2010). Changes in phenolic composition of avocado cultivars during harvesting time. *Chemistry of Natural Compounds*, 46(1), 112-115.
- [40] Lye, H.S., Ong, M.K., Teh, L.K., Chang, C.C., Wei, L.K. (2020). Avocado. In *Valorization of Fruit Processing By-products*, Edited by G. Charis, London, Academic Press, 67-93.
- [41] Carvalho, C.P., Bernal E.J., Velásquez, M.A., Cartagena V.J.R. (2015). Fatty acid content of avocados (*Persea americana* Mill. cv. Hass) in relation to orchard altitude and fruit maturity stage. *Agronomía Colombiana*, 33(2), 220-227.
- [42] CABI (Centre for Agriculture and Biosciences International). (2018). *Persea americana* (avocado). *Invasive Species Compendium*. “<https://www.cabi.org/isc/datasheet/39380>” Erişim Tarihi: 05.12.2020
- [43] Panchal, A.R., Berg, K.M., Kudenchuk, P.J., Del Rios, M., Hirsch, K.G., Link, M.S., Hazinski, M.F. (2018). 2018 American Heart Association focused update on advanced cardiovascular life support use of antiarrhythmic drugs during and immediately after cardiac arrest: an update to the American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*, 138(23), 740-749.
- [44] Steffel, J., Verhamme, P., Potpara, T.S., Albaladejo, P., Antz, M., Desteghe, L. Rowell, N. (2018). The 2018 European Heart Rhythm Association Practical Guide on the use of non-vitamin K antagonist oral anticoagulants in patients with atrial fibrillation. *European Heart Journal*, 39(16), 1330-1393.
- [45] Murathan, Z.T., Kaya, A. (2020). Alanya ekolojik koşullarında yetiştirilen hass ve fuerte avokado çeşitlerinin bazı fitokimyasal içerikleri ile antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(6), 1435-1440.
- [46] Jimenez, P., Garcia, P., Quiral, V., Vasquez, K., Parra-Ruiz, C., Reyes-Farias, M., Soto-Covasich, J. (2020). Pulp, leaf, peel and seed of avocado fruit: a review of bioactive compounds and healthy benefits. *Food Reviews International*, 1-37.
- [47] Wang, W., Bostic, T.R., Gu, L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry*, 122(4), 1193-1198.
- [48] Rodríguez-Carpena, J.G., Morcuende, D., Estévez, M. (2011). Avocado by-products as inhibitors of color deterioration and lipid and protein oxidation in raw porcine patties subjected to chilled storage. *Meat Science*, 89(2), 166-173.
- [49] Tabeshpour, J., Razavi, B.M., Hosseinzadeh, H. (2017). Effects of avocado (*Persea americana*) on metabolic syndrome: A comprehensive systematic review. *Phytotherapy research*, 31(6), 819-837.
- [50] Devalaraja, S., Jain, S., Yadav, H. (2011). Exotic fruits as therapeutic complements for diabetes, obesity and metabolic syndrome. *Food Research International*, 44(7), 1856-1865.
- [51] Kassim, A., Workneh, T.S., Bezuidenhout, C.N. (2013). A review on postharvest handling of avocado fruit. *African Journal of Agricultural Research*, 8(21), 2385-2402.
- [52] Razeto, B., Romero, F., Araya, E. (2004). Influence of some sensory properties on acceptability of avocados (*Persea americana* Mill.). *Agricultura Técnica*, 64(1), 89-94.
- [53] Obenland, D., Collin, S., Sievert, J., Negm, F., Arpaia, M.L. (2012). Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in ‘Hass’ avocado. *Postharvest Biology and Technology*, 71, 41-50.
- [54] Defilippi, B.G., Manríquez, D., Luengwilai, K., González-Agüero, M. (2009). Aroma volatiles: biosynthesis and mechanisms of modulation during fruit ripening. *Advances in Botanical Research*, 50, 1-37.
- [55] Bhuyan, D.J., Alsherbiny, M.A., Perera, S., Low, M., Basu, A., Devi, O.A., Papoutsis, K. (2019). The odyssey of bioactive compounds in avocado (*Persea americana*) and their health benefits. *Antioxidants*, 8(10), 426.
- [56] Jakobsen, M.U., O’Reilly, E.J. (2009). Major types of dietary fat and risk of coronary heart disease: a pooled analysis of 11 cohort studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89(1425), 32.
- [57] Lu, Q.Y., Arteaga, J.R., Zhang, Q., Huerta, S., Go, V.L.W., Heber, D. (2005). Inhibition of prostate cancer cell growth by an avocado extract: role of lipid-soluble bioactive substances. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 16(1), 23-30.
- [58] Sudhir, K. (2005). Lipoprotein-associated phospholipase A2, a novel inflammatory biomarker and independent risk predictor for cardiovascular disease. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 90(5), 3100-3105.
- [59] Bouic, P.J. (2002). Sterols and sterolins: new drugs for the immune system?. *Drug Discovery Today*, 7(14), 775-778.
- [60] Duarte, P.F., Chaves, M.A., Borges, C.D., Mendonça, C.R.B. (2016). Avocado: characteristics, health benefits and uses. *Ciência Rural*, 46(4), 747-754.
- [61] Gyles, C., Carlberg, J., Gustafson, J., Davlut, D., Jones, P.H. (2010). Economic valuation of the potential health benefits from foods enriched with

- plant sterols in Canada. *Food & Nutrition Research*, 54(1), 5113.
- [62] Unlu, N.Z., Bohn, T., Clinton, S.K., & Schwartz, S.J. (2005). Carotenoid absorption from salad and salsa by humans is enhanced by the addition of avocado or avocado oil. *The Journal of Nutrition*, 135(3), 431-436.
- [63] Reboul, E., Thap, S., Tourniaire, F., André, M., Juhel, C., Morange, S., Borel, P. (2007). Differential effect of dietary antioxidant classes (carotenoids, polyphenols, vitamins C and E) on lutein absorption. *British Journal of Nutrition*, 97(3), 440-446.
- [64] Lu, Q.Y., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, D., Lee, R.P., Gao, K., Heber, D. (2009). California Hass avocado: profiling of carotenoids, tocopherol, fatty acid, and fat content during maturation and from different growing areas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 10408-10413.
- [65] Krinsky, N.I., Johnson, E.J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*, 26(6), 459-516.
- [66] Yong, L.C., Petersen, M.R., Sigurdson, A.J., Sampson, L.A. Ward, E.M. (2009). High dietary antioxidant intakes are associated with decreased chromosome translocation frequency in airline pilots. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 90(5), 1402-1410.
- [67] Rosenblat, G., Meretski, S., Segal, J., Tarshis, M., Schroeder, A., Zanin-Zhorov, A., Hochberg, M. (2011). Polyhydroxylated fatty alcohols derived from avocado suppress inflammatory response and provide non-sunscreen protection against UV-induced damage in skin cells. *Archives of Dermatological Research*, 303(4), 239-246.
- [68] Nagata, C., Nakamura, K., Wada, K., Oba, S., Hayashi, M., Takeda, N., Yasuda, K. (2010). Association of dietary fat, vegetables and antioxidant micronutrients with skin ageing in Japanese women. *British Journal of Nutrition*, 103(10), 1493-1498.
- [69] Li, S., Zhou, T., Li, C., Dai, Z., Che, D., Yao, Y., Gao, G. (2014). High metastatic gastric and breast cancer cells consume oleic acid in an AMPK dependent manner. *PLoS one*, 9(5), 97330.
- [70] Palomer, X., Pizarro-Delgado, J., Barroso, E., Vázquez-Carrera, M. (2018). Palmitic and oleic acid: the yin and yang of fatty acids in type 2 diabetes mellitus. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 29(3), 178-190.
- [71] Hioki, H., Miura, T., Miyashita, Y., Ebisawa, S., Motoki, H., Izawa, A., Ikeda, U. (2016). Circulating eicosapentaenoic acid to oleic acid ratio and risk for cardiovascular events in patients with coronary artery disease: A sub-analysis of the SHINANO registry. *IJC Metabolic & Endocrine*, 10, 1-6.
- [72] McCann, J.C., Ames, B.N. (2005). Is docosahexaenoic acid, an n-3 long-chain polyunsaturated fatty acid, required for development of normal brain function? An overview of evidence from cognitive and behavioral tests in humans and animals. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 82(2), 281-295.
- [73] Chong, M.F.F., Macdonald, R., Lovegrove, J.A. (2010). Fruit polyphenols and CVD risk: a review of human intervention studies. *British Journal of Nutrition*, 104(3), 28-39.
- [74] Victor, V.M., Rocha, M., Sola, E., Banuls, C., Garcia-Malpartida, K., Hernandez-Mijares, A. (2009). Oxidative stress, endothelial dysfunction and atherosclerosis. *Current Pharmaceutical Design*, 15(26), 2988-3002.
- [75] Lamers, Y. (2011). Folate recommendations for pregnancy, lactation, and infancy. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 59(1), 32-37.
- [76] Wilson, R.D., Désilets, V., Wyatt, P., Langlois, S., Gagnon, A., Allen, V., Koren, G. (2007). Pre-conceptual vitamin/folic acid supplementation 2007: the use of folic acid in combination with a multivitamin supplement for the prevention of neural tube defects and other congenital anomalies. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada*, 29(12), 1003-1013.
- [77] Walker, J.G., Batterham, P.J., Mackinnon, A.J., Jorm, A.F., Hickie, I., Fenech, M., Christensen, H. (2012). Oral folic acid and vitamin B-12 supplementation to prevent cognitive decline in community-dwelling older adults with depressive symptoms-the Beyond Ageing Project: a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 95(1), 194-203.
- [78] Seshadri, S., Beiser, A., Selhub, J., Jacques, P.F., Rosenberg, I.H., D'Agostino, R.B., Wolf, P.A. (2002). Plasma homocysteine as a risk factor for dementia and Alzheimer's disease. *New England Journal of Medicine*, 346(7), 476-483.
- [79] Honarbakhsh, S., & Schachter, M. (2008). Vitamins and cardiovascular disease. *British Journal of Nutrition*, 101(8), 1113-1131.
- [80] Ezejiofor, A.N., Okorie, A., Orisakwe, O.E. (2013). Hypoglycaemic and tissue-protective effects of the aqueous extract of *Persea americana* seeds on alloxan-induced albino rats. *The Malaysian Journal of Medical Sciences*, 20(5), 31.
- [81] Dzeufiet, P.D.D., Mogueo, A., Bilanda, D.C., Aboubakar, B.F.O., Tédong, L., Dimo, T., Kamtchouing, P. (2014). Antihypertensive potential of the aqueous extract which combine leaf of *Persea americana* Mill. (Lauraceae), stems and leaf of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. (Poaceae), fruits of *Citrus medica* L. (Rutaceae) as well as honey in ethanol and sucrose experimental model. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14(1), 507.
- [82] Nagaraj, M., Sandhya, V., Supriya, G., Manju, R., Pranitha, K., Shivaji, B., Kiran, B. (2010). Antioxidant and antibacterial activity of avocado (*Persea gratissima* Gaertner.) seed extract. *World Applied Sciences Journal*, 9(6), 695-698.
- [83] Monika, P., Geetha, A. (2016). Effect of hydroalcoholic fruit extract of *Persea americana* Mill. on high fat diet induced obesity: a dose response study in rats. *Indian Journal of Experimental Biology*, 54(6), 370-378.
- [84] Pahua-Ramos, M.E., Ortiz-Moreno, A., Chamorro-Cevallos, G., Hernández-Navarro, M.D., Garduño-Siciliano, L., Necochea-Mondragón, H.,

- Hernández-Ortega, M. (2012). Hypolipidemic effect of avocado (*Persea americana* Mill) seed in a hypercholesterolemic mouse model. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(1), 10-16.
- [85] Wientarsih, I., Madyastuti, R., Prasetyo, B.F., Aldobrata, A. (2012). Anti lithiasis activity of Avocado (*Persea americana* Mill) leaves extract in white male rats. *Journal of Biosciences*, 19(1), 49-52.
- [86] Ojewole, J.A., Amabeoku, G.J. (2006). Anticonvulsant effect of *Persea americana* Mill (Lauraceae)(Avocado) leaf aqueous extract in mice. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 20(8), 696-700.
- [87] Pradeep, G., Naresh, A., Reddy, G.N., Reddy, V.R., Kotaiah, S. (2012). Anti-microbial and anti-diabetic activity of *Prosopis chilensis* extract against alloxan-induced diabetic rats. *International Journal of Research in Pharmaceutical and Nano Sciences*, 1, 139-146.
- [88] Jiménez-Arellanes, A., Luna-Herrera, J., Ruiz-Nicolás, R., Cornejo-Garrido, J., Tapia, A., Yépez-Mulia, L. (2013). Antiprotozoal and antimycobacterial activities of *Persea americana* seeds. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13(1), 1-5.
- [89] Mahmood, M.Y., Rezaq, A.A. (2013). Hepatoprotective effect of avocado fruits against carbon tetrachloride-induced liver damage in male rats. *World Applied Sciences Journal*, 21(10), 1445-1452.
- [90] Christiansen, B.A., Bhatti, S., Goudarzi, R., Emami, S. (2015). Management of osteoarthritis with avocado/soybean unsaponifiables. *Cartilage*, 6(1), 30-44.
- [91] Paul, R., Kulkarni, P., Ganesh, N. (2011). Avocado fruit (*Persea americana* Mill) exhibits chemoprotective potentiality against cyclophosphamide induced genotoxicity in human lymphocyte culture. *The Journal of Experimental Therapeutics and Oncology*, 9(3), 221-30.
- [92] Abdulazeez, S.S., Ponnusamy, P. (2016). Antioxidant and hypoglycemic activity of strawberry fruit extracts against alloxan induced diabetes in rats. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 29, 255-260.
- [93] Wang, M., Zheng, Y., Khuong, T., Lovatt, C.J. (2016). Developmental differences in antioxidant compounds and systems in normal and small-phenotype fruit of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.). *Scientia Horticulturae*, 206, 15-23.
- [94] Green, H.S., Wang, S.C. (2020). First report on quality and purity evaluations of avocado oil sold in the US. *Food Control*, (116)107328, 1-8
- [95] Ding, H., Han, C., Guo, D., Chin, Y.W., Ding, Y., Kinghorn, A.D., D'Ambrosio, S.M. (2009). Selective induction of apoptosis of human oral cancer cell lines by avocado extracts via a ROS-mediated mechanism. *Nutrition and Cancer*, 61(3), 348-356.
- [96] Abubakar, A.N.F., Achmadi, S.S., Suparto, I.H. (2017). Triterpenoid of avocado (*Persea americana*) seed and its cytotoxic activity toward breast MCF-7 and liver HepG2 cancer cells. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(5), 397-400.
- [97] Castillo-Juárez, I., González, V., Jaime-Aguilar, H., Martínez, G., Linares, E., Bye, R., Romero, I. (2009). Anti-*Helicobacter pylori* activity of plants used in Mexican traditional medicine for gastrointestinal disorders. *Journal of Ethnopharmacology*, 122(2), 402-405.
- [98] Tamimi, R.M., Colditz, G.A., Hankinson, S.E. (2009). Circulating carotenoids, mammographic density, and subsequent risk of breast cancer. *Cancer Research*, 69(24), 9323-9329.
- [99] Isaac, A.T., Ganiyu, O., Akinyemi, A.J., Agani, R.A., Olanrewaju, B.O. (2014). Avocado pear fruits and leaves aqueous extracts inhibit α -amylase, α -glucosidase and snp induced lipid peroxidation an insight into mechanisms involve in management of type 2 diabetes. *International Journal of Applied and Natural Sciences*, 3, 2134.
- [100] Oboh, G., Isaac, A.T., Akinyemi, A.J., Ajani, R.A. (2014). Inhibition of key enzymes linked to type 2 diabetes and sodium nitroprusside induced lipid peroxidation in rats' pancreas by phenolic extracts of avocado pear leaves and fruit. *International Journal of Biomedical Science*, 10(3), 208-216.
- [101] Adelusi, T., Oboh, G., Akinyemi, A., Ajani, R., Bakare, O. (2014). Avocado pear fruits and leaves aqueous extracts inhibit α -amylase, α -glucosidase and snp induced lipid peroxidation—an insight into mechanisms involve in management of type 2 diabetes. *International Journal of Applied and Natural Sciences*, 3, 21-34.
- [102] Rao, U.M., Adinew, B. (2011). Remnant B-cell-stimulative and anti-oxidant effects of *Persea americana* fruit extract studied in rats introduced into streptozotocin-induced hyperglycaemic state. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 8(3), 210-217.
- [103] Brahmachari, G. (2011). Bio-flavonoids with promising antidiabetic potentials: A critical survey. *Research Signpost*, 661(2), 187-212.
- [104] Paniagua, J.A., De La Sacristana, A.G., Romero, I., Vidal-Puig, A., Latre, J.M., Sanchez, E., Perez-Jimenez, F. (2007). Monounsaturated fat-rich diet prevents central body fat distribution and decreases postprandial adiponectin expression induced by a carbohydrate-rich diet in insulin-resistant subjects. *Diabetes Care*, 30(7), 1717-1723.
- [105] Paniagua, J.A., de la Sacristana, A.G., Sánchez, E., Romero, I., Vidal-Puig, A., Berral, F.J., Pérez-Jiménez, F. (2007). A MUFA-rich diet improves postprandial glucose, lipid and GLP-1 responses in insulin-resistant subjects. *Journal of the American College of Nutrition*, 26(5), 434-444.
- [106] Monika, P., Geetha, A. (2015). The modulating effect of *Persea americana* fruit extract on the level of expression of fatty acid synthase complex, lipoprotein lipase, fibroblast growth factor-21 and leptin—A biochemical study in rats subjected to experimental hyperlipidemia and obesity. *Phytomedicine*, 22(10), 939-945.

- [107] Bes-Rastrollo, M., van Dam, R.M., Martinez-Gonzalez, M.A., Li, T.Y., Sampson, L.L., Hu, F.B. (2008). Prospective study of dietary energy density and weight gain in women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 88(3), 769-777.
- [108] de Oliveira, M.C., Sichieri, R., Mozzer, R.V. (2008). A low-energy-dense diet adding fruit reduces weight and energy intake in women. *Appetite*, 51(2), 291-295.
- [109] Saquib, N., Natarajan, L., Rock, C.L., Flatt, S.W., Madlensky, L., Kealey, S., Pierce, J.P. (2007). The impact of a long-term reduction in dietary energy density on body weight within a randomized diet trial. *Nutrition and Cancer*, 60(1), 31-38.
- [110] Pieterse, Z., Jerling, J.C., Oosthuizen, W., Kruger, H.S., Hanekom, S.M., Smuts, C.M., Schutte, A.E. (2005). Substitution of high monounsaturated fatty acid avocado for mixed dietary fats during an energy-restricted diet: effects on weight loss, serum lipids, fibrinogen, and vascular function. *Nutrition*, 21(1), 67-75.
- [111] Dinubile, N.A. (2010). A potential role for avocado- and soybean-based nutritional supplements in the management of osteoarthritis: a review. *The Physician and Sportsmedicine*, 38(2), 71-81.
- [112] Wang, W., Connor, S.L., Johnson, E.J., Klein, M.L., Hughes, S., Connor, W.E. (2007). Effect of dietary lutein and zeaxanthin on plasma carotenoids and their transport in lipoproteins in age-related macular degeneration. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85(3), 762-769.
- [113] Kim, O.K., Murakami, A., Takahashi, D., Nakamura, Y., Torikai, K., Kim, H.W., Ohigashi, H. (2000). An avocado constituent, persone A, suppresses expression of inducible forms of nitric oxide synthase and cyclooxygenase in macrophages, and hydrogen peroxide generation in mouse skin. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 64(11), 2504-2507.
- [114] Papathanasiou, G., Zerva, E., Zacharis, I., Papandreou, M., Papageorgiou, E., Tzima, C., Evangelou, A. (2015). Association of high blood pressure with body mass index, smoking and physical activity in healthy young adults. *The Open Cardiovascular Medicine Journal*, 9(1), 5-17.
- [115] Xiong, X.J., Wang, P.Q., Li, S.J., Li, X.K., Zhang, Y.Q., Wang, J. (2015). Garlic for hypertension: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Phytomedicine*, 22(3), 352-361.
- [116] Nedd, G., Kurup, R., Ansari, A.A., Holder, K. (2015). Antimicrobial properties of the fruit pulp of three local fruits: *Morinda citrifolia*, *Persea americana* and *Musa sapientum* in Guyana. *Journal of Biology and Nature*, 3(3), 87-93.
- [117] Yurt, M., Demirel, Z. B. (2017). Sağlıklı beslenmede avokadonun yeri. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 45(2), 161-170.
- [118] World Health Organisation. (2021). Obesity and overweight. "<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>" Erişim Tarihi: 17.08.2021
- [119] Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2021). Türkiye'de obezite görülme sıklığı. "<https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/obezite/turkiyede-obezitenin-gorulme-sikligi.html>" Erişim Tarihi: 17.08.2021
- [120] Carranza, J., Alvizouri, M., Alvarado, M. R., Chavez, F., Gomez, M., Herrera, J. E. (1995). Effects of avocado on the level of blood lipids in patients with phenotype II and IV dyslipidemias. *Archivos del Instituto de Cardiología de México*, 65(4), 342-348.
-

Türkiye'nin Coğrafi İşaretli Peynirleri

Songül Çakmakçı , Mehmet Ali Salık 

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 25240 Erzurum

Geliş Tarihi (Received): 12.02.2021, Kabul Tarihi (Accepted): 05.09.2021

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): cakmakci@atauni.edu.tr (S. Çakmakçı)

☎ 0 442 231 24 91 📠 0 442 231 58 78

ÖZ

Türkiye; coğrafi konumu, zengin doğal kaynakları, tarihi ve kültürel mirası ile benzeri olmayan bir ülkedir. Çok çeşitli geleneksel gıdaya sahip olan ülkemizin her bölgesinde, yüzlerce geleneksel gıda, nesiller boyu orijinalliğini koruyarak üretilmektedir. Geleneksel gıdalardan beklenen ekonomik ve kırsal kalkınmanın sağlanmasında Coğrafi İşaret (CI)'in payı oldukça yüksektir. Türk Patent ve Marka Kurumu (TÜRKPATENT) tarafından CI şöyle tanımlanmıştır: Belirgin bir niteliği, ünü veya diğer özellikleri nedeniyle, kökeninin bulunduğu bir yöre, alan, bölge veya ülke ile özdeşleşmiş bir ürünü gösteren işaretlerdir. Bu bağlamda, menşe işareti; tüm özelliklerini üretildiği coğrafi sınırların doğal ve beşerî unsurlardan alan, üretimi, işlenmesi ve diğer işlemlerin tümü belirlenen coğrafi alanda gerçekleştirilen ürünleri tanımlar. Mahreç işareti ise aynı özelliklerden en az biri belirlenmiş coğrafi alanda yapılan ürünleri tanımlamaktadır. Türkiye, peynir çeşitliliği bakımından oldukça zengin bir ülke olup, 150'den fazla peynir çeşidi bulunmaktadır. CI alma potansiyeli yüksek olan bu peynirlerin çoğu kırsal bölgelerde ihtiyacı karşılayacak miktarlarda geleneksel olarak üretilir. Bazıları ise ülke çapında üne sahip olup katma değere dönüştürülmüştür. Günümüze kadar 27 farklı peynir çeşidi TÜRKPATENT tarafından menşe (13 adet) ve mahreç (14 adet) işaretli olarak tescillenmiştir. Bu çalışmada, Türkiye'nin şimdiki kadar CI almış peynirleri derlenerek; bu peynirlerin tanımları, ayırt edici özellikleri, üretim teknolojileri ve bazı fizikokimyasal özellikleri özet olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi işaret, Türkiye peynirleri, Yöresel kalkınma, Menşe ve mahreç

Geographical Indication Cheeses of Turkey

ABSTRACT

Turkey; it is a unique country with its geographical location, rich natural resources, historical and cultural heritage. In every region of our country, which has a wide variety of traditional food, hundreds of traditional foods are produced by preserving their originality for generations. The share of Geographical Indications (GI) is quite high in providing the economic and rural development expected from traditional foods. CI is defined by the Turkish Patent and Trademark Office (TÜRKPATENT) as follows: signs that indicate a product that is identified with a region, area, region or country of origin due to a distinctive feature, reputation or other characteristics. In this context, the sign of origin; it defines products that take all their characteristics from the natural and human elements of the geographical boundaries in which they are produced, and whose production, processing and all other processes are carried out in the specified geographical area. Geographical indication, on the other hand, identifies products made in a specified geographical area with at least one of the same characteristics. Turkey is a very rich country in terms of cheese diversity where there are more than 150 cheese varieties. While most of these cheeses with a high potential to obtain GI are traditionally produced in amounts to meet the needs in rural areas, some of them have a nationwide reputation and have been converted into added value. Until today, 27 different types of cheese have been registered by TÜRKPATENT with the mark of origin (13 types) and origin (14 types). In this study, Turkey's cheeses that have taken

CI so far were compiled; The definitions, distinctive features, production technologies and some physicochemical properties of these cheeses are summarized.

Keywords: Geographical indication, Cheeses of Turkey, Rural development, PDO, PGI

GİRİŞ

Kültür, toplumların tarihsel süreçleri içerisinde şekillenen ve nesiller arası aktarılan her türlü maddi ve manevi değerler bütünüdür [1]. Bir ülkenin kültürü, yaşam tarzı ve ekonomik koşullarına göre çeşitlilik gösteren geleneksel gıdalar, kültürel zenginliklerin açığa çıkarılmasında oldukça önemlidir [2]. Geleneksel gıdalar, geleneksel hammaddeler kullanılarak yüzyıllardır üretilen ve/veya geleneksel bir bileşim ya da geleneksel bir üretim yöntemine sahip; doğal, halk tarafından kabul görmüş ve zaman içinde test edilmiş ürünlerdir [3]. Türkiye; coğrafi konumu, zengin doğal kaynakları, tarihi ve kültürel miras birikimiyle geleneksel gıdalar açısından çok zengin bir ülkedir [2-4]. Geleneksel gıdaların; benzerlerinden ayrılması ve haksız rekabete karşı korunması, kalitesi ve üretim koşullarında sürekliliğin sağlanması, değerinin artırılması ve markalaşmasında Coğrafi İşaret (CI) tescilinin payı oldukça önemlidir [2, 5].

CI, belirli bir bölgeden kaynaklanan ya da belirli bir niteliği, ünü veya diğer özellikleriyle kökeninin bulunduğu bölge ile özdeşleşmiş ürünleri gösteren işaretlerdir [5,6]. CI'ler, 555 sayılı KHK'nin yerini alan 22.12.2016 tarih ve 6797 sayılı Sınai Mülkiyet Kanunu'nda Avrupa Birliği uygulamalarına paralel olarak menşe ya da mahreç işareti olarak tescil edilmektedir. Geleneksel ürün adı koruması ise bir CI olmayıp, koruma altına alınan gelenektir [5]. "*Menşe işareti*" (Protected designation of origin, PDO): Coğrafi sınırları belirlenmiş bir yöre, bölge veya istisnai durumlarda ülkeden kaynaklanan, tüm veya esas özelliklerini bu coğrafi alana özgü doğal ve beşerî unsurlardan alan, üretimi, işlenmesi ve diğer işlemlerin tümü bu coğrafi alanın sınırları içinde gerçekleşen ürünleri tanımlamaktadır. "*Mahreç işareti*" (Protected Geographical Indication, PGI): Üretimi, işlenmesi ve diğer işlemlerinden en az biri belirlenmiş coğrafi alan sınırları içinde gerçekleştirilen ürünleri tanımlar. "*Geleneksel ürün adı*" (Traditional Speciality Guaranteed, TSG): Menşe adı veya mahreç işareti kapsamına girmeyen, geleneksel bir üretim yöntemi veya geleneksel bileşimden kaynaklanan ya da geleneksel hammaddelerden üretilmiş ürünleri tanımlayan ve en az 30 yıl kullanıldığı kanıtlanan adlardır [5]. CI ve geleneksel ürün adı amblemlerine ait görseller Şekil 1 (28-30)'de verilmiştir. CI'nin sadece ürüne yönelik işlevleri (ayırt edicilik, kökeninin belirlenmesi, markalaşma, koruma ve standardizasyon gibi) olmayıp, yöre ve ekonomiye yönelik işlevleri (yerel üretim, kırsal kalkınma, kültürel öz varlığın ve biyoçeşitliliğin korunması, sürdürülebilir kalite, taklitçilikle mücadele, turizm, katma değer ve istihdam gibi) de bulunmaktadır [4, 6].

Türkiye, dünyanın CI potansiyeli çok yüksek ender ülkelerinden birisidir. Ülkemizde Türk Patent ve Marka

Kurumu (TÜRKPATENT) verilerine göre CI tescilli alabilecek 2500 kadar ürün bulunmaktadır [5]. Ağustos 2021 itibarıyla 845 adet ürün CI tescil belgesi ile koruma altına alınmış olup, başvurusu yapılmış 720 adet ürün de değerlendirilme aşamasındadır. TÜRKPATENT'in verilerine göre, tescilli CI'lerin ürün gruplarına göre dağılımında gıda ürünleri (şekerlemeler, işlenmiş ve işlenmemiş et ürünleri, yemekler, yağlar, alkollü ve alkolsüz içecekler, süt ürünleri, işlenmiş ve işlenmemiş meyve ve sebzeler, bal, fırıncılık ve pastacılık ürünleri ve yiyecekler için çeşniler) 682 tescil ile %81'lik payı oluştururken, el sanatları ve diğerleri 163 tescille %19'luk payı oluşturmaktadır. Süt ürünleri [(42 adet: 27 peynir, 2 tereyağı, 3 kaymak, 6 yoğurt, 2 dondurma, 1 ayran, 1 diğer (Gerede keşi)] ise gıda ürünleri içerisindeki payın %6.2'sini oluşturmaktadır. Bunların içerisinde de peynir; toplam tescilli ürünlerin %4'ünü oluştururken, süt ürünleri içerisinde %64.3'lük bir orana sahiptir. CI başvurusu yapılmış süt ürünlerinin sayısı ise 40'dır. Bu değer, başvuru aşamasındaki toplam 720 adet ürünün %5.6'sını oluşturmaktadır. Başvurusu yapılan 23 adet peynir, süt ürünleri içerisinde en fazla orana (%58 kadar) sahiptir [7].

Peynir, dünyada en fazla tanınan ve süt ürünleri içerisinde çeşitliliği en fazla olan süt ürünüdür [8]. Dünyada yaklaşık 4000 peynir çeşidinin olduğu belirtilmekte olup [9], binlerce yıldır farklı medeniyetlerin beşiği ve hayvan yetiştiriciliğine elverişli bir coğrafyaya sahip olan Türkiye de peynir çeşitliliği bakımından oldukça zengindir. İlk bakışta Beyaz peynir, Kaşar, Tulum, Lor ve Çökelek peynirleri gibi sadece birkaç çeşit peynir olduğu akla gelse de aslında 150'den fazla peynir çeşidimi bulunmaktadır. Bunlardan çoğu yerel ihtiyacı karşılayacak miktarda üretilirken, bazıları ülke çapında ticarileşmiştir [10]. Ulusal Süt Konseyi raporuna göre 2019 yılında ülkemiz genelinde; 20.782.374 ton (%90.5) inek sütü, 1.521.455 ton (%6.6) koyun sütü, 577.209 ton (%2.5) keçi sütü ve 79.341 ton (%0.3) manda sütü olmak üzere toplam 22.960.379 ton çiğ süt üretimi yapılmıştır [11]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri incelendiğinde ise 2020 yılında Türkiye'de 756.646 ton peynir üretilmiştir. Bunun 729.539 tonunu (%96.4) inek peyniri oluştururken, 27.108 tonunu (%3.6) diğer peynirler (koyun, keçi, manda ve/veya karışık sütlerden yapılan) oluşturmaktadır. Peynir randımanı (yumuşak ve sert tip peynirler dahil) ortalama %13 olarak varsayıldığında, ülkemizde üretilen toplam süt miktarının (22.960.379 ton) yaklaşık %24'ünün peynire işlendiği hesaplanabilir. 2020 verilerine göre ise üretilen peynirlerin yaklaşık %16.6'sı yumuşak tip (125.556 ton), %30.1'i orta yumuşak tip (228.026 ton), %21'i sert tip (158.819 ton), %30.7'si orta sert tip (232.419 ton), %1.3'ü ekstra sert tip (9.573 ton) ve %0.3'ü kesilmiş süttten yapılan peynirlerden (1.252 ton) oluşmaktadır [12].

Bu çalışmada, Türkiye'de Cİ tescilli almış peynirleri TÜRKPATENT ağırlıklı bilgilerle derlenerek ürün tanımları, ayırt edici özellikleri, üretim teknolojileri ve bazı kalite özellikleri hakkında özet/genel bilgiler verilmiştir.

TÜRKİYE'NİN COĞRAFI İŞARETLİ PEYİRLERİ

Süt ve süt ürünleri içerisinde en çok tüketilen ve ürün çeşitliliğinin en fazla olduğu peynir; üretimde kullanılan sütün çeşidine, uygulanan üretim metotları ve teknolojik işlemlere, olgunlaşma/olgunlaştırma şartlarına bağlı olarak duysal, bileşim ve diğer farklı özelliklerini kazanmaktadır. Isıl işlem, homojenizasyon, starter kültür kullanımı, tuzlama yöntemleri, ambalajlama, olgunlaştırma ve depolama şartları gibi pek çok teknolojik işlem ile peynirlerde lezzet profili etkilenmekte ve ürüne karakteristik özellikler kazandırılmaktadır [8,

13]. Ülkemizde coğrafi koşullara, kültürel alışkanlıklara, hayvan tür ve ırklarının farklılığına bağlı olarak alışlagelen üretim teknikleri ile çeşitli yöresel peynirler üretilmektedir. Peynirler; peynir mayası (rennet), asit ve ısıl işlem-asit kombinasyonu ile pıhtılaştırılanlar olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır [14]. Ayrıca Civil peynir; asit, rennet ve ısıl işlemin birlikte kullanıldığı orijinal bir peynir çeşidi olup dördüncü bir grup olarak değerlendirilmektedir [14, 15]. Ülkemiz genelinde TÜRKPATENT tarafından 13 (3 yurt dışı) menşe ve 14 mahreç işaretili olmak üzere toplam 27 adet peynir tescillenmiştir. Türkiye'de Cİ almış peynirlerin; tescil belgelerinde belirtilen bazı bilgileri Tablo 1'de, bazı özelliklerine ait literatürden ve Cİ tescil belgelerinden elde edilen araştırma sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3'de, fotoğraflar ise Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye'de Cİ almış peynirlerin tescil belgelerinde belirtilen bazı bilgiler

Cİ Adı	Tescil Tarihi	Başvuru Sahibi	Cİ Türü	Coğrafi Sınır	Kullanım Biçimi*	R**
Erzincan Tulum Peyniri	12.09.2000	Erzincan Sanayi ve Ticaret Odası	Menşe	Erzincan İli ve İlçeleri	Markalama	[16]
Ezine Peyniri	05.08.2006	Ezine Peynirini ve Mandracılarını Koruma, Geliştirme ve Tanıtma Derneği	Menşe	Ezine, Bayramiç ve Ayvacı İlçeleri ile Şerbetli, Etili, Ahlatlıburun, Küçükklü, Alibeyköy, Söğütalan, Karacaören, Kurşunlu ve Kirazlı köyleri	Etiketleme	[17]
Edirne Beyaz Peyniri	23.10.2007	Edirne Ticaret ve Sanayi Odası	Mahreç	Türkiye Sınırları	Markalama	[18]
Erzurum Civil Peyniri	06.02.2009	Erzurum Ticaret Borsası	Mahreç	Erzurum İli ve İlçeleri	Markalama	[19]
Erzurum Küflü Civil Peyniri	01.03.2010	Erzurum Ticaret Borsası	Mahreç	Erzurum İli ve İlçeleri	Markalama	[20]
Diyarbakır Örgü Peyniri	15.02.2010	Diyarbakır Valiliği	Mahreç	Diyarbakır İli ve İlçeleri	Markalama	[21]
Kars Kaşarı	14.02.2014	Kafkas Üniversitesi Rektörlüğü	Menşe	Kars ve Ardahan İlleri ile İlçeleri	Markalama	[22]
Malkara Eski Kaşar Peyniri	06.12.2017	Malkara Ticaret ve Sanayi Odası	Menşe	Tekirdağ İli Malkara İlçesi	Markalama	[23]
Yozgat Çanak Peyniri	18.12.2017	Yozgat Belediye Başkanlığı	Mahreç	Yozgat	Markalama	[24]
Karaman Divle Obruğu Tulum Peyniri	08.12.2017	Karaman Ticaret ve Sanayi Odası	Menşe	Karaman İli Ayrancı İlçesi	Etiketleme	[25]
Van Otlı Peyniri	31.12.2018	Van Ticaret ve Sanayi Odası	Menşe	Van ve Hakkari İlleri	Markalama	[26]
Antep Sıkma Peyniri	04.06.2018	Gaziantep Ticaret Borsası	Menşe	Gaziantep İli	Etiketleme	[27]
Antakya Sürkü (Çökeleği)	26.02.2018	Antakya Ticaret ve Sanayi Odası	Mahreç	Hatay İli	Etiketleme	[28]
Antakya Küflü Sürkü	12.06.2018	Antakya Ticaret ve Sanayi Odası	Mahreç	Hatay İli	Etiketleme	[29]
Manyas Kelle Peyniri	16.12.2020	Manyas Kaymakamlığı	Mahreç	Balıkesir İli Manyas, Bandırma ve Gönen İlçeleri	Markalama	[30]

Tablo 1. Türkiye'de Çı almış peynirlerin tescil belgelerinde belirtilen bazı bilgiler (Devam)

Ci Adı	Tescil Tarihi	Başvuru Sahibi	Ci Türü	Coğrafi Sınır	Kullanım Biçimi*	R**
Bolu Keşi	22.09.2020	Bolu Ticaret ve Sanayi Odası	Mahreç	Bolu İli Göynük, Mengen ve Mudurnu İlçeleri, Sakarya İli Taraklı İlçesi ve Bilecik İli Gölpaşarı İlçesi	Markalama	[31]
Kırklareli Beyaz Peyniri	23.12.2020	Kırklareli Ticaret ve Sanayi Odası ile Ticaret Borsası	Menş e	Kırklareli İli	Markalama	[32]
Antakya Carra Peyniri	18.02.2021	Antakya Ticaret ve Sanayi Odası	Menş e	Hatay ili Antakya, Arsuz, Belen, Yayladağ, Altınöz ü ve Reyhanlı ilçeleri	Markalama	[73]
Gümüşhane Deleme Peyniri	17.03.2021	Gümüşhane Ticaret ve Sanayi Odası	Mahreç	Gümüşhane ili	Markalama	[74]
Pınarbaşı Uzunyayla Çerkes Peyniri	14.04.2021	Kayseri Pınarbaşı Belediyesi	Menş e	Uzunyayla platosu	Markalama	[75]
Sakarya Abhaz (Abaza) Peyniri	03.05.2021	Sakarya Ticaret ve Sanayi Odası	Mahreç	Sakarya ili	Markalama	[76]
Vakfıkebir Külek Peyniri	25.05.2021	Vakfıkebir Belediyesi	Mahreç	Trabzon ili	Markalama	[77]
Maraş Parmak /Sıkma Peyniri***	17.04.2021	Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi	Mahreç	-	-	[78]
Urfa Peyniri***	27.07.2021	Şanlıurfa Ticaret Borsası	Mahreç	-	-	[79]
Hellim Peyniri	04.11.2009	Kıbrıs Türk Sanayi Odası	Menş e	Kıbrıs Adası	Markalama	[33]
Parmesan Peyniri	20.11.2017	Consorzio del Formaggio Parmigiano-Reggiano	Menş e	İtalya'nın Parma, ReggioEmilia, Modena ve Mantua İlleri ile Po ve Reno Nehri Kıyıları	Markalama	[34]
Grana Padano Peyniri	28.03.2018	Consorzio per la Tutela del Formaggio Grana Padano	Menş e	İtalya'nın Po ve Reno Nehri Kıyılarındaki Bazı Bölgeler	Markalama	[35]

*Markalama; üreticilerin marka ile birlikte Ci'yi ürünlerinin üzerinde kullanmalarıdır. Etiketleme; başvuru sırasında görsel örneği belirlenmiş etiketin üretilen tüm ürünlerde kullanılmasıdır.R**: Referanslar. ***: Maraş parmak/sıkma peyniri ile Urfa peyniri tescil belgelerine erişim sağlanamamıştır (TÜRKPATENT Ci'ler Daire Başkanlığından alınan bilgiye göre, resmi evrak işlerinin tamamlanması gerekmesiyle belgeler sisteme yüklenmemiştir).

Erzincan Tulum Peyniri

Erzincan Tulum peyniri, tulum peynirleri arasında en fazla tanınan ve sevilerek tüketilen geleneksel bir peynir çeşididir [36, 37]. Türkiye'nin ilk tescilli peyniri olan peynir, 2000 yılında Erzincan Sanayi ve Ticaret Odası tarafından Menş e olarak tescillenmiştir (Tablo 2). Ci tescil belgesinde Erzincan Tulum peyniri, "Erzincan'ın 90-100 çeşit bitki zenginliğine sahip yaylalarında (Munzur, Çimen, Çayırılı, Tercan ve Kemah Oluk) beslenen Karaman koyunundan kaynaklanmaktadır [16]. Tüm bu etkenler, peynirin beyaz-krem renkte, yüksek yağ içeriğine sahip, ağızda kolayca eriyen, kendine özgü asidik, tereyağımsı ve ransit tada sahip, kırılğan

homojen yapıda ve lezzetli bir peynir olmasını sağlamaktadır [13, 36]. Erzincan Tulum peynirine ait bir fotoğraf Şekil 1(1)'de verilmiştir.

Erzincan Tulum peynirinin geleneksel olarak üretiminde, çiğ Akkaraman koyun sütü, şirden mayasıyla 35°C'de 60 dakika mayalanmaktadır. Oluş an peynir pıhtısı kırılma işleminden sonra 1 gün süreyle yayla sıcaklığında baskıya alınarak peyniraltı suyu (PAS) uzaklaştırıldıktan sonra peynir elle parçalanarak tuzlanmaktadır (%3 ağırlık/ağırlık, NaCl). Peynir tekrar baskılama işleminin (en az 10 gün) ardından deri tulumlara basılarak 3-4'de en az 3 ay ile 1 yıl süreyle olgunlaştırılmaktadır [16, 36, 37]. Günümüzde tulumun ambalaj materyali olarak kullanımı çeşitli nedenlerden dolayı (yüksek maliyet, mikrobiyal riskler vb) giderek azalmış ve yerini çeşitli boyutlarda plastik ambalajlar almıştır [13, 36]. Ancak, tulum peyniri üzerine yapılan araştırmalarda, peynir lezzeti bakımından tulumun yerini diğer ambalaj materyallerinin tutmadığı görülmüştür [13, 38].



Şekil 1 (devam). Türkiye'de Cİ tescilli almiş peynirler ile Cİ ve geleneksel ürün adı amblemleri

1: Erzincan Tulum Peyniri (Fotoğraf: S. Çakmakçı); 2: Ezine Peyniri [17]; 3: Edirne Beyaz Peyniri [8]; 4: Erzurum Civil Peyniri (Fotoğraf: S. Çakmakçı); 5: Erzurum Küflü Civil Peyniri (Fotoğraf: S. Çakmakçı); 6: Diyarbakır Örgü Peyniri [8]; 7: Kars Kaşarı [22]; 8: Malkara Eski Kaşar Peyniri [23]; 9: Yozgat Çanak Peyniri [24]; 10: Karaman Divle Obruğu Tulum Peyniri [25]; 11: Van Otlı Peyniri [8]; 12: Antep Sıkma Peyniri [27]; 13: Antakya Sürkü/Çökeleği [28]; 14: Antakya Küflü Sürkü [4]; 15: Manyas Kelle Peyniri [30]; 16: Bolu Keşi [31]; 17: Kırklareli Beyaz Peyniri [32]; 18: Antakya Carra Peyniri [86]; 19: Gümüşhane Deleme Peyniri [74]; 20: Pınarbaşı Uzunyayla Çerkez Peyniri [75]; 21: Sakarya Abhaz (Abaza) Peyniri [76]; 22: Vakfıkebir Külek Peyniri [77]; 23: Urfa Peyniri [8]; 24: Maraş Parmak/Sıkma Peyniri [78]; 25: Hellim Peyniri [8]; 26: Parmesan Peyniri [34]; 27: Grana Padano Peyniri [35]; 28: Menşee Adı Amblemi, 29: Mahreç İşareti Amblemi, 30: Geleneksel Ürün Adı Amblemi [87].

Erzincan Tulum peynirinin mevcut üretim tekniği ve bileşimi üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Üretim teknolojisi, ambalaj materyali çeşidi/boyutu ve karakteristik bazı özellikleri üzerinde araştırmalar yoğun şekilde devam etmektedir. Peynirin lezzet profili, kimyasal içeriği ve kalite özellikleri; üretimde kullanılan sütün türü ve nitelikleri, kullanılan diğer materyal (rennet, tuz vb.), üretim tekniği ve olgunlaşma şartlarından büyük ölçüde etkilenmektedir [13, 36, 39].

Erzincan Tulum peynirinin bazı özelliklerine ait araştırma sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre; peynirde pH, asitlik, kurumadde, protein, yağ, kül, tuz ve olgunlaşma derecesi sırasıyla; 4.82-5.27, %0.62-1.34, %56.92-66.22, %16.61-29.92, %31.19-35.41, %3.92-6.05, %2.84-4.99 ve %11.58-17.53 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Peynirle ilgili yapılan "Tulum Peyniri Çalıştayı (2016)" sonunda, Çakmakçı [40] tarafından "Erzincan Tulum peyniri, Erzincan'ın gözbebeği olup ülkemizin markalaşmış/daha ileriye götürülecek konumdaki ilk Coğrafi İşareti peyniridir. Bu bakımdan, ulusal ve uluslararası arenada kalitesi, tanınırlığı ve pazarlamasının artırılması için; konu İlin devlet ve sivil toplum kuruluşları arasında en öncelikli konulardan biri olarak, bilimsel araştırma sonuçları da dikkate alınarak, ele alınmalıdır. Bu amaç için "Tulum Peyniri Festivaleri" düzenlenmesini öneriyoruz" değerlendirilmesinde bulunulmuştur. Ayrıca, çalıştayda peynir üretiminde kullanılan mayanın kontaminasyon kaynağı olmasından dolayı bunun önlenmesine yönelik çalışmaların yapılması önerilmiş, Cl'de kuzu şirdeninden elde edilen mayanın kullanılması zorunlu olduğundan; şirdenden hijyenik olarak bu peynire uygun şirden üretimi sağlanması gerektiği belirtilmiş ve Erzincan'a koyun şirdeninden geleneksel olarak maya üretimi yapan bir tesis kazandırılması önerilmiştir [40].

Ezine Peyniri

Türkiye'nin en çok üretilen ve tüketilen, ekonomik değeri en fazla olan peynir çeşidi Beyaz peynirdir. Ülkemizin hemen hemen her bölgesinde üretilebilen peynir, başta Trakya, Marmara, Ege ve Orta Anadolu'da yaygın olarak üretilmektedir [41]. Ezine peyniri, Türkiye'de büyük ölçeklerde üretilen ve bol miktarda tüketilen popüler bir peynirdir [42]. Bu peynir, Kaz dağlarının Kuzey ve Batı kesimlerinde yer alan coğrafi sınırları belirlenmiş bölgelerde bulunan doğal endemik bitki örtüsü (mercanköşk, güveyi otu, adaçayı, tüylü nane ve kekik gibi) ve su kaynaklarıyla beslenen hayvanlarından elde edilen keçi sütü (en az %40), koyun sütü (%35-45) ve inek sütü (en fazla %25) karışımından üretilen; beyaza dönük açık sarı renkte, orta sertlikte, kırılğan olmayan bir yapıda, kitlesinde az sayıda ve küçük çaplı gözenekler bulunduran tam yağlı salamura tip beyaz peynirdir [17, 42, 43].

Ezine peynirinin (Şekil 1-2) ayırt edici özellikleri; üretiminde kullanılan süt karışımı, buzağı şirdeninden PAS içerisinde hazırlanan maya, deniz tuzu ve üretim yönteminden kaynaklanmaktadır. Bu peynirin yapımında, Mart ve Temmuz ayları içerisinde özel

hayvan ırklarından (Tahirova, Sakız, Dağlıç ırkı koyunlar, Holstein ırkı inek ve Karakeçi ve Türk Saanen isimli keçi ırkı) elde edilen sütler kullanılmakta olup [17], starter kültür ve kalsiyum klorür (CaCl₂) kullanılmamaktadır [42]. Ezine peyniri süt yağından kaynaklı 'kremamsı', uygulanan ısı işleminden kaynaklı 'pişmiş süt' tat ve aromasına sahiptir [17].

Ezine peynirinin üretiminde, süt karışımı 67°C'de 30 dakika ısı işleminden sonra 32-34°C'lerde şirden mayası (%8-11) ile mayalanır. Oluşan peynir pıhtısı kesilip, PAS uzaklaştırıldıktan sonra cendere bezinin serili olduğu kalıplara aktarılarak baskıya alınır. Elde edilen teleme, kalıplar halinde kesildikten sonra deniz tuzuyla hazırlanan salamurada (%14-16 NaCl) bekletilir. Daha sonra peynir kalıpları, tenekelere tek sıra halinde dizilerek kuru tuzlama yapılır ve 10-12 saat dinlendirilir. Teneke içerisinde biriken PAS uzaklaştırıldıktan sonra, tenekeler doluncaya kadar peynir dizilir. Salamura ilavesinin ardından tenekeler kapatılarak 2-4°C'lerde en az 8 ay olgunlaştırılır [17, 43].

Yapılan literatür araştırması sonucunda Ezine peynirinde; pH 4.92-4.95, asitlik %0.62-1.10, kurumadde %42.92-49.98, protein %17.55-19.10, yağ %22.47-25.25, kül %5.35, tuz %3.58-4.68 ve olgunlaşma derecesi %12.09-20.0 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Edirne Beyaz Peyniri

Edirne Beyaz peyniri; Edirne İli'nin Tunca, Meriç, Arda ve Ergene akarsularının oluşturduğu deltalar ile bölgeye özgü iklimin etkisindeki bitki örtüsüyle beslenen süt hayvanlarından elde edilen sütlerden (inek, koyun ve keçi) yapılan, süt yağından kaynaklı sarımsı-beyaz renkte ve dikdörtgen şekilli salamura tip beyaz peynirdir. Bu peynirin en önemli ayırt edici özelliği üretiminde sadece süt, maya ve tuzun kullanılmasıdır [18].

Edirne Beyaz peynirinin (Şekil 1-3) üretiminde; çiğ süt klarifikasyon, yağ standardizasyonu ve pastörizasyon (67°C'de 30 dakika) işlemlerinin ardından 30-32°C'lerde şirden mayası ilavesiyle 90 dakikada mayalanır. Oluşan peynir pıhtısı, kesilip (1-2 cm³ büyüklüğünde) PAS uzaklaştırıldıktan sonra cendere bezine alınarak baskıya alınır (baskı süresi sertlikle orantılı olarak yaz aylarında 2-3 saat, kış aylarında ise 3-4 saat uygulanır). Yeterli sertliğe ulaşan peynir telemesi 8×8×8 cm³ boyutlarında kesilip tenekelere aktarılır ve üzerine %16-18 NaCl içeren salamura ilave edilir. Peynirlerde, asitlik 60-70°SH veya pH 4.7-5.0'e ulaştıktan sonra tenekeler kapatılarak 2-4°C'lerde en az 3 ay olgunlaştırılır [18].

Tescil belgesinde, Edirne Beyaz peyniri için pH değerinin 4.7-5.0, kurumaddenin en az %40, yağın %20-48 ve kurumaddede tuzun en yüksek %10 olması gerektiği bildirilmiştir [18]. Yapılan literatür araştırması sonucunda ise Edirne Beyaz peynirinde pH, asitlik, kurumadde, protein, yağ, kül, tuz ve olgunlaşma dereceleri sırasıyla; 4.61-5.10, %0.83-1.51, %35.54-45.40, %13.97-17.10, %16.50-23.50, %4.10, %2.98-7.34 ve %16.74-28.66 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Erzurum Civil Peyniri

Civil peynir; asit, rennet ve ısıtma işleminin birlikte kullanıldığı orijinal bir peynir çeşidi olup, Erzurum başta olmak üzere [15] Türkiye'nin Doğu ve Kuzeydoğu kesimlerinde Çeçil peyniri, tel peynir, iplik peynir ve çekme peynir gibi isimler adı altında üretilmektedir [44]. Cİ tescil belgesinde Erzurum Civil peyniri, "Erzurum ilinin yüksek dağları arasında kalan meralarda çeşitli besleyici otlarla beslenen hayvanlardan elde edilen sütün, seperatörlerden geçirilerek yağının uzaklaştırılması sonucu kalan yağsız sütün belirli düzeyde asitlendirilmesi işleminden sonra sıvı şirden mayası ile mayalanması ve ısıtılması ile oluşan pıhtının karıştırılıp yoğrulup askılara asılarak kütle içinde tel oluşturması sonucu elde edilen yağsız veya az yağlı peynir olarak sınıflandırılan yöresel peynir türü" olarak tanımlanmıştır [19].

Erzurum Civil peynirinin (Şekil 1-4) üretiminde sadece yağsız süt, rennet ve tuz kullanılmakta olup, starter kültür ve $CaCl_2$ gibi herhangi bir katkı maddesi kullanılmamaktadır. Civil peynir, yağsız olmasından dolayı rengi beyaz ve süt yağından uzak beslenmek zorunda kalan insanlar için diyet amaçlı kullanılabilir. Bu peyniri, diğer tel peynirlerden ayırtan en önemli özelliği askılama işleminden dolayı silindirik olmayan iplikli yapıdır. Bu özelliğiyle Erzurum Civil peynir tuzu az tutmakta ve benzeri olan tel peynirlerden ayrılmaktadır [19].

Oldukça emek ve ustalık gerektiren bir üretim tekniğine sahip olan peynirin üretiminde, asitliği $22^{\circ}SH$ 'ya getirilmiş PAS ilavesiyle veya doğal mikrobiyal faaliyet sonucu yağsız çiğ süt $30^{\circ}C$ 'ye kadar ısıtılır. Sıvı şirden mayası (%4) ilave edilerek ısıtma işlemine devam edilir. Süt içerisinde $52-53^{\circ}C$ 'lerde pıhtı parçacıkları oluşmaya başlayınca karıştırma işlemi ile pıhtı parçacıkları bir araya getirilerek tahta keçenin etrafına sarılması sağlanır. Isıtma işlemi sıcaklık $65-70^{\circ}C$ 'ye kadar yapılır. Yapılan bir çalışmada [15], $58-60^{\circ}C$ 'lerden yüksek sıcaklık uygulamasıyla peynirin lifli yapısının bozulduğu ve teleme ısıtma işleminin $55-60^{\circ}C$ 'de tamamlanması gerektiği bildirilmiştir. Oluşan pıhtı, yoğurma ve çekme işlemleri ile tel haline getirilir. Askılama işleminin ardından lifli yapı kazandırılan taze Civil peynirler salamura, vakum ambalajlama, kuru tuzlama yapılarak ya da %20-30 oranında yağsız Lor peyniri ile basılarak $4^{\circ}C$ 'de olgunlaştırılmaktadır [19, 45].

Yapılan literatür araştırması sonucunda Erzurum Civil peynirinde; pH 4.53-6.32, asitlik %0.73-2.39, kurumadde %35.19-40.35, protein %22.49-32.40, yağ %0.25-2.30, kül %7.83, tuz %4.68-6.14 ve olgunlaşma derecesi %6.86-9.11 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Erzurum Küflü Civil Peyniri (Göğermiş Peynir)

Küflü Civil peynir; Erzurum Civil peynirinin didilerek Lor peyniri ile veya sade Civil peynirin didilerek gıda ambalajlamaya uygun plastik bidonlara basılıp suyunun uzaklaştırılması ve doğal olarak küflenmesi sonucu elde edilen kendine özgü lezzete sahip olgun bir peynir çeşididir [15, 20, 46]. Erzurum ve çevresinde özellikle

kahvaltı sofralarından eksik olmayan peynir (Şekil 1-5), bugün tüm Türkiye'de bilinen, aranan ve hediye gıda olarak makbule geçen çok aromatik bir çeşittir. Fransa'nın Rokfort peyniri benzeri bir lezzete sahip, yağsız süten yapıldığı halde olgunlaşma sırasındaki biyokimyasal reaksiyonların etkisiyle yağlı bir çeşit gibi algılanan, TÜBİTAK tarafından desteklenen projelerle her yönüyle araştırılan ve tüm özellikleri ortaya konulan, starter küf olabilecek *Penicillium roqueforti* suşları belirlenmiş olan bir peynirdir [15, 46, 47].

Göğermiş peynirin üretimi iki şekilde yapılmaktadır. Her iki yöntemde de yine bölgede üretilen Civil peynirin olması zorunludur. Üretimde sade Civil peyniri veya Civil (%70) + Lor peyniri (%30) karışımı tuzlama işleminin ardından hava kalmayacak şekilde plastik bidonlara basılarak kapakları kapatılır. Bidonların kapakları delinerek, ters çevrilir ve fazla suyun uzaklaşması sağlanır. Bidonların içerisindeki peynir, $8-12^{\circ}C$ 'lerde spontane olarak küfleninceye kadar (en az 60 gün) olgunlaştırıldıktan sonra $4^{\circ}C$ 'de muhafaza edilir. Bu peynirin üretiminde kullanılan Lor peyniri ise bazı peynirlerin yapımı sırasında açığa çıkan PAS'ın bazen tuz (%2-3) ilave ederek $90-95^{\circ}C$ 'lik ısıtma işlemiyle pıhtılaştırılması sonucunda elde edilir. Lor peyniri serum proteinleri açısından zengin olup, biyolojik değeri oldukça yüksektir. Dolayısıyla, Lor peyniri kullanılarak üretilen Küflü Civil peynirin besin değeri ve biyolojik değeri, sade Civil peyniriyle üretilene kıyasla daha yüksek olmaktadır. Cİ tescil belgesinde, Erzurum Göğermiş peynirin yapımında kullanılan Lor peynirinin bileşimi: pH 4.71, asitlik %0.87, kurumadde %32.27, yağ %2.6, protein %13.8, kül %3.84 ve tuz %3.48 olarak verilmiştir [20].

Son yıllarda Küflü Civil peynir üzerine yapılan çalışmalarda, kontrollü küflenmeyi sağlamak amacıyla, küf izolasyonu ve identifikasyonu sonucu elde edilen belirli toksinleri oluşturmayan *Penicillium roqueforti* suşlarının kullanıldığı görülmüştür [15, 47]. Yapılan literatür araştırması sonuçlarına göre Erzurum Küflü Civil peynirinde; pH, asitlik, kurumadde, protein, yağ, kül, tuz ve olgunlaşma derecesi sırasıyla; 5.60-6.51, %0.72-1.70, %46.97-65.0, %35.0-36.95, %1.72-6.0, %5.68, %5.0-7.21 ve %15.29-30.0 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Diyarbakır Örgü Peyniri

Diyarbakır Örgü peyniri; yağ oranı yüksek, homojen, plastik telemeli, elastik yapıda yarı sert, kendine özgü tat-aromaya sahip, besin değeri yüksek ve saç örgüsü şeklinde salamura tip peynir çeşididir. Elle iplik şeklinde ayrılabilen bu peynir parlak görümlü olup, rengi krem beyaz veya hafif sarımsıdır [10, 21, 48]. Diyarbakır Örgü peynirinin ayırt edici özellikleri; üretiminde zengin bitki örtüsüne sahip meralarda çeşitli otlarla beslenen özel koyun ırklarından (Akkaraman varyetesi olan Karakaş, Karacadağ, Zom ve İvesi koyunları) elde edilen sütlerin kullanılması ve oldukça ustalık gerektiren üretim yönteminden kaynaklanmaktadır. En önemli ayırt edici özelliği şeklinin saç örgüsü şeklinde olması olup; tat ve koku olarak Beyaz peynir ile Kaşar peyniri arasında olması, kabuklaşma ve göz oluşumu gibi fiziksel

kusurların görülmemesi de karakteristik özellik sağlamaktadır [21].

Diyarbakır Örgü peyniri (Şekil 1-6) bileşim yönünden Beyaz peynire, üretim teknolojisi açısından ise Kaşar peynirine benzemektedir. Bu peynir genellikle ilkbahar aylarında çiğ koyun sütünden yapılmakla birlikte, üretiminde keçi ve inek sütleri ile bunların karışımı da kullanılabilir. Geleneksel üretim yönteminde taze sağılmış çiğ koyun sütü, süzme işleminin ardından ticari veya ev yapımı sıvı şirden mayası ile 60 dakika mayalanır. Oluşan pıhtı kesilip, PAS uzaklaştırıldıktan sonra baskılama yapılır. Baskılama ile eş zamanlı olarak teleme fermentasyona bırakılarak pH'nın 5.0'a düşmesi sağlanır. Asitliği artırılmış teleme küçük parçalara ayrıldıktan sonra %3 NaCl içeren sıcak salamurada (70-80°C) 3-4 dakika haşlanır. Haşlama sonrası teleme yoğrularak 200 g'lık porsiyonlara ayrılır ve ip şeklinde uzatıldıktan sonra tipik saç örgüsü şeklinde örülür. Bu peynir taze olarak tüketilmekle birlikte, daha çok %10-12 NaCl içeren salamurada olgunlaştırıldıktan (4-6°C'lerde en az 90 gün) sonra tüketime sunulmaktadır [21].

Literatür araştırması sonucunda Diyarbakır Örgü peynirinde; pH 5.40-5.57, asitlik %0.46-1.11, kurumadde %47.75-54.47, protein %21.69-25.20, yağ %17.86-23.50, kül %8.01-8.77, tuz %4.82-7.67 ve olgunlaşma derecesi %4.83-19.11 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Kars Kaşarı

Kaşar peyniri, ülkemizde Beyaz peynirden sonra yaygın olarak üretilen ve tüketilen yarı sert veya sert tip peynir çeşididir. Bu peynirin üretim yöntemleri bölgeler arasında ve usta peynircilerin tecrübesine göre değişiklik göstermektedir. Ülkemizde Kars, Tekirdağ, Edirne, Kırklareli, Kocaeli, Muş, Erzurum ve Trabzon gibi pek çok ilde üretilmektedir [49]. Bunlar içerisinde en çok bilinen Kars Kaşarı, Mayıs ve Ağustos ayları arasında Kars ve Ardahan illerindeki zengin bitki örtüsüne sahip meralarda otlayan hayvanlardan elde edilen sütlerden yapılan, kendine özgü tat, koku, aroma ve renge sahip, taze veya olgunlaştırılarak tüketilen bir peynirdir. Taze Kars Kaşarı (ön olgunlaşma aşamasında) kalıptan çıktığı gün beyazımsı bir renkte ve tadı hafif tuzlu yavan ve süt tadını andırırken, bir hafta içerisinde kabuk bağlayarak sarımsı bir renk almaktadır. Eski Kaşar (3 ay olgunlaştırıldıktan sonra) ise daha sert yapılı olup, hafif tuzlu, daha aromatik ve ağızda kolayca dağılır özelliindedir [22].

Kars Kaşarı (Şekil 1-7), genellikle inek sütlerinden yapılmakla birlikte inek sütüne koyun ve keçi suları karıştırılarak da üretilmektedir. Geleneksel üretim yönteminde yağlı süt, 32-35°C'lerde ticari peynir mayasıyla 60 dakikada mayalanır. Oluşan peynir pıhtısı kesilip, PAS uzaklaştırıldıktan sonra 1 saat süreyle baskıya alınır. Daha sonra teleme büyük parçalar halinde kesilerek (10 × 20 × 40 cm³) pH 5.0-5.2'ye düşüncüye kadar olgunlaştırılır. Olgunlaştırılmış teleme parçalama işleminin (en fazla 0.5 cm kalınlıkta) ardından fazla suyunun uzaklaştırılması için tekrar baskıya alınır. İkinci baskılama işleminin ardından teleme, 72-78°C'lerdeki sıcak tuzlu suda (%8-10 NaCl) 2-3 dakika

haşlanır. Haşlanan teleme yoğurma, gaz alma ve göbek bağlama işlemlerinin ardından tuzlanarak iki aşamada (ön olgunlaştırma: 12-18°C'lerde 2-3 hafta; son olgunlaştırma: 2-8°C'lerde %75 nispi nemde 3-6 ay) olgunlaştırılır [22]. Eski Kaşarın, taze Kaşara oranla kurumadde oranı ve buna bağlı olarak protein, yağ, kül ve tuz oranları nispeten daha yüksektir. Literatürden elde edilen araştırma sonuçlarına göre; Kars Kaşarında ortalama pH 5.61, asitlik %1.09-2.29, kurumadde %60.36-63.50, protein %25.85-29.0, yağ %29.71-33.24, kül %3.93-5.30, tuz %2.20-3.50 ve olgunlaşma derecesi %9.87-10.50 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Malkara Eski Kaşar Peyniri

Malkara Eski Kaşar peyniri, Nisan ve Temmuz ayları içerisinde Malkara ilçesinin zengin bitki örtüsüne (özellikle yöreye özgü olan *Lathyrus L./mürdümük*, yonca ve kekik gibi) sahip meralarında otlayan koyun, keçi ve ineklerin sütlerinden yapılan, kendine özgü tat, koku, aroma (yeşil yemlerden kaynaklı alfa pinen ve calarene gibi terpen türevli bileşenler baskın özellikte) ve renge (saman sarısı) sahip sert yapıda, silindirik formda, tam olgunlaşmış peynir çeşididir. Bu peynirin en önemli ayırt edici özelliği, bölgenin sahip olduğu bitki örtüsünden kaynaklı olarak aromasının yüksek ve çeşitli olmasıdır. Duyusal açıdan tuzlu, umami ve ekşi tada sahip olup; pişmiş, kremamsı-süt yağı, sülfür, PAS, ransit, hayvanımsı, maya/küf, meyvemsi ve fındığımsı aromaya sahiptir [23].

Malkara Eski Kaşar peynirinin (Şekil 1-8) üretiminde genellikle %30-35 keçi sütü, %20-35 koyun sütü ve %30-50 inek sütü karışımı (pH'sı en çok 6.20 olmalı) kullanılmaktadır. Çiğ süt karışımı, klarifikasyon ve standardizasyon işlemlerinin ardından 30-55°C'lerde 10 dakika ısıtma tabi tutularak, 29-32°C'lerde ev yapımı veya ticari peynir mayasıyla 30-45 dakikada mayalanır. Oluşan peynir pıhtısı nohut büyüklüğünde kırılarak PAS'ın yaklaşık 2/3'ü uzaklaştırıldıktan sonra baskıya alınır ve pH 5.8-5.9'a ulaşıncaya kadar olgunlaştırılır. Ön olgunlaşması tamamlanmış teleme iki kez doğrama işleminin ardından tekrar baskıya alınarak pH'nın 4.8-5.1'e düşmesi sağlanır. İkinci baskılama işleminin ardından teleme 78°C'deki sıcak tuzlu suda (%3-8 NaCl) 5 dakika haşlanır. Haşlanan teleme; tuzlama, yoğurma, gaz alma ve kalıplama (en az 13 kg hamur olacak şekilde) işlemlerinin ardından üç aşamada (1 ön olgunlaştırma: kalıpla birlikte 16-22°C'lerde %70-90 bağıl nemde 1-2 gün; 2. ön olgunlaştırma: kalıp çıkarıldıktan sonra 1. ön olgunlaştırma şartlarında 21 gün; 3. son olgunlaştırma ise en az 5 kelle kaşar kenevir çuvallar içerisinde yerleştirilerek 1°C'de %70-90 bağıl nemde en az 90 gün olgunlaştırılır [23]. Yapılan literatür araştırması sonucunda, Malkara Eski Kaşar peyniri üzerine yapılmış bilimsel çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Cİ tescil belgesinde [23] bu Kaşar peynirinde toplam kurumaddenin en az %60, yağın en az %45 ve tuzun en çok kurumadde %3.50 olması gerektiği bildirilmiştir (Tablo 2).

Yozgat Çanak Peyniri

Yozgat Çanak peyniri, Yozgat merkez ve ilçelerinin doğal bitki örtüsü ve su kaynaklarıyla beslenen koyun, keçi ve ineklerden elde edilen sütlerden yapılan, kendine özgü tat ve aromaya sahip, az olgun ve yarım yağlı bir peynirdir. İsminden de anlaşılacağı üzere bu peynir, topraktan yapılmış çanak içerisine basıldıktan sonra kuma gömülerek olgunlaştırılır [24, 50].

Yozgat Çanak peynirinin (Şekil 1-9) üretiminde çiğ süt, süzme işleminin ardından geleneksel şirden mayası (%1) ile 32-35°C'lerde 120 dakika mayalanır. Peynir pıhtısı 4 parçaya kesildikten sonra PAS'ın uzaklaşması için 20-120 dakika süzme işlemi yapılır. Daha sonra 1 kg peynir üzerine 3-5 kg ağırlık olacak şekilde 10-20 saat süreyle baskılama yapılır. Peynir ufalanıp tuzlandıktan (%7.5 kaya tuzu) sonra tekrar baskıya alınır (12-16°C'lerde, 1 kg peynire 10 kg ağırlık olacak şekilde 2-7 gün). İkinci baskılama işleminin ardından peynir tekrar ufalanarak, hava almayacak şekilde çanaklara sıkıca basılır ve çanakların ağzı asma yaprağı ve hamur ile kapatılır. Peynir doldurulmuş çanaklar; ince, az çakıllı ve hafif rutubetli kuma gömülerek, serin bir ortamda 4 ay olgunlaştırıldıktan sonra 4°C'de 2-3 ay depolanır [24, 50]. Yapılan literatür araştırması sonuçlarına göre, Yozgat Çanak peynirinde pH 4.77, asitlik %1.62-2.23, kurumadde %51.49-64.12, protein %26.61-27.53, yağ %13.56-46.0, kül %6.68, tuz %3.34-8.48 ve olgunlaşma derecesi %14.97-23.59 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Karaman Divle Obruğu Tulum Peyniri

Tulum peyniri, ülkemizde Beyaz peynirden sonra yaygın olarak üretilen/tüketilen ve çeşidinin (Erzincan, İzmir, Divle ve Çimi tulum peynirleri gibi) oldukça fazla olduğu bir peynir çeşidi olup daha çok küçük aile tipi işletmelerde üretilmektedir [51]. Karaman Divle Obruğu Tulum peyniri, Karaman ili Ayrancı ilçesi sınırları içerisindeki yayla ve meralarda beslenen (meraya çıkamadıkları mevsimlerde kurutulmuş yonca, saman vb. kaba yemler) hayvanlardan elde edilen keçi (%10), inek (%10) ve koyun sütü (%80) karışımı ile yapılan telemenin, keçi veya kuzu derisinden hazırlanmış olan deri tulumlara basılıp, 5-6 ay süreyle Divle Obruğunda olgunlaştırıldıktan sonra tüketime sunulan bir peynir çeşididir [25].

Karaman Divle Obruğu Tulum peynirini (Şekil 1-10), diğer tulum peynirlerinden ayıran en önemli ayırt edici özelliği, tulum içerisine basılan peynirlerin kendine özgü yerleşik bir küf florası bulunan obruk olarak isimlendirilen bir mağarada olgunlaştırılmasıdır. Obruk, doğal bir soğuk hava deposu niteliğinde olup, mağaranın içi 4°C sıcaklık ve %80 bağıl neme sahiptir [25, 52]. Mağaraya konulan tulumların üzerlerinde yaklaşık 1 ay sonra mavi, sonra beyaz ve daha sonra da kırmızı renkli küf oluşmaktadır. Tulumun dış yüzeyindeki küfün kuruması ve kırmızı rengi alması, peynirinin tam olgunlaştığını göstermektedir [52, 53]. Tulum peynirinin genel özelliklerini taşıyan bu peynir; beyaz-krem renkte, yağ oranını yüksek, karakteristik koku ve lezzete sahiptir [52].

Karaman Divle Obruğu Tulum peynirinin üretiminde; çiğ süt karışımı 30-32°C'lerde ev yapımı veya ticari peynir mayasıyla (%0.1) 80-90 dakika mayalanır. Oluşan peynir pıhtısı, kırıldıktan sonra 55°C'de 1-2 dakika tutulur. Daha sonra PAS'ın uzaklaşması için süzme ve baskılama işlemleri (24 saat) yapılır. Baskıdan alınan teleme dilimlendikten sonra oda sıcaklığındaki içme suyu ile en az 2-3 kez olacak şekilde yıkanır. Yıkanan teleme tekrar torbalara aktarılarak 24 saat süreyle baskıya alınır. Peynir ufalama işleminin ardından tuzlanarak (%2.7-3.0 NaCl), hazırlanan keçi veya kuzu tulumlarına hava kalmayacak şekilde sıkıca basılır. Yapıda kalan PAS'ın uzaklaşması amacıyla, tulumlar birkaç yerden şişlenerek ağızları dikilir. Hazırlanan tulumlar serin şartlarda yaklaşık 10 gün bekletildikten sonra Divle Obruğunda 5-6 ay süreyle (Haziran-Ekim) olgunlaştırılır [25].

Yapılan literatür araştırması sonucunda Karaman Divle Obruğu Tulum peynirinde pH, asitlik, kurumadde, protein, yağ, kül, tuz ve olgunlaşma derecesi değerlerinin sırasıyla; 5.14-5.49, %1.07-2.72, %56.25-60.13, %25.90-31.07, %19.50-25.92, %4.96, %2.46-3.99 ve %20.33-21.47 olduğu bildirilmiştir (Tablo 2).

Van Otlı Peyniri

Otlı peynir, ülkemizin daha çok Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde (Van, Diyarbakır, Siirt ve Ağrı) uzun yıllardan beri üretilen ve sevilerek tüketilen bir peynir çeşidi olup, daha çok Van ilinde üretilmektedir [10, 54, 55]. Van Otlı peyniri; başta koyun sütü olmak üzere, inek veya keçi sütünden veya bunların karışımından, yöre ve çevre illerde yetişen Sirmo, Mendi, Kekik, Siyabo, Yabani nane ve Heliz olarak adlandırılan yaklaşık 20-25 adet otun ilavesiyle üretilen [54, 56, 57], kullanılan süt ve otların farklılığıyla beyazdan sarımtırağa doğru değişen renge sahip, orta sertlikte, lezzetli (sarımsak ve kekik aroması hakim), tuzlama yapıldıktan sonra taze veya salamurada olgunlaştırılarak tüketilen, yarı sert ve düz yapıda, parlak görümlü bir peynirdir [10, 26].

Geleneksel bir peynir olan Van Otlı peyniri (Şekil 1-11), üretim yöntemi ve yapı bakımından Beyaz peynire benzemekle birlikte, yapısında endemik otlar bulundurması nedeniyle farklı özelliklere sahiptir. İlkbahar aylarında yapılan bu peynir, tuzlama yöntemi açısından "salamurada" veya "kuru tuzlamayla" olmak üzere iki farklı şekilde üretilmektedir. İki tip arasında yapı ve görünüm açısından farklılıklar vardır [10, 55]. Bölgede kuru tuzlama yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Van Otlı peynirinin kuru tuzlama yöntemiyle üretiminde, çiğ süt 30°C'de geleneksel veya ticari peynir mayası (%0.13) ile 60-120 dakika mayalanır. Oluşan peynir pıhtısı bez torbalara aktarılarak, hazırlanan ot karışımı (ayıklama ve yıkama işlemlerinin ardından, ince ince kıyılmış otlar kaynar suya atıldıktan sonra asidik ve %6 tuz içeren salamurada bir süre bekletilmekte) %2 oranında ilave edilir. Pıhtı süzme ve baskıya alma işlemlerinin (3-4 saat) ardından, oluşan teleme 2-3 cm kalınlığında kesilip, kuru tuzlama yapıldıktan sonra 3-4 gün bekletilir. Peynir dilimleri bol su ile yıkandıktan sonra, bir kat

peynir ve isteğe bağlı olarak bir kat cacık (çökelek: asitliği artmış sütün ısıtılması sonucunda oluşan pıhtının süzülmesiyle elde edilen bir peynirdir. Bu peynir, ortalama %22.07 kurumadde, %14.51 protein, %2.69 yağ, %1.97 tuz ve %1.93 laktik asit içeriğine sahip) olacak şekilde toprak küplere veya plastik bidonlara sıkıca basılır. Daha sonra küpler toprağa gömülerek 4-7 ay süreyle olgunlaştırılır. Salamura tuzlama yönteminde ise üretim süreci kuru tuzlama ile aynı olup, peynir pastörize sütte yapılır ve salamurada (pH'sı 4.7-5.1 olan %18-21 NaCl içeren) 30-60 gün olgunlaştırılır [26].

Literatürden elde edilen araştırma sonuçlarına göre; Van Otlu peynirinde pH 4.55-5.10, asitlik %1.41-1.84, kurumadde %47.78-55.41, protein %17.24-25.52, yağ %19.21-24.88, kül %7.45-8.43, tuz %5.52-6.90 ve olgunlaşma derecesi %17.14-19.28 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Antep Sıkma Peyniri

Antep Sıkma peyniri, Gaziantep ilinin meralarında otlayan küçükbaş hayvanların sütlerinden (koyun, keçi veya bunların 1:1 oranında karışımı) yapılan bir peynir çeşidi olup, bölgede "pişken" ya da "kelle" gibi isimlerle bilinmektedir [10, 27]. Antep peyniri; homojen, gözeneksiz, pürüzsüz, sıkı, kesilince ufalanmayan, yarı sert, esnek, ağızda kolayca dağılan bir yapıya ve gri-beyaz renkli görünümüne sahiptir. Çiğnenmesi esnasında ağızda gıcırdama hissi bırakan bu peynir, 6-10 cm çapında küresel bir şekle sahip olup, aroma bileşenleri açısından zengindir [27].

Antep Sıkma peyniri (Şekil 1-12), üretim teknolojisi açısından Beyaz peynir ile Kaşar peyniri arasında yer almaktadır. Bu peynirin üretiminde çiğ süt, 35°C'de şirden veya incir sütü (yöresel ağızda kerik: genellikle eski zamanlarda kullanılmakla birlikte, günümüzde mayanın olmadığı zamanda da kullanılmakta) ilavesiyle 60-120 dakika mayalanır. Oluşan pıhtı bez torbaya aktarılarak süzme ve baskı (1 kg peynire 5-10 kg ağırlık olacak şekilde) işlemleri uygulanır. Elde edilen telemeden kaşıkla parçalar alınıp "şeşbezi" veya "cibinlik" olarak isimlendirilen tülbenkten yapılmış küçük süzek torbalara aktarılarak bükme işlemi yapılır. Daha sonra peynir parçaları 80-90°C'lerdeki PAS'nda 1 dakika haşlanır. Soğutma işleminden sonra peynirler avuç içerisinde şekillendirilerek kuru tuzlama (%2-4 kaya tuzu) ve salamura tuzlama (%15-20 NaCl) olmak üzere iki farklı şekilde tuzlanır. Antep peyniri taze veya salamurada olgunlaştırıldıktan (3-5°C'lerde 2-3 ay) sonra tüketilmektedir [10, 27, 48].

Literatür taramasında, Antep peynirinde; pH, asitlik, kurumadde, protein, yağ ve tuz değerleri sırasıyla; ortalama 6.50, %1.75, %50.00-60.2, %17.50-20.30, %19.0-23.30 ve %1.0-9.90 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Antakya Sürkü (Çökeleği) ve Küflü Sürkü

Antakya Sürkü (Çökeleği); asitliği artmış inek sütünün veya yayık altı ayranının kaynatılması ile elde edilen çökeleğe başta yörede "zahter" olarak bilinen ve

dağlardan toplanan yabancı kekik ile birlikte tuz, biber salçası ve isteğe bağlı olarak farklı baharatların (kırmızıbiber, nane, kimyon, kişniş, karabiber, zencefil ve mahlep gibi) ilave edilip yoğrulması ile üretilen bir peynir çeşididir [28, 57, 58]. Antakya Küflü Sürkü ise Antakya Sürkü'nün doğal olarak küflendirilip olgunlaştırılması sonucunda elde edilen ayrı bir küflü peynir çeşididir. Olgunlaştırma sürecinde peynir; görünüm, tat ve koku olarak değişime uğramaktadır. Ancak diğer küflü peynirlerden farklı olarak Antakya Küflü Sürkü küfler yüzeyden uzaklaştırıldıktan sonra tüketilmektedir [29].

Antakya Sürkü (Şekil 1-13) ve Antakya Küflü Sürkü (Şekil 1-14) Türkiye'de üretilen diğer asit pıhtısı ve/veya otlu peynirlerden görünüm (kırmızı-turuncu renkte konik şekilli), bileşim, tat, koku ve aroması bakımından ayırt edilebilmektedir. Her bir peynir topu 150-200 g ağırlığında ve taban çapı 5-7 cm kadardır [28, 29, 57]. Antakya Küflü Sürkü, Antakya Sürkü'ne göre olgunlaşma sırasında mikroflorasındaki özellikle küflerin (*Penicillium commune*, *Alternaria alternata*, *Cladospodium cladosporioides*, *Aspergillus niger* var. *awamori*, *Phoma soficola* ve *Bipolaris tetramera*) ve diğer bakterilerin (*Pediococcus acidilactici*, *Enterococcus durans*, *Lactobacillus brevis* ve *Lactobacillus paracasei*) proteolitik ve lipolitik aktiviteleri sonucunda daha fazla aroma bileşeni içerdiğinden daha aromatiktir [29]. Antakya Sürkünde 130 kadar uçucu bileşen tespit edilmiş olup, bunların büyük bir bölümü baharatlardan (özellikle zahter) kaynaklanan terpenlerden (karvakrol, gama-terpinen ve p -kimen) ve organik asitlerden oluşurken [28], Antakya Küflü Sürkü ise bu bileşiklere ilaveten mikrobiyal aktiviteden kaynaklı aldehitler, ketonlar, alkoller ve diğer karbonil bileşikleri içermektedir. Sürk peyniri duyuşsal olarak tuzlu, ekşi ve acı tatlılara sahiptir [29].

Antakya Sürkü'nün üretiminde; çiğ inek sütü 90-95°C'lerde 5-15 dakika ısı işlemleri takiben 40-45°C'ye soğutularak %1-3 oranında yoğurt mayası ilavesiyle 3-5 saat mayalanır. Elde edilen yoğurt buzdolabında (4-7°C) birkaç gün dinlendirildikten sonra 1:1 oranında sulandırılarak ayrına işlenir. Ayran yayıkılarak (10-15°C'lerde 20-40 dakika) tereyağı ve yayık ayrıntı elde edilir. Yayık ayrıntı 90-95°C'ye ısıtılarak pıhtı oluşumu sağlanır. Süzme ve baskılama işlemlerinden (5-6 saat) sonra elde edilen çökeleğe; baharat karışımı (%0.1-0.3), tuz (%1-3) ve biber salçası (%1) ilave edilerek 5-10 dakika yoğurma işlemi yapılır. Homojen hale getirilen kitleden avuç büyüklüğünde parçalar alınarak el ile konik şekli verilir. Daha sonra elde edilen Sürk peynirleri gölgede 2-3 gün kurutulduktan sonra buzdolabında muhafaza edilir [28, 29]. Küflü Sürk peynirinin üretiminde bu aşamadan sonra, peynir topları cam kavanozlara veya plastik bidonlara yerleştirilerek oda sıcaklığında 3-4 hafta küflenmeye bırakılır [29].

Antakya Sürkü ve Küflü Sürkünün bazı özelliklerine ait literatür verileri Tablo 2'de verilmiştir. Antakya Sürkü'nde pH 4.36-5.81, asitlik %1.04-1.77, kurumadde %34.80-49.82, protein %22.0-26.43, yağ %7.40-14.66, kül %4.70-4.80, tuz %3.50-5.36 ve olgunlaşma derecesi %31.70 olarak belirlenirken; Antakya Küflü Sürkünde

pH, asitlik, kurumadde, protein, yağ, kül, tuz ve olgunlaşma derecesi değerleri sırasıyla; 4.76-4.94, %1.14-1.44, %44.32-45.20, %19.02-20.10, %8.99-9.50, %6.20-7.96, %6.80-8.35 ve %42.30-52.91 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Manyas Kelle Peyniri

Manyas Kelle peyniri, Balıkesir'in Manyas İlçesinin doğal bitki örtüsü ve su kaynaklarıyla beslenen hayvanlardan elde edilen koyun ve inek sütleri veya bu sütlerin karışımı ile yapılan, 2-3 mm kalınlığında sert kabuklu, sarı-beyaz renkte, yarıksız, gözenekli yapıda, kendine özgü tat ve aromaya sahip (hafif asidik ve tuzlu), salamurada olgunlaştırılan tam yağlı veya yarım yağlı sert tip peynir çeşididir [30]. Balıkesir ve Bursa illerinde 250 yıldan beri genellikle çiğ koyun sütünden üretilen Manyas Kelle peyniri (Şekil 1-15), farklı isimlerle (Mihaliç, Maglıç ve Mahlıç) de bilinmektedir [48, 59].

Manyas Kelle peynirin üretiminde, süzülen çiğ süt 50-55°C'lerde 30 dakika ısıtılardan sonra soğutulur, 27-35°C'de şirden mayası ile 60-90 dakika mayalanır. Elde edilen pıhtı pirinç tanesi boyutunda kırıldıktan sonra sürekli karıştırılarak 10-15 dakika dinlendirilir. Daha sonra pıhtı, sıcak su (82-88°C) ilavesiyle 38-45°C'lerde pişirilir (peynirin tekstürünü oluşturan ve kalitesini etkileyen bu işlem ustalık gerektirmektedir). PAS'ın uzaklaştırılması ve baskılama (12-16 saat) işlemlerini takiben teleme, 3-5 kg'lık bloklar halinde kesilerek 10-21 gün salamurada (%22 NaCl) bekletilir ve 10-20°C'lerde en az 3 ay olgunlaştırılır. Salamuradaki olgunlaştırma ile peynirin karakteristik özellikleri ve gözenekli yapısı oluşur [30, 48, 59].

Literatür taramasında peynirde; pH 5.01-5.51, asitlik %0.56-1.60, kurumadde %54.50-60.40, protein %18.88-24.58, yağ %24.0-27.40, kül %7.54, tuz %5.92-11.57 ve olgunlaşma derecesi %13.63-26.74 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Bolu Keşi

"Kurut" olarak da bilinen "Keş" yüzyıllardan beri Orta Asya ve Anadolu'da üretilen ve tüketilen geleneksel bir Türk peyniridir. Ülkemizde bu peynirin; üretildiği bölgeye (Bolu, Hatay, Bitlis, Giresun, Kars ve Van gibi), üreticiye ve tüketici tercihinine göre değişen farklı özelliklerde pek çok çeşidi [Taze Keş, Sarı Keş, Kuru Keş, Deri Keş ve Gök (küflü) Keş gibi] bulunmaktadır [60]. Bolu Keşi (Şekil 1-16), genellikle Mayıs ve Haziran aylarında inek sütünden üretilen, kendine özgü tat, koku, aroma ve renge (mat-beyaz) sahip, yağ oranı düşük, tuzlu ve sert yapılı bir çökelek çeşididir. Peynirin en önemli ayırt edici özelliği, üretiminde yağı kısmen alınmış inek sütünden yapılan süzme yoğurdun kullanılması ve üretim teknolojisi (tuzlama ve kurutma) gereği raf ömrünün daha uzun olmasıdır [31].

Bolu Keşinin üretiminde; ilk olarak çiğ süt, kreması alındıktan sonra yoğurda işlenir. Yoğurt, bez torbaya aktararak 1 gece süzdürüldükten sonra süzme yoğurt tuzlanarak (% 6-8 NaCl) fazla suyun uzaklaşması amacıyla 1 gün baskıya alınır. Baskıdan alınan çökelek,

tekrar tuzlanarak (%4-5 NaCl) yoğrulur. Elde edilen çökelek (keş hamuru), kalıplara aktarılıp şekli verildikten sonra 2-3 gün temiz iki bez arasında bekletilir. Sonra Keşler, açık havada ve gölgede 10 gün kurutulur serin ve kuru yerde muhafaza edilir [31, 60].

Literatürdeki araştırma sonuçlarına göre; Bolu Keşi'nde pH 3.90, asitlik %0.25-1.35, kurumadde %65.0-67.05, protein %35.0-36.59, yağ %6.50-8.78, kül %11.11-15.0 ve tuz %5.20-15.0 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Kırklareli Beyaz Peyniri

Kırklareli Beyaz peyniri, Kırklareli'nin mera ve çayırlarında yetişen ve aralarında endemik türlerin olduğu otlar ile beslenen koyun (%30-45), keçi (%25-45) ve inek (%15-30) sütlerinin karışımından üretilen, yağlı ve salamurada olgunlaştırılarak tüketilen bir peynirdir [32, 61].

Kırklareli Beyaz peynirinin (Şekil 1-17) üretiminde, süt karışımı 63-65°C'lerde 30 dakika ısıtılardan sonra 30-35°C'de şirden mayasıyla 90 dakika mayalanır. Oluşan peynir pıhtısı; kesilip (1 × 1 × 1 cm³) 15-20 dakika dinlendirildikten sonra PAS uzaklaştırılarak, cendere bezine aktarılır ve ağırlık kademeli olarak artırılarak 3 aşamalı baskı yapılır. Elde edilen teleme, kalıplar halinde kesildikten (8×8×11 cm³) sonra 80-85°C'lerde pastörize edilmiş ve %14-16 NaCl içeren salamura içerisinde 26-28°C'lerde 8-10 saat bekletilir. Takiben peynir kalıpları tenekelere doldurularak, peynirin pH'sı 4.9-5.0'e ulaşmaya kadar ön olgunlaştırma (24-26°C'lerde 2-3 gün) yapılır. Son olarak, tenekeler salamura (%6-7NaCl) ile doldurulup kapatıldıktan sonra 4°C 'de en az 6 ay olgunlaştırılır [32, 61]. Cİ tescil belgesinde, bu peynirde kurumaddenin en az %49, yağın %27 ve proteinin %17 olması gerektiği bildirilmiştir [32]. Yapılan literatür taraması sonucunda Kırklareli Beyaz peynirinde ortalama pH, asitlik, kurumadde, protein, yağ, kül ve tuz değerleri sırasıyla; 4.66, %1.77, %50.20, %18.38, %28.60, %2.46 ve %5.59 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Antakya Carra Peyniri

Antakya Carra peyniri; belirlenen coğrafi sınırlar içerisinde yetişen tıbbi ve aromatik bitkiler bakımından zengin (yaklaşık 2000 tür) ve aralarında endemik türlerin (280 adet) olduğu otlar ile beslenen inek veya keçi sütünden elde edilen peynir ile inek sütünden üretilen çökeleğin bir çömlek (sırlı/sırsız, carra) içerisine katmanlar halinde sıkı bir şekilde basılması sonucu toprak altında olgunlaştırılmasıyla üretilen geleneksel bir peynir çeşididir. Bu peynirin ayırt edici özellikleri başta yörede "zahter" olarak bilinen dağ kekiği, çörek otu ve ambalajlamada kullanılan çömlekten gelmektedir [33]. Antakya Carra peyniri mevsime ve hayvan ırkına bağlı olarak beyaz-krem renkte, sert ve kırılabilir bir yapıda, tuzlu ve aroma bileşenleri bakımından zengindir [57; 73; 83]. Bu peynirde 60'ın üzerinde uçucu bileşik tespit edilmiş olup; 3-metil-2-bütanol, etiloktanoat, 2-izobutil-3-metoksipirazin, propanoik, bütanoik, 3-metilbutanoik, hekzanoik ve oktanoik asitler bakımından karakterize edilmiştir [73].

Antakya Carra peynirinin (Şekil 1-18) üretiminde; çiğ süt 30°C'de ticari peynir mayasıyla 60 dakika mayalanır. Oluşan peynir pıhtısı kırılıp, PAS uzaklaştırıldıktan sonra baskı yapılır. Baskıdan çıkan teleme (50×50×2 cm³) kalıplar halinde kesildikten (4×4×2 cm³) sonra yüzeyden kuru tuzlama (%5) yapılır ve birkaç gün dinlendirilir. Carraya basma işlemi öncesinde çökelek üretimi için inek sütü yoğurda işlenir ve ardından yaklaşık 1/1 oranında su ile karıştırılarak ayran elde edilir. Yayıklama işlemi sonrasında yağsız ayran kaynatılarak elde edilen pıhtının süzülmesiyle çökelek elde edilir. Elde edilen çökelek tuzlama işleminin (%4-5) ardından 1 gün süreyle baskıya alınır. Baskı sonrası çökelek, çörek otu (%3-5) ve isteğe bağlı olarak az miktarda zahter ilavesiyle yoğrulur. Daha sonra üretilen peynir ile çökelek, carraya bir sıra peynir bir sıra çökelek olacak şekilde katmanlar halinde el ile sıkıca basılır. Carralar ters çevrilerek dinlendirilir ve 3-4 gün fazla suyun süzülmesi sağlanır. Daha sonra carraların ağız; tuz, odun külü, zeytinyağı ve su karışımından hazırlanan harç ile kapatıldıktan/mühürlendikten sonra, hazırlanan peynirler toprağa gömülerek en az 4 ay süreyle olgunlaştırılır [57; 73; 83].

Yapılan literatür taraması sonucunda Antakya Carra peynirinde; pH 5.20-6.56, asitlik %0.32-0.85, kurumadde %53.43-65.35, protein %14.76-24.86, yağ %13.87-26.80, tuz %4.49-8.84 ve olgunlaşma derecesi %7.42-8.84 olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Cİ tecil belgesinde bu peynirin üretiminde kullanılan çökelek bileşiminde pH, asitlik, kurumadde, protein, yağ ve tuz değerleri sırasıyla; 5.06-5.39, %0.53-0.54, %40.38-44.61, %26.36-29.49, %8.50-10.40, %4.69-4.80 olarak bildirilmiştir [73].

Gümüşhane Deleme Peyniri

Gümüşhane Deleme peyniri; doğal olarak asitliği artırılmış inek sütünün kesilmesi/pıhtılaşması ile üretilen çökeleğin ön işlemlerden sonra, yağlı süt ile haşlanması ve yoğrulup şekillendirilmesi ile elde edilen homojen görünüşlü, gözeneksiz, kaygan, ısıtılınca eriyebilen, yarı sert, hafif mayhoş tatta ve süt aroması yüksek bir peynirdir [74].

Gümüşhane Deleme peynirinin (Şekil 1-19) üretiminde, seperatör ile yağı uzaklaştırılmış çiğ süt 8-20°C'de bekletilerek (yazın 1-3 gün, kışın 4-5 gün) asitliğinin yükselmesi (pH 4.9-5.5'e kadar) sağlanır. Bu şekilde elde edilen "çiğ" kesilene kadar ısıtılır ve ardından oluşan pıhtı süzülerek çökelek elde edilir. Çökelek tam yağlı süt içerisinde haşlanarak deleme hamuru elde edilir. Deleme hamuruna %1-1.5 tuz ilave edilerek yoğrulur ve şekillendirilir. Hazırlanan peynir taze olarak tüketilebileceği gibi kaplara basıldıktan sonra toprak altında en az 3 ay süreyle olgunlaştırılarak da tüketilebilir. Cİ tescil belgesine göre, peynirde pH en az 4.30, kurumadde %55, protein %18, yağ sınıflandırmaya (az, yarım ve tam yağlı) göre değişmekle birlikte %5.6 ve tuz %1.6 olması gerekmektedir [74].

Pınarbaşı Uzunyayla Çerkes Peyniri

Pınarbaşı Uzunyayla Çerkes peyniri, Uzunyayla platosunda 1600-2000 rakımdaki yayla ve meralarda otlayan inek veya koyunlardan elde edilen sütün, kaynama noktasında fermente PAS ile pıhtılaştırılması ile üretilen ve rüzgarda kurutulan geleneksel peynirdir. Peynir; düzgün yapıda, yarı sert, kurutma şartlarına bağlı olarak beyaz-saman sarısı renkte, yağlı, sert kabuklu, mayamsı kokulu, hafif tuzlu, hafif ekşimsi ve pişmiş tada sahip ve sepet görünümündü [75].

Pınarbaşı Uzunyayla Çerkes peynirinin (Şekil 1-20) üretiminde, süzölmüş çiğ süt 80-85°C'ye ısıtılıp, önceden nohut ile fermente edilmiş yoğurt suyu/peynir suyu mayası ile (%10-15), mayalanarak asit etkisi ile pıhtı oluşumu sağlanır. Oluşan pıhtı 55-60°C'de hamur haline getirildikten sonra sepetlere (15 × 15 cm - 30 × 30 cm arası ebatlarda) alınarak şekil verilip baskıya (8-12 saat) alınır. Baskıdan çıkar peynirin yüzeyine kuru tuzlama (%1.5-2 kaya tuzu) yapılır. Daha sonra peynirler güneş almayan ve kuzeydoğu rüzgarlarına denk gelen raflarda dinlendirmeye alınır ve her gün ters düz edilerek en az 15 gün kurutulur. Sonra peynir yüzeyi nemli bir bezle silinerek tuzdan arındırılıp bir süre (3-7 gün) daha kurutulduktan (kurumayla birlikte peynir rengi koyulaşarak saman sarısı rengini alır) sonra 4 °C'de muhafaza edilir. Cİ tescil belgesinde inek ve koyun sütünden üretilen bu peynirde kurumadde, yağ, protein ve tuz miktarları sırasıyla; en yüksek %59.17-62.79, %32.9-34.0, %24.03-23.27, %3.97-4.0 olarak bildirilmiştir [75].

Sakarya Abhaz (Abaza) Peyniri

Sakarya Abhaz (Abaza) peyniri; Sakarya iline 700 yıl önce yerleşen Abhaz halkının kültürü etkisiyle şekillenmiş, Kaşar peyniri ile dil peyniri arasında özelliklere sahip, lifli yapıda, kehribar sarısı renginde, görünümü genellikle örgü şeklinde olan olgunlaştırılmış bir peynirdir. Peynirin ayırt edici özellikleri üretiminde kullanılan şirden mayası, çeşniler (isteğe bağlı olarak çörek otu ve kekik gibi) ve geleneksel üretim yönteminden kaynaklanmaktadır [76].

Sakarya Abhaz (Abaza) peynirinin (Şekil 1-21) üretimi için çiğ süt kaynatılıp, 40°C'ye soğutulduktan sonra yoğurt ilavesinin (%1) ardından 35°C'de şirden mayası (%0,02) ile 90 dakika mayalanır. Oluşan peynir pıhtısı kırıldıktan (bu aşamada isteğe bağlı olarak %1-3 oranında çeşni ilave edilebilir) sonra 1 saat bekletilerek PAS'ın ayrılması sağlanır. Daha sonra pıhtı+PAS 45°C'ye getirilerek 30 dakika haşlanır. Topaklanan teleme kalıplandıktan sonra baskıya alınarak PAS'ın uzaklaşması sağlanır. Daha sonra oluşan teleme, bıçak ile avuç içi büyüklüğünde parçalandıktan sonra tekrar PAS içerisinde haşlanır (48°C'de 1 saat). Haşlanan peynir yüzeyi kuru tuzlama yöntemi ile tuzladıktan sonra yağlı kağıtlara sarılıp kavanozlara alınarak 3-6°C'de 2 ay olgunlaştırılır. Olgunlaşma sonrası tüketime hazır peynir vakum ambalaj yapılarak 4°C'de muhafaza edilir. Cİ tescil belgesinde, bu peynirde kurumadde %60-65, yağ %20-25 ve protein %23-27 aralığında olduğu bildirilmiştir (Tablo 2) [76].

Vakfıkebir Külek Peyniri

Vakfıkebir Külek peyniri, inek veya koyun sütünden üretilen peynir ve çökeleğin külek adı verilen ahşap kaplar içerisine katmanlar halinde sıkı bir şekilde basılması ve toprak altında veya fındık kabuklarında olgunlaştırılması ile elde edilen geleneksel bir peynir çeşididir. Bu peynirin ayırt edici özellikleri, üretiminde kullanılan geleneksel şirden mayası ile ambalajlamada kullanılan ladin ağaçlarından yapılmış küleklerden kaynaklanmaktadır [77].

Vakfıkebir Külek peynirinin (Şekil 1-22) üretiminde, krema seperatörleri vasıtasıyla yağ oranı standardize edilmiş (yağlı, yarım yağlı ve az yağlı tiplerde) süt 70-75°C'de 10 dakika pastörize edildikten sonra 37°C'de %1 şirden mayası (bulunmaması durumunda ticari maya

kullanılabilir) ile 60-90 dakika mayalanır. Oluşan peynir pıhtısı kesilip, PAS uzaklaştırıldıktan sonra baskıya alınır. Baskı sonrası tuzlanan peynir, bütün ya da parçalanarak tereyağı yayık ayrıntından elde edilen çökelekle birlikte yuvarlak veya oval şeklindeki küleklere katmanlar halinde sıkı bir şekilde basılır. Küleğin ağız kısmı temiz bir bezle kapatıldıktan sonra peynirler toprağa (sert ve kumlu olmayan) veya fındık kabuklarının içerisine gömülerek 3-6 ay kadar olgunlaştırılır. Olgunlaşma sonrası, peynir doğrudan tüketilebildiği gibi vakum ambalaj yapılarak da 4°C'de muhafaza edilmektedir. Cİ tescil belgesinde, Vakfıkebir Külek peynirinde titrasyon asitliği %1.5-3.0, pH \leq 5.3, kurumadde en az %40, yağ - az yağlı için %10-25, yarım yağlı için %25-45, tam yağlı için \geq %45 -, protein en az %27.5, tuz en fazla %10 olması gerektiği bildirilmiştir [77].

Tablo 2. Türkiye'nin Cİ ile tescillenmiş peynirlerinin bazı özellikleri

Örnekler	pH	Asitlik (%LA)	KM (%)	Protein (%)	Yağ (%)	Kül (%)	Tuz (%)	OD (%)	R**
Erzincan Tulum Peyniri	5.15	1.00	66.22	29.92	32.74	6.05	4.99	17.53	[38,62] ^b
	4.87	0.95	61.45	21.06	35.41	3.92	2.84	11.58	[37] ^b
	5.27	0.62	58.60*	16.61	34.29*	-	3.49*	-	[39] ^b
	4.82	1.34	56.92	20.03	31.19	4.66	3.18	-	[63] ^b
Karaman Divle Obruğu Tulum Peyniri	5.49	-	60.13	27.62	25.92	-	2.46	21.47	[64] ^a
	5.42	1.07	56.27	25.90	23.46	4.96	3.99	-	[53] ^a
	5.14	2.72*	56.25	31.07	19.50	-	3.80	20.33	[25] ^c
Yozgat Çanak Peyniri	-	1.62	51.49	26.61	13.56	6.68	6.10	23.59	[50] ^a
	-	2.23	64.12	-	46.0	-	8.48	-	[24] ^c
	4.77	-	53.52	27.53	19.58	-	3.34	14.97	[64] ^a
Ezine Peyniri	4.95	1.10	42.92	17.55	22.47	5.35	4.68	12.09	[41] ^b
	4.95	-	49.98	19.10	25.25	-	3.91	20.00	[64] ^a
	4.92	0.62*	48.91	-	25.07*	-	3.58*	-	[42] ^a
Edirne Beyaz Peyniri	4.88	1.05	39.42	13.97*	19.17*	-	7.34*	16.74	[65] ^b
	4.61	1.51	35.54	-	16.50	-	3.01	-	[66] ^b
	5.10	0.83	45.40*	17.10	23.50	4.10	2.98	28.66	[67] ^a
Erzurum Civil Peyniri	6.32	0.73*	40.35	32.20	0.30	7.83	6.14	-	[19] ^c
	5.47	0.78	36.58	22.49	0.25	-	4.68	6.86	[45] ^b
	4.53	2.39	35.19	32.40	2.30	-	-	9.11	[68] ^a
Erzurum Küflü Civil Peyniri	5.60	1.70*	65.00	35.00	6.00	-	5.00	30.00	[20] ^c
	6.51	0.77	48.18	36.95	3.45	5.68	5.13	15.29	[46] ^a
	6.48	0.72	46.97	36.55	1.72	-	7.21	-	[15] ^b
Diyarbakır Örgü Peyniri	-	1.11*	47.75	21.69	17.86	8.01	6.03	-	[21] ^c
	5.40	-	54.47	23.55	23.50	-	4.82	19.11	[64] ^a
	5.57	0.46	54.43	25.20	20.57	8.77	7.67	4.83	[69]
Kars Kaşarı	-	2.29	63.50	29.00	33.34	5.30	3.50	10.50	[22] ^{b,c}
	5.61	1.09	60.36	25.85	29.71	3.93	2.20	9.87	[70] ^{a,c}
Malkara Eski Kaşar Peyniri	-	-	60.00	-	45.00	-	3.50	-	[23]
Antep Sıkma Peyniri	6.50	1.75	60.20	20.30	23.30	-	9.90	-	[27] ^d
	6.50	-	50.00	17.50	19.00	-	1.00	-	[27] ^e
Van Otlı Peyniri	-	-	47.78	25.52	19.21	7.45	6.90	-	[26] ^c
	4.66	-	53.32	20.86	20.42	-	5.52	19.28	[64] ^a
	4.55	1.84	55.41	21.22	24.37	-	6.64	17.14	[56] ^a
	5.10	1.41	51.94	17.24	24.88	8.43	6.12	16.11	[55] ^f
Antakya Sürkü (Çökeleği)	4.40	1.77	37.40	22.00	7.40	4.70	3.50	-	[28]
	4.36	1.04	34.80	22.00	7.40	4.80	3.50	-	[29]
	5.81	1.44	49.82	26.43	14.66	-	5.36	31.70	[58] ^a
Antakya Küflü Sürkü	4.76	1.44	45.20	20.10	9.50	6.20	6.80	42.30	[29]
	4.94	1.14	44.32	19.02	8.99	7.96	8.35	52.91	[71] ^a

Tablo 2. Türkiye'nin Cİ ile tescillenmiş peynirlerinin bazı özellikleri (Devam)

Örnekler	pH	Asitlik (%LA)	KM (%)	Protein (%)	Yağ (%)	Kül (%)	Tuz (%)	OD (%)	R**
Manyas Kelle Peyniri	5.44	-	58.75	24.58	25.54	-	6.38	26.74	[64] ^a
	5.01	1.60*	54.50*	18.88	24.00	-	11.57	-	[72] ^b
	5.51	0.56	60.40	22.00	27.40	7.54	5.92	13.63*	[59] ^a
Bolu Keşi	3.90	0.25	65.00	35.00	6.50	15.0	15.0	-	[31] ^c
	3.90	1.35	67.05	36.59	8.78	11.11	5.20	-	[60] ^a
Kırklareli Beyaz Peyniri	4.66	1.77	50.20	18.38	28.60	2.46	5.59	-	[61] ^a
Antakya Carra Peyniri	5.63	0.85	53.43	24.86	18.87	-	8.84	21.24	[71] ^a
	5.20	-	58.70	-	26.80	-	7.80	-	[73] ^a
	6.56	0.32	65.35	14.76	13.87	-	4.49	7.42	[85] ^c
Gümüşhane Deleme Peyniri	4.30	-	55.00	18.00	5.6*	-	1.6*	-	[74] ^g
Pınarbaşı Uzunyayla Çerkes Peyniri	-	-	59.17	24.03	32.90	-	3.97	-	[75] ^c
Sakarya Abhaz (Abaza) Peyniri	-	-	62.79	23.27	34.90	-	4.00	-	[75] ^c
	-	-	65.0	27.0	25.0	-	-	-	[76] ^c
Vakfıkebir Külek Peyniri	≤5.3	1.5-3.0	40 ≥	27.5 ≥	10-45	-	10 ≤	-	[77]

LA: Laktik asit, KM: Kurumadde, OD: Olgunlaşma derecesi, *: İlgili çalışmada °SH ve/veya kurumadde üzerinden verilen değerlerden dönüştürülerek hesaplanmıştır. **R: Referanslar, a: Piyasa örneklerine ait ortalama değerler, -: analiz yapılmamış, b: Üretilen peynirlerin olgunlaşma sonuna ait ortalama değerler, c: İlgili çalışmada bildirilen en yüksek ortalama değerler, d: İlgili çalışmada bildirilen salamura peynir örneklerine ait en yüksek ortalama değerler, e: İlgili çalışmada bildirilen taze peynir örneklerine ait en yüksek ortalama değerler f: Piyasa örneklerine (salamura) ait ortalama değerler, g: İlgili çalışmada bildirilen olması gereken en az değerler

TÜRKİYE'DE COĞRAFİ İŞARET TESCİLİ ALMIŞ YURT DIŞI MENŞELİ PEYNİRLER

Hellim Peyniri

Hellim (Halloumi) peyniri, Kıbrıs'a ait geleneksel bir peynir olup, Kıbrıs başta olmak üzere Doğu Akdeniz ülkelerinde yaygın olarak üretilen yarı sert bir peynir çeşididir [80]. Peynir taze ve olgun olarak iki tipte pazarlanmaktadır. Taze Hellim, süte peynir mayası ilâvesiyle bölgeye özgü üretim metoduyla elde edilen, çift katlı, sarımsı beyaz renkli, kolay dilimlenebilir, yarı sert ve elastiki yapıdadır. Olgun Hellim ise taze Hellim peynirinin tuzlu peyniraltı salamurasında olgunlaştırılması ile elde edilen; çift katlı, sarımsı beyaz renkli, kolay dilimlenebilir, yarı sert ve sert yapıdadır. Hellim peynirinin ayırt edici özellikleri; üretiminde Kıbrıs'ın sahip olduğu zengin bitki örtüsüyle beslenen süt hayvanlarından elde edilen, çiğ veya pastörize koyun, keçi ve inek sütleri ile bunların karışımlarının kullanılması ve karakteristik üretim yönteminden kaynaklanmaktadır [33]. Hellim peynirine ait fotoğraf Şekil 1(25)'de verilmiştir.

Hellim peynirinin geleneksel üretim yönteminde; çiğ veya pastörize süt, 30-34°C'lerde %0.1 şirden mayasıyla 80 dakikada mayalanır. Oluşan pıhtı kesildikten sonra karıştırılarak 40°C'ye ısıtılır. Daha sonra uygun kalıplara aktarılarak baskıya alınır. Baskıdan alınan peynir 90°C'deki PAS içerisinde en az 30 dakika bekletilerek pişirilir. Pişirilen Hellimler isteğe bağlı olarak katlanır ve arasına tuz ile yaş veya kurutulmuş nane yaprakları konur. Katlanıp soğutulan Hellimler, tuzlu PAS içerisinde 1-3 gün bekletildikten sonra vakum ile

ambalajlanıp taze olarak tüketime sunulur. Olgun Hellim peyniri ise taze Hellim peynirinin salamurada olgunlaştırılmasıyla (15-20°C'lerde en az 40 gün) elde edilir [33]. Hellim peynirinde pH 5.30-6.02, asitlik %0.24-0.57, kurumadde %48.06-55.35, protein 19.01-23.66, yağ %19.59-25.43, kül %5.26-6.13, tuz %2.91-5.43 ve olgunlaşma derecesi %4.38-27.81 olarak belirlenmiştir (Tablo 3).

Parmesan Peyniri

Parmesan (Parmigiano Reggiano); İtalya'nın coğrafi sınırları belirlenmiş alanlarındaki meralarda beslenen ineklerden elde edilen ve kısmen yağı alınmış çiğ inek sütünden üretilen; pişirilmiş, yavaş yavaş olgunlaştırılmış, karakteristik tat ve aromaya sahip, sert yapıda bir peynirdir. Peynir (Şekil 1-19); fiziksel olarak hafif bombeli ve tekerlek görünümünde (çapı: 35-45 cm, kenar yüksekliği: 20-26, ağırlığı: 30 kg), saman sarısı renginde, 6 mm kabuk kalınlığına sahip ve gevrek yapıdadır. Parmesan peynirinin üretiminde inek sütü, şirden mayası ve tuzun dışında hiçbir yardımcı madde (starter kültür ve CaCl₂) kullanılmamaktadır. Oldukça uzun bir olgunlaştırma süresine sahip olan peynir, yılın her döneminde (Ocak-Nisan, Mayıs-Ağustos, Eylül-Aralık) üretilmekte ve en az 12 ay olgunlaştırıldıktan sonra farklı şekillerde (tekerlek, porsiyon ve rendelenmiş) tüketime sunulmaktadır (Şekil 1-26). Cİ tescil belgesinde Parmesan peynirinde; kurumaddenin en az %65, yağın en az %27 ve kabuk oranının ise en fazla %18 olması gerektiği belirtilmiştir [34]. Literatür verilerine göre bu peynirde; kurumadde %68.93-83.18, protein %31.88-35.41, yağ %29.39-37.0, kül %7.70, tuz %1.53 ve olgunlaşma derecesi %33.58'dir (Tablo 3).

Grana Padano Peyniri

Grana Padano; tüm yıl boyunca *Frisona italiana* ve *Bruna italiana* ırklarına ait ineklerden elde edilen çiğ süttten üretilen; pişirilmiş, yavaş yavaş olgunlaştırılmış, karakteristik tat ve aromaya sahip, sert yapılı bir peynirdir. Bu peynir (Şekil 1-27), fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından Parmesan peynirine çok benzemektedir olup, yağ oranı (en az %32) daha yüksek ve daha uzun bir raf ömrüne sahiptir. Olgunlaşma süresi

oldukça uzun olan bu peynirin (9-20 ay), olgunlaşma sürelerine göre farklı markalama biçimleri (9-16 ay olgunlaştırılanlar "GRANA PADANO G P"; 16-20 ay olgunlaştırılanlar "GRANA PADANO OLTRE 16 MESI"; 20 ay olgunlaştırılanlar "RISERVA") uygulanmaktadır [35]. Cİ tescil belgesinde Grana Padano peynirinin; ortalama %68 kurumadde, %29 yağ, %33.0 protein, %4.60 kül ve %1.5 tuz içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Türkiye'de Coğrafi İşaret Tescili almış Hellim, Parmesan ve Grana Padano peynirlerin bazı özellikleri

Örnekler	pH	Asitlik (%LA)	KM (%)	Protein (%)	Yağ (%)	Kül (%)	Tuz (%)	OD (%)	**R
Hellim peyniri	-	0.24	55.35*	23.66	25.19	5.26	2.91	4.38	[80] ^a
	5.91	-	54.35	22.81	25.43	6.11	3.40	-	[81] ^a
	5.30	0.57	48.06	19.01	19.59	6.13	5.43	27.81	[82] ^b
	6.02	-	52.33	22.96	23.00	-	3.60	2.69	[64] ^a
Parmesan peyniri	-	-	68.93	31.88	29.39	-	1.53	33.58	[83] ^a
	-	-	83.18	35.41	37.00	7.70	-	-	[84] ^a
Grana Padano peyniri	-	-	68.00	33.00	29.00	4.60	1.50	-	[35]

LA: Laktik asit, KM: Kurumadde, OD: Olgunlaşma derecesi, *: İlgili çalışmada bildirilen nem değeri üzerinden hesaplanmıştır. **R: Referanslar, -: analiz yapılmamış, ^a: Piyasa örneklerine ait ortalama değer, ^b: Olgunlaşma sonuna ait ortalama değerler.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Türkiye'de kayıt altına alınan 150'den fazla peynir çeşidi olmasına rağmen, yok olma tehlikesi ile karşı karşıya farklı özelliklere sahip çok sayıda peynir çeşidi bulunmaktadır. Bunların çoğu üretildiği yörede talebi karşılayacak miktarlarda üretilip/tüketilirken, bazıları ülke çapında bilinmekte ve ticari bir ürüne dönüştürülerek katma değer sağlamaktadır. Ülkemiz peynirlerinin farklı karakteristikleri dikkate alınarak sınıflandırılması, üretim teknolojilerinin geliştirilerek standardize edilmesi, daha fazla peynirin Cİ tescilinin alınması, özellik ve bileşimlerine ait düzenli ve güncellenebilir veri tabanı oluşturulması ve dünyaya tanıtılmaları gerekmektedir. Bu bağlamda, Erzincan'da yapılan Tulum Peyniri Çalıştayı ve Elazığ Peynir Çalıştayı, özellikle Erzincan Tulum peyniri olmak üzere, süt ürünleri ile ilgili önemli kararların alınmasına neden olmuş ve son zamanlarda kararlarla ilgili hareketliliğin arttığı görülmektedir. Ayrıca, daha çok araştırma yapılması, ulusal ve uluslararası platformlarda etkili pazarlama ve tanıtım faaliyetlerinin (festivaller, ikram tanıtımları, TV programları, kamu spotları, afişler, broşürler, davetler ve etkinlikler, geleneksel ürün tanıtımı ve satış stantlarının kurulması gibi) yapılması her platformda vurgulanmalıdır. Ülkemizde her geçen gün Cİ almış peynir sayısının artması umutları artırmaktadır. Ağustos 2021 itibarıyla Cİ başvurusu yapılmış 23 adet peynirimiz daha bulunmaktadır. Bunların Cİ alması, başvurusu yapılmamış peynir ve diğer geleneksel gıdalarımızın da Cİ sayısının artırılması ve tüm gıda sektöründe hareketliliğin sağlanması ülkemizin kalkınmasında önemli etkiye neden olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Karaca, O.B. (2016). Geleneksel peynirlerimizin gastronomi turizmindeki önemi. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 4(2), 17-39.




- [2] Albayrak, M., Güneş, E. (2010). Traditional foods: Interaction between local and global foods in Turkey. *African Journal Business Management*, 4, 555-561.
- [3] Ötleş, S., Özçelik, B., Göğüş, F., Erdoğan, F. (2016). Traditional Foods in Turkey: General and Consumer Aspects, Edition: 1, Chapter: 6, Publisher: Springer, Editors: Kristberg Kristbergsson, Jorge Oliveira, pp:85-98.
- [4] Saygılı, D., Demirci, H., Samav, U. (2020). Coğrafi işaretli Türkiye peynirleri. *Aydın Gastronomi*, 4(1), 11-21.
- [5] Tekelioğlu, Y. (2019). Coğrafi işaretler ve Türkiye uygulamaları. *Ufuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(15), 47-75.
- [6] Arslaner, A. (2019). Türkiye'de coğrafi işaret kavramı. *Hoca Ahmet Yesevi 2. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi: Aralık 6-8, 2019, Erzurum, Türkiye*, 231-235.
- [7] TÜRK PATENT, (2021). Türkiye'nin Dijital Cİ Platformu, Veritabanı ve İstatistik, <https://www.ci.gov.tr/veri-tabani> (Erişim Tarihi: 22.08.2021)
- [8] Çakmakçı, S. (2011). Türkiye Peynirleri (19. Bölüm: 585-614). In: *Peynir Biliminin Temelleri*. (Editörler: A.A. Hayaloğlu ve B. Özer), ISBN: 978-605-87976-1-1, SİDAS Medya Ltd. Şti., 643 s, İzmir.
- [9] Steele, J.L., Ünlü, G. (1992). Impact of lactic acid bacteria on cheese flavor development: Use of biotechnology to enhance food flavor. *Food Technology*, 46(11), 128-135.
- [10] Kamber, U., Terzi, G. (2008a). The traditional cheeses of Turkey: Southeast Anatolia region. *Food Reviews International*, 24(1), 62-73.
- [11] Anonim, (2021). Ulusal Süt Konseyi: Dünya ve Türkiye'de Süt Sektör İstatistikleri, 2019 Süt Raporu. Ankara.

- [12] Türkiye İstatistik Kurumu, (2019). Süt ve Süt Ürünleri Üretim İstatistikleri, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=85&locale=tr> (Erişim Tarihi: 04.02.2021)
- [13] Hayaloğlu, A.A., Fox, P.F., Güven, M., Çakmakçı, S. (2007a). Cheeses of Turkey: 1. Varieties ripened in goat-skin bags. *Lait*, 87, 79-95.
- [14] Cantürk, A., Çakmakçı, S. (2019). Erzurum çevresindeki peynir işletmelerinde kullanılan peynir mayalarının mikrobiyolojik, duyu ve teknolojik özellikleri. *Akademik Gıda*, 17(1), 30-37.
- [15] Çakmakçı, S., Hayaloğlu, A.A., Dağdemir, E., Cetin, B., Gürses, M., Tahmas-Kahyaoğlu, D. (2014). Effects of *Penicillium roqueforti* and whey cheese on gross composition, microbiology and proteolysis of mould-ripened Civil cheese during ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 67(4), 594-603.
- [16] TÜRK PATENT, (2000). Erzincan Tulum Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:30), <https://www.ci.gov.tr/>
- [17] TÜRK PATENT, (2006). Ezine Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:86), <https://www.ci.gov.tr/>
- [18] TÜRK PATENT, (2007). Edirne Beyaz Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:93), <https://www.ci.gov.tr/>
- [19] TÜRK PATENT, (2009a). Erzurum Civil Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:116), <https://www.ci.gov.tr/>
- [20] TÜRK PATENT, (2010a). Erzurum Küflü Civil Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:164), <https://www.ci.gov.tr/>
- [21] TÜRK PATENT, (2010b). Diyarbakır Örgü Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:170), <https://www.ci.gov.tr/>
- [22] TÜRK PATENT, (2014). Kars Kaşarının Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:190), <https://www.ci.gov.tr/>
- [23] TÜRK PATENT, (2017a). Malkara Eski Kaşar Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:261), <https://www.ci.gov.tr/>
- [24] TÜRK PATENT, (2017b). Yozgat Çanak Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:281), <https://www.ci.gov.tr/>
- [25] TÜRK PATENT, (2017c). Karaman Divle Obruğu Tulum Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:270), <https://www.ci.gov.tr/>
- [26] TÜRK PATENT, (2018a). Van Otlı Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:405), <https://www.ci.gov.tr/>
- [27] TÜRK PATENT, (2018b). Antep Sıkma Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:356), <https://www.ci.gov.tr/>
- [28] TÜRK PATENT, (2018c). Antakya Sürkü (Çökelek)'nün Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:330), <https://www.ci.gov.tr/>
- [29] TÜRK PATENT, (2018d). Antakya Küflü Sürkünün Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:359), <https://www.ci.gov.tr/>
- [30] TÜRK PATENT, (2020a). Manyas Kelle Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:628), <https://www.ci.gov.tr/>
- [31] TÜRK PATENT, (2020b). Bolu Keşi'nin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:542), <https://www.ci.gov.tr/>
- [32] TÜRK PATENT, (2020c). Kırklareli Beyaz Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:636), <https://www.ci.gov.tr/>
- [33] TÜRK PATENT, (2009b). Hellim Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:133), <https://www.ci.gov.tr/>
- [34] TÜRK PATENT, (2017d). Parmesan Peynirinin Coğrafi İşaret Tescil Belgesi (Tescil No:240), <https://www.ci.gov.tr/>
- [35] TÜRK PATENT, (2018e). Grana Padano Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:336), <https://www.ci.gov.tr/>
- [36] Çakmakçı, S. (2016a). Erzincan Tulum peyniri üretim teknolojisi ve özellikleri. *Uluslararası Erzincan Sempozyumu: Cilt 3, Eylül 28-Ekim 1, 2016. Erzincan, Türkiye*, 836-842.
- [37] Çakır, Y., Çakmakçı, S. (2018). Some microbiological, physicochemical and ripening properties of Erzincan Tulum cheese produced with added black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 55(4), 1435-1443.
- [38] Arslaner, A., Bakırcı, İ. (2016a). Farklı ambalaj materyallerinde olgunlaştırılan tulum peynirlerinde proteoliz. *Uluslararası Erzincan Sempozyumu: Cilt 3, Eylül 28-Ekim 1, 2016. Erzincan, Türkiye*, 815-824.
- [39] Hayaloğlu, A.A., Çakmakçı, S., Brechany, E.Y., Deegan, K.C., McSweeney, P.L.H. (2007b). Microbiology, biochemistry, and volatile composition of Tulum Cheese ripened in goats skin or plastic bags. *Journal of Dairy Science*, 90(3), 1102-1121.
- [40] Çakmakçı, S. (2016b). Tulum Peyniri Çalıştayı, 16-17 Mart 2016, Erzincan.
- [41] Özsoy, N. (2012). Isıl İşlemin Ezine Peynirinin Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- [42] Uymaz, B., Akçelik, N., Yüksel, Z. (2019). Physicochemical and microbiological characterization of protected designation of origin Ezine cheese: Assessment of non-starter lactic acid bacterial diversity with antimicrobial activity. *Food Science of Animal Resources*, 39(5), 804-819.
- [43] Karagül Yüceer, Y., Tuncel, B., Guner, O., Engin, B., İslen, M., Yasar, K., Menderes, M. (2009). Characterization of aroma-active compounds, sensory properties, and proteolysis in Ezine cheese. *Journal of Dairy Science*, 92(9), 4146-4157.
- [44] Arslaner, A., Salık, M.A. (2020). Bayburt Civil peynirinin bazı kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri ile mineral ve ağır metal içerikleri. *Gıda*, 45(3), 433-447.
- [45] Cambaztepe, F., Çakmakçı, S., Dağdemir, E. (2009). Effect of some technological parameters on microbiological, chemical and sensory qualities of Civil cheese during ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 62(4), 541-548.
- [46] Çakmakçı, S., Gündoğdu E., Hayaloğlu A.A., Dağdemir, E., Gürses, M., Çetin, B., Tahmas-

- Kahyaoğlu D. (2012). Chemical and microbiological status and volatile profiles of mouldy Civil cheese, a Turkish mould-ripened variety. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(11), 2405-2412.
- [47] Çakmakçı, S., Gürses, M., Hayaloğlu, A.A., Çetin, B., Şekerci, P., Dağdemir, E. (2015). Mycotoxin production capability of *Penicillium roqueforti* strains isolated from mould-ripened traditional Turkish Civil cheese. *Food Additives and Contaminants: Part A*, 32(2), 245-249.
- [48] Hayaloğlu, A.A., Ozer, B.H., Fox, P.F. (2008). Cheeses of Turkey: 2. Varieties ripened under brine. *Dairy Science and Technology*, 88(2), 225-244.
- [49] Kamber, U. (2008b). The traditional cheeses of Turkey: Cheeses common to all regions. *Food Reviews International*, 24(1), 1-38.
- [50] Akyüz, N., Gülümser (Çakmakçı), S. (1984). Yozgat Çanak peynirinin yapılışı, bileşimi ve olgunlaştırılması. *Gıda*, 9(4), 231-238.
- [51] Çakmakçı, S., Çakır, Y. (2012). Erzincan Tulum (Şavak) peyniri ve benzeri peynirlerimiz. 3. *Geleneksel Gıdalar Sempozyumu: Mayıs 10-12, 2012, Konya, Türkiye*.
- [52] Kamber, U., Terzi, G. (2008c). The traditional cheeses of Turkey: Central Anatolian region. *Food Reviews International*, 24(1), 74-94.
- [53] Morul, F., İşleyici, Ö. (2012). Tulum peynirinin kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 23(2), 71-76.
- [54] Coşkun, H., Bakırcı, İ., Işık, Ş. (1996). A study on the determination of herb-addition rate in Van herby cheese. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(4), 97-103.
- [55] Kara, S., Köse, Ş. (2020). Geleneksel yöntemle üretilen otlu peynirlerin bazı kalite özelliklerinin ve biyoaktivitesinin belirlenmesi. *Gıda*, 45(5), 942-953.
- [56] Tarakçı, Z., Coşkun, H., Tunçtürk, Y. (2004). Some properties of fresh and ripened herby cheese, a traditional variety produced in Turkey. *Food Technology Biotechnology*, 42(1), 47-50.
- [57] Hayaloğlu, A.A., Fox, P.F. (2008). Cheeses of Turkey: 3. Varieties containing herbs or spices. *Dairy Science and Technology*, 88, 245-256.
- [58] Durmaz, H., Tarakçı, Z., Sağun, E., Aygün, O. (2004). Sürk'ün kimyasal ve duyuşsal nitelikleri. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 18(2), 85-90.
- [59] Aday, S., Karagül Yüceer, Y. (2014). Physicochemical and sensory properties of Mihalic cheese. *International Journal of Food Properties*, 17(10), 2207-2227.
- [60] Coşkun, H., Sarıca, E., Büyüktanır, B., Baş, N., Tanrıku, E., Bıçak, K.N., Güzel, C., Emecen, B. (2020). Some characteristics of "Katık Keş" a traditional Turkish dairy product. *Gıda*, 45(3), 564-571.
- [61] Aşkın, B. (2020). Some properties of Kırklareli ripened white cheese. *Milk Science International*, 73(3), 16-22.
- [62] Arslaner, A., Bakırcı, İ. (2016b). Effect of milk type, pasteurization and packaging materials on some physicochemical properties and free fatty acid profiles of Tulum cheese. *Akademik Gıda*, 14(2), 98-104.
- [63] Çakır, Y., Çakmakçı, S. (2020). Comparison of some quality properties of Erzincan Tulum cheeses produced from raw and pasteurized Akkaraman sheep milk. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(4), 972-982.
- [64] Hayaloğlu, A.A., Karabulut, İ. (2013). Primary and secondary proteolysis in eleven Turkish cheese varieties. *International Journal of Food Properties*, 16(8), 1663-1675.
- [65] Öner, Z., Karahan, A.G. (2006). Changes in the microbiological and chemical characteristics of an artisanal Turkish white cheese during ripening. *LWT-Food Science and Technology*, 39(5), 449-454.
- [66] Aydemir, O. (2018). Proteolysis and lipolysis of white-brined (Beyaz) cheese during storage: Effect of milk pasteurization temperature. *Journal of Food Processing Preservation*, 42(5), 1-6.
- [67] Salum, P., Govce, G., Kendirci, P., Bas, D., Erbay, Z. (2018). Composition, proteolysis, lipolysis, volatile compound profile and sensory characteristics of ripened white cheeses manufactured in different geographical regions of Turkey. *International Dairy Journal*, 87, 26-36.
- [68] Yıldız, F., Yetişemiyen, A., Şenel, E., Durlu Özkaya, F., Öztekin, Ş., Şanlı, E. (2010). Some properties of Civil cheese: A type of traditional Turkish cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 63(4), 575-580.
- [69] Hatipoğlu, A. (2014). Geleneksel Diyarbakır Örgü Peynirinin Karakteristik Özelliklerinin Tespit Edilmesi ve Gıda Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. Doktora Tezi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- [70] Koboyeva, F. (2018). Dağ ve Ova İşletmelerinde Farklı Mevsimlerde Üretilen Taze Kars Kaşarlarının Bazı Kalite Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [71] Güler, M.B. (1994). Hatay Yöresi Sürk (Küflü Çökelek) ve Carra (Testi) Peynirlerinin Üretimi, Özellikleri ve Standardizasyon Olanakları Üzerine Bazı Araştırmalar. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [72] Bulut Solak, B., Akın, N. (2013). Determination of some properties of traditional Mihalic cheese made from raw and pasteurized cow's milk during ripening period. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 13, 1180-1185.
- [73] TÜRKPATENT, (2021a). Antakya Carra Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:679), <https://www.ci.gov.tr/>
- [74] TÜRKPATENT, (2021b). Gümüşhane Deleme Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:694), <https://www.ci.gov.tr/>
- [75] TÜRKPATENT, (2021c). Pınarbaşı Uzunyayla Çerkes Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:724), <https://www.ci.gov.tr/>

- [76] TÜRKPATENT, (2021d). Sakarya Abhaz (Abaza) Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:746), <https://www.ci.gov.tr/>
- [77] TÜRKPATENT, (2021e). Vakfıkebir Külek Peynirinin Cİ Tescil Belgesi (Tescil No:764), <https://www.ci.gov.tr/>
- [78] TÜRKPATENT, (2021f). Maraş Parmak/Sıkma Peyniri Cİ Portalı, <https://ci.turkpatent.gov.tr/cografisaretler/detay/38218> (Erişim Tarihi: 22.08.2021).
- [79] TÜRKPATENT, (2021g). Şanlıurfa Peyniri Cİ Portalı, <https://ci.turkpatent.gov.tr/cografisaretler/detay/38631> (Erişim Tarihi: 22.08.2021).
- [80] Erbay, Z., Koca, N., Üçüncü, M. (2010). Hellim peynirinin bileşimi ile renk ve dokusal özellikleri arasındaki ilişkiler. *Gıda*, 35(5), 347-353.
- [81] Ergönül, B., Günç Ergönül, P., Seçkin, A.K. (2011). Chemical and textural attributes of Hellim (Halloumi) cheese marketed in Turkey. *Mljekarstvo*, 61(2), 168-174.
- [82] Milci, S.,Goncu, A., Alpkent, Z., Yaygın, H. (2005). Chemical, microbiological and sensory characterization of Halloumi cheese produced from ovine, caprine and bovine milk. *International Dairy Journal*, 15(6-9), 625-630.
- [83] Careri, M., Spagnoli, S., Panari, G., Zannoni, M., Barbieri, G. (1996). Chemical parameters of the non-volatile fraction of ripened Parmigiano-Reggiano cheese. *International Dairy Journal*, 6(2), 147-155.
- [84] Gomes, F.D., Alves, A., Pimentel, T.C., Klososki, S.J. (2015). Chemical composition in Parmesan cheese marketed in Paranavaí-Paraná. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, 70(4), 185-191.
- [85] Aygün, O., Aslantaş, Ö., Öner, S. (2005). A survey on the microbiological quality of Carra, a traditional Turkish cheese. *Journal of Food Engineering*, 66, 401-404.
- [86] Anonim (2021). Carra Peynirine ait görsel, <https://www.ntv.com.tr/yasam/hatayin-antakya-carra-peyniri-tescillendi,50QoLC8hLk2t-qEC5Lcg9w> (Erişim Tarihi: 22.08.2021).
- [87] TÜRKPATENT, (2021h). Cİ ve Geleneksel Ürün Adı Amblemleri, <https://ci.turkpatent.gov.tr/sayfa/co%C4%9Frafii%C5%9Faret-nedir> (Erişim Tarihi: 22.08.2021).

Natürel Zeytinyağında Etil Alkol ve Etil Ester Oluşumu ile Tespit Yöntemleri

Ümmühan Tibet¹  ✉, Pelin Günç Ergönül² , Fahri Yemişçioğlu³ 

¹Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa

²Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Manisa

³Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 19.08.2020, Kabul Tarihi (Accepted): 19.09.2021

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): ummuhan.tibet@uzzk.org (U. Tibet)

☎ 0 232 486 1193 📠 0 232 486 1194

ÖZ

Natürel sızma zeytinyağı, dünyada olduğu gibi ülkemizde de en çok aranan ve ilgi duyulan gıdalardan birisidir. Bu sebeple de en fazla hile yapılan yağlar arasında yer almaktadır. Natürel sızma zeytinyağında "kolon yağı" olarak ifade edilen işlem görmüş zeytinyağı karışımını tespit etmek için yağ asidi etil esterlerin (FAEE) analizinin yapılması gerekmektedir. Ancak etil esterler sadece kolon yağı taşıyıcı ile yükselmeyip fermentatif bozulma olduğunda, depolama sürecinde ya da diğer kalite kriterlerinde düşme olduğunda limit üzerine çıkabilmektedir. Son yıllarda, etil esterlerin oluşum mekanizmaları incelenerek tarladan sofraya etil ester seviyesinin hangi koşullarda yükseldiğini araştıran birçok makale yayınlanmıştır. Bu çalışmada, etil esterlerin oluşum mekanizması, etil alkolün zeytinyağında esterleşmesini tetikleyen faktörler irdelenmiş ve tespit yöntemleri üstünde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alkil esterler, Etil ester, Etil alkol, Natürel sızma zeytinyağı

Formation of Ethyl Alcohol and Ethyl Esters in Virgin Olive Oil and Their Detection Methods

ABSTRACT

Extra virgin olive oil is one of the most demanded foods in our country as well as in the world. It is among oils, which is mostly adulterated due to its high demand. For this reason, it is one of the most adulterated oils. Analysis of fatty acid ethyl esters must be carried out in order to detect the processed olive oil mixtures, which is expressed as "mild deodorization oil" in extra virgin olive oil. Ethyl esters not only can reach the limit by mild deodorization of olive oil, but also can rise with fermentative deterioration or with esterify during storage. In recent years, many articles have been published, studying the conditions under which ethyl esters rise from field to table, by examining the formation mechanism of ethyl esters. In this review article, the formation mechanism of ethyl esters and the factors triggering the esterification of ethyl alcohol in olive oil were presented.

Keywords: Alkyl esters, Ethyl ester, Ethyl alcohol, Extra virgin olive oil

GİRİŞ

Zeytin (*Olea europaea L.*) gıda endüstrisinde, sofralık zeytin ve zeytinyağı olmak üzere iki temel gıdanın üretimini sağlayan, Akdeniz havzasında çok büyük öneme sahip bir ağaçtır. Zeytinyağının yapısında bulunan

kimyasal, fiziksel ve duyuşsal özellikleri veren bileşikler, sabunlaşan ve sabunlaşmayan kısımlarda yer almaktadırlar. Sabunlaşabilen triağılgliceroller, zeytinyağının ağırlıkça %98'ini temsil eder ve tekli doymamış yağ asitleri bakımından da zengindir. Son yılların yükselen trendi Akdeniz Diyetinde yağ ihtiyacının

%85'i oleik asit bakımından zengin olan zeytinyağı tarafından karşılanmaktadır [1, 2]. Zeytinyağı ve sağlık konusunda yapılan çok sayıda bilimsel çalışmada, günlük beslenme rejiminde doymuş yağ asitlerinin, tekli doymamış yağ asitlerine zengin zeytinyağı ile yer değiştirmesi ile kalp hastalıkları riskinde önemli azalma olduğu görülmüştür [3, 4].

Zeytinyağı sadece tekli doymamış yağ asitleri ile değil, aynı zamanda içerdiği diğer minör bileşenlerle de çok önemli biyolojik faydalar sağlamaktadır. Zeytinyağının biyolojik aktif minör bileşenleri sabunlaşmayan maddeler kısmındadır ve diğer bitkisel yağlardan farklı olarak sabunlaşmayan maddeler bol miktarda skualen içermektedir [5]. Skualen, altı izopren biriminden meydana gelmiş çoklu doymamış bir triterpendir. Zeytinyağında yaklaşık 600-1200 mg/kg arasında değişen konsantrasyonlarda bulunan skualen, kolesterol ile steroid hormonlarının biyosentezinin öncüsüdür [6].

Zeytinyağının kalitesi başta tarımsal koşullar ve zeytin sıkma işlemleri olmak üzere meyvenin sağlamlığı, olgunluk derecesi, hasat ve hasat sonrası koşullar ile zeytinden zeytinyağının elde edilmesi ve depolama sürecinden büyük ölçüde etkilenmektedir [7, 8].

Zeytin ağacı meyvesinden, doğal özelliklerinde hiçbir değişikliğe neden olmayacak bir ısı ortamında doğrudan kırma, yoğurma ve santrifüjleme yolu ile elde edilen natürel zeytinyağı sınıflarından en üstün özellikleri taşıyan grup natürel sızma zeytinyağıdır. Bir meyve suyu gibi algılayabileceğimiz natürel zeytinyağının, tüketici tarafından tercih edilmesi ve yüksek fiyatlarla marketlerde yer alması nedeniyle, kalitesinin ve özgünlüğünün saptanmasında kullanılan kalite ve saflık kriterleri çok büyük önem arz etmektedir [9]. Günümüzde zeytinyağının kalitesinin ve saflığının korunması, ulusal ve uluslararası zeytinyağı mevzuatında yer alan kalite ve saflık kriterlerini belirlemek için uygulanan analitik yöntemler ve güncel düzenlemelerle sağlanmaktadır [10, 11].

Zeytinyağının popülaritesi onun diğer bitkisel yağlarla arasındaki fiyat aralığının açılmasına neden olmaktadır. Bu durum natürel sızma zeytinyağının hem kendi ürün grubu ile hem de diğer bitkisel yağlarla taşımasına neden olmaktadır. Daha yüksek kâr marjı elde etmek amacıyla da fiyatı daha ucuz diğer bitkisel yağlarla karıştırmak cazip hale gelmektedir [12]. Natürel sızma zeytinyağının kalitesinin düşük ya da taşıması olup olmadığı ultraviyole ışığında özgül soğurma, sterol kompozisyonu, gerçek ve teorik ECN 42 trigliserid içeriği arasındaki maksimum fark, stigmastadien ve FAEE analizleri gibi kalite ve saflık kriterleri ile saptanmaktadır.

Natürel zeytinyağında bulunan FAEE, son on yılda gerek bilimsel kamuoyunda gerekse mevzuat açısından irdelenen temel konuların başında gelmektedir. Etil esterleri "off flavour" olarak nitelendirilen olumsuz kalite özellikleri ile birlikte artış gösterebildiklerinden zeytinyağının duyuşal değerlendirilmesinde önemli bir kriter olarak ele alınmıştır. Bu nedenle etil ester miktarının artması, kalite özelliklerinin olumsuz sürece evrildiklerini göstermektedir [13, 14].

Ulusal ve uluslararası mevzuatlarda, natürel sızma zeytinyağına ısı işlem veya kimyasal işlem yapılamayacağı, sıkma sürecine yardımcı enzim, talk gibi maddeler de dahil katkı maddeleri konulamayacağı açıkça ifade edilmektedir [10,11,15]. Kolon zeytinyağı taşıması de bu kategoride değerlendirilir. Natürel zeytinyağının olumsuz duyuşal özelliklerini maskeleyen, asitlik ve peroksit gibi kalite kriterlerinin değerlerini düşürmek amacıyla düşük sıcaklıkta kısmi deodorizasyon işlemini gerektirmektedir [16,17,18]. Bu taşımanın tespiti için, etil ester miktarının tayini ulusal ve uluslararası mevzuatlara girmiş ve zeytinyağı sektörünün kullanımına sunulmuştur.

Alkil esterlerin meydana gelmesinde; meyvenin oluşumundan zeytinyağının depolama koşullarına kadar tüm sürecin nasıl etkilendiği, duyuşal özellikler ile alkil esterler arasında bir ilişki olup olmadığı, meyvede oluşan etil alkol miktarının bu mekanizmaya etkisi ile ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [19, 20, 21, 22]. Zeytinin çeşidi, olgunluk durumu, zeytin sıkım sisteminde kırıcının çalışma şekli, iki faz ya da üç faz dekantör kullanımı, üç faz sistemde birim kg zeytin başına kullanılan su miktarı, santrifüj seperatör kullanılıp kullanılmaması ve depolama koşulları FAEE miktarını etkileyen faktörlerdir [23].

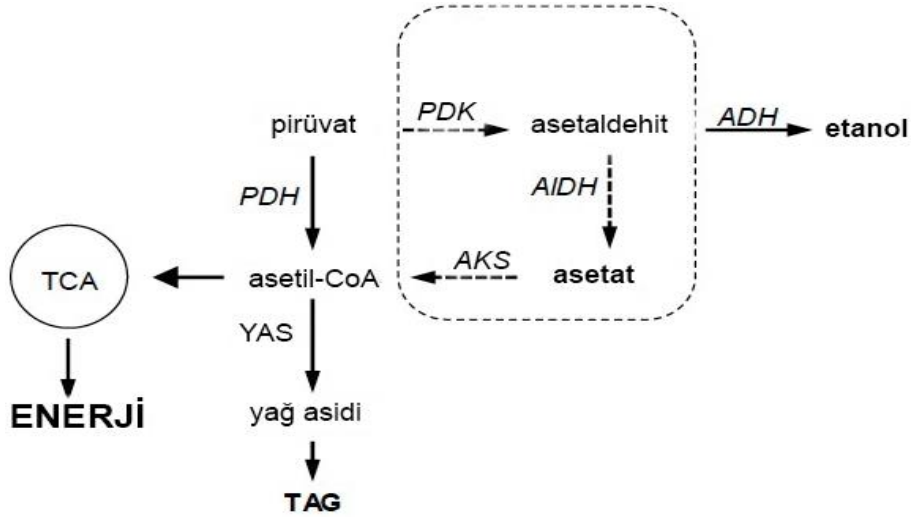
Özetle, Uluslararası Zeytin Konseyi (IOC) standartlarına göre, yağ asitleri etil esterleri hem kalite kriteri hem de saflık kriteridir [46]. Bu sebeple, dünyada ve ülkemizde etil ester miktarının yasal limitlerin üstünde bulunması hem kalite problemi hem de saflık problemi olarak değerlendirilmektedir. Bu durumun açıklığa kavuşturabilmesi amacıyla natürel zeytinyağlarında etil ester miktarının oluşumunu ve özellikle raf ömrü boyunca değişimini takip etmek büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde Zeytincilik Araştırma Enstitüsü tarafından tescilli alınmış 93 adet yerel zeytin çeşidi bulunmaktadır. Bu çeşitlerden yaygın olarak yetiştirilen ve ekonomik önemi olan Ayvalık, Memecik, Gemlik gibi ana çeşitler ile yine sınırlı üretimi olan Domat, Uslu, Erkence, Sarı Ulak, Kilis yağlık, Saurani gibi çeşitlerin etil ester seviyeleri konusunda sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır [24].

Bu derlemenin amacı, etil esterlerin oluşum mekanizmasına dikkat çekmek, etil esteri oluşumu üzerine kısmi gliserid ve etanol varlığının etkisini araştırmak ve bu konuda ticari öneme sahip Türk zeytinyağı çeşitlerinde yapılacak olan çalışmalara ışık tutmaktır.

ETİL ALKOL/ETİL ESTERLERİ OLUŞUM MEKANİZMASI

Zeytin meyvesi, tüm meyveyi saran dış kısmı ekzokarp, yenilebilir etli kısım olan mezokarp ve çekirdek kısmı olan endokarptan oluşan sert çekirdekli bir meyvedir. Şeftali, kayısı, kiraz ve erik gibi diğer sert çekirdekli meyvelerin aksine işlem görmeden, acılığı veren oleuropein gibi sekoroididler gidermeden, direkt olarak tüketilemez. Birçok zeytin çeşidinde etanolün zeytin meyvesinde bulunan doğal bir bileşen olduğu ve zeytin sıkım işlemleri esnasında zeytinyağına geçtiği gözlemlenmiş, yağ asidi etil esteri oluşum mekanizmasında etkili olduğu rapor edilmiştir [21, 25, 26].



Şekil 1. Yağ asidi biyosentezi öncüsü Asetil koenzim A üretiminde biyokimyasal mekanizma [26] (Pirüvat dekarboksilaz PDK, Alkol dehidrogenaz ADH, Triasilgiserol TAG, Pirüvatdehidrogenaz PDH, Trikarboksilik asit TAC, Asetilkoenzim sentezi AKS, Aldehitdehidrogenaz AIDH, Yağ asidi sentezi YAS.)

Figure 1. Biochemical mechanism in the production of Acetyl coenzyme A, the precursor of fatty acid biosynthesis [26] (Pyruvate decarboxylase PDK, Alcohol dehydrogenase ADH, Triacylglycerol TAG, Pyruvate dehydrogenase PDH, Tricarboxylic acid TAC, Acetylcoenzyme synthesis AKS, Aldehyde dehydrogenase AIDH, Fatty acid synthesis YAS).

Etanol, pirüvat dekarboksilaz (PDK) ve alkol dehidrogenaz (ADH) enzimlerinin ardışık etkisiyle pirüvattan üretilir (Şekil 1). Bitkide bu bileşiğin bulunması, dokulardaki oksijenin mevcudiyetinde bir azalma ile ilişkili olmak zorunda değildir, çünkü bu yol bitki fizyolojisinde farklı anahtar roller oynayan aerobik koşullar altında (aerobik fermentasyon) çalışabilmektedir [26].

Aksine meyve dokusunda etanol miktarının artması, soğuk, kuraklık veya yüksek karbondioksit (CO₂) konsantrasyonu gibi çevresel şartlar, ADH gen etkisi ve PDK' nin indüksiyonu nedeniyle meydana gelmektedir [27, 28, 26].

Zeytinde etanol oluşumunun sadece hasat sonrası bekleme ve zeytin sıkımı sırasında fermentasyonla oluştuğu bazı İtalyan Araştırmacılar tarafından rapor edilmektedir [29]. Halbuki zeytin meyvesinin olgunlaşması sırasında asetil-CoA blok etkisi ile büyük miktarda triasilgiserol oluşmaktadır. Ancak asetil-CoA, enzimatik kompleks dehidrogenaz (PDH) aktivitesi ile pirüvattan sentezlenmekte ve zeytin meyvesindeki bu sentezlenme PDH'nin inaktive edilmesiyle asetate tarafından gerçekleştirilmektedir [26, 30]. Bu mekanizmada, Şekil 1'de gösterildiği gibi pirüvat daha önce fotosentetik dokularda meydana gelmekte, PDK ve aldehit dehidrogenazın ardışık etkisi ile asetata dönüştürülmektedir. Bu modele göre, ADH aktivitesi, etanole dönüşerek hücreyi sitotoksik aldehitin aşırı birikiminden korumak için bir emniyet valfi olarak işlev görmektedir [26].

FAEE, başlangıçta natürel birinci veya kolon zeytinyağı gibi düşük kaliteli zeytinyağı taşıyıcısının tespit edilmesi için bir saflık kriteri olarak kabul edilirken sonraları yağ asitleri etil esterlerinin yalnızca böyle bir işlemde kaynaklanmadığı, düşük kaliteli natürel zeytinyağlarında da buldukları tespit edilmiştir [31, 32].

Zeytin meyvesindeki FAEE ile fermentatif bozulma sonucu oluşan duyu kusurları arasında bir ilişkinin var olduğu 2017 yılında yapılan bir çalışmada gösterilmiştir [19]. Etanolün sadece fermentasyon sonucu oluşmadığı, sağlam zeytin meyvelerinde de olgunlaşma süresince etanolün arttığı tespit edilmiştir [21]. Bu aşamada sorulması gereken soru, yağda bulunan etanolün ne kadarının zeytin meyvesinde oluşan fizyolojik reaksiyonlardan meydana geldiği ve ne kadarının fermentatif süreçlerden kaynaklandığıdır. Etanol miktarının yağ asidi etil ester sentezi için bir kaynak olduğu göz önüne alınarak, natürel sızma zeytinyağında etanol miktarının limiti konusunda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir [29].

ETİL ALKOL ve ETİL ESTERLERİN OLUŞUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

FAEE 'inin oluşumunu etkileyen faktörler konusunda yapılan çalışmalara göre, zeytinin çeşidi, olgunluk seviyesi, zeytin sıkım tesisinde bekletildiği kabın hacmi ve bekleme süresi, kırıcının hızı, zeytin sıkım tesisinin iki faz veya üç faz çalışıyor olması, üç faz sistemlerde zeytin hamuruna ilave edilen su miktarı, dekantöre ilave edilen su miktarı, dikey santrifüj ya da dekantasyonla filtrasyon yapılması, depolama sıcaklığı, süresi, tankın tam dolu olup olmaması gibi birçok faktöre bağlı olarak zeytinyağının yağ asidi etil esteri seviyesi farklılık gösterebilmektedir [23, 33, 34]. Zeytin meyvesinin kalitesine bağlı olarak fermentasyon sürecinde oluşan metanol ve etanolün trans esterifikasyonu ile FAEE meydana gelebilmektedir [35]. Zeytinyağındaki etanol miktarı zeytinin olgunluk derecesine bağlı olarak değişmekte ve iki fazlı sistemlerden elde edilen zeytinyağında etanol daha yüksek bulunmaktadır [23].

Yapılan bir çalışmada, dekantörden dikey santrifüje giren zeytinyağının alkil esterlerinin arttığı saptanmıştır. Dikey santrifüjde kullanılan su miktarının her % birim

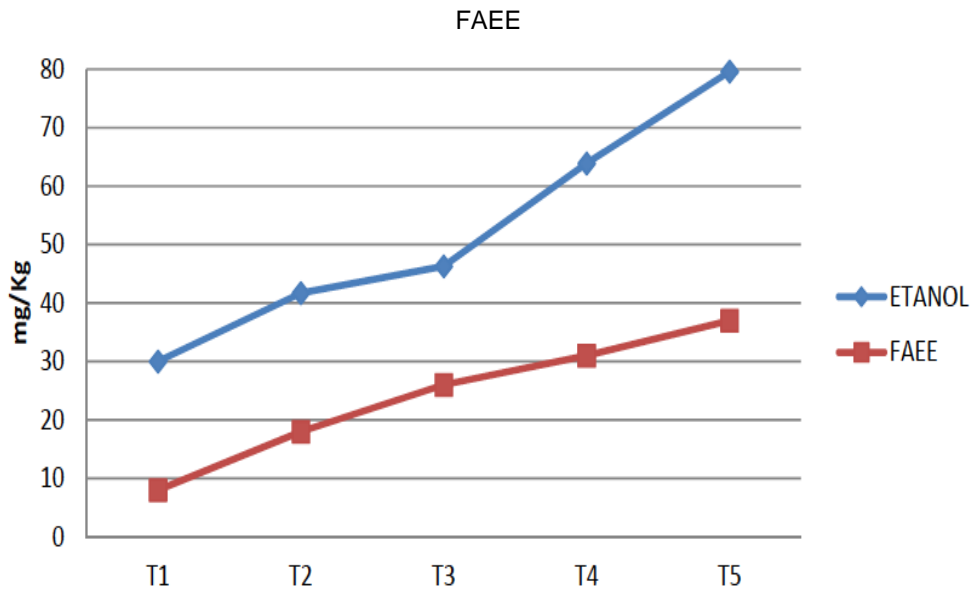
azalmasına karşın etil ester miktarının da 0.6 mg/kg ve 0.8 mg/kg'a kadar azaldığı görülmüştür [36].

İspanyol zeytinyağlarında 100'den fazla farklı kalite sınıfında, çeşidinde ve coğrafi bölgelere ait örneklerde yapılan bir çalışmada, yağ asidi etil ester seviyesinin coğrafi işaretli ürünlerin ayırt edici bir fonksiyonu, kalite kriteri ve natürel sızma zeytinyağına düşük kaliteli natürel zeytinyağı ya da kolon yağı karışımı tespit aracı olarak kullanılabilceği vurgulanmıştır [37]. Metanol ve etanol gibi küçük moleküllü alkoller ile serbest yağ asitlerinin esterleşmesi ile üretilen bu doğal lipit ailesi zeytinyağının çok önemli kalite ve saflık kriteri olarak tanımlanmaktadır.

Natürel sızma zeytinyağlarında etanol seviyesini belirlemek amacıyla yapılan başka bir çalışmada, Cordoba'daki Dünya Zeytin Koleksiyonunda bulunan IFAPA Merkezinde 97 farklı varyetede zeytin meyvesi

incelenmiştir [20]. Bu tarama çalışmasında 2009-2012 hasat dönemlerinde, 3 farklı olgunluk indeksi (1.0; 2.5 ve 5.0) seviyesinde olgunluk ile ADH aktivitesi arasındaki ilişki gözlemlenmiştir. Cordoba zeytin bahçesinde yetişen sağlam ve sağlıklı dane zeytinler elle toplanarak soğuk ortamda hızla taşınmış ve bekletilmeden zeytin sıkım işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda, etanolün, natürel sızma zeytinyağının etil esterlerinin oluşumunda gerekli bir bileşen olduğu, konsantrasyonun, zeytinin varyetesi, iklim koşulları ve meyvenin olgunluk durumuna bağlı olarak değiştiği rapor edilmektedir.

Natürel zeytinyağında etanolün yaygın olarak bulunması, zeytin meyvesinde doğal olarak bulunan ve zeytinin olgunlaşma periyodunda sentezlendiği, hasattan sonra da depolandığı sırada oluşan etanolün, zeytin sıkım işlemi sırasında yağa geçtiği hipotezi doğrulanmaktadır [21, 27, 31].

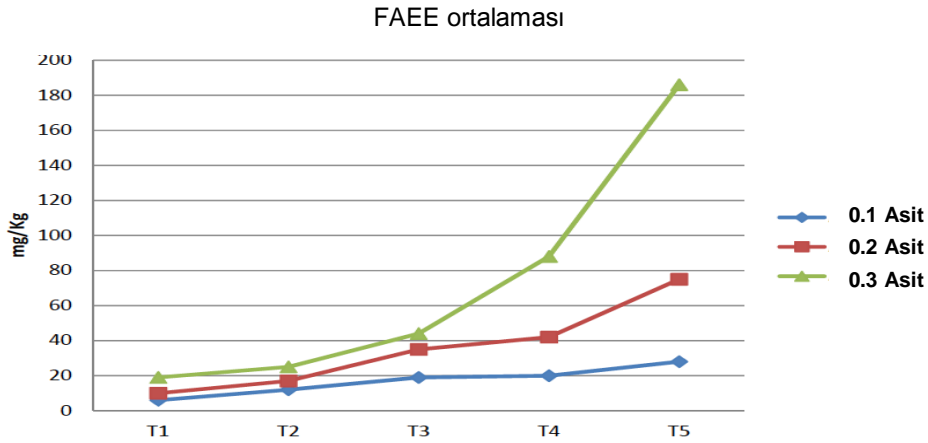


Şekil 2. Etanol ile FAEE'lerin değerlendirilmesi [40]

Figure 2. Evaluation of FFAEs with ethanol [40]

Natürel zeytinyağının depolanması sırasında FAEE 'in kimyasal sentezlenmesi için etanol ve metanol kaynak oluşturduğundan zeytinyağında bu kısa zincirli alkollerin bulunması önemli bir probleme neden olmaktadır [14]. Depolama aşamasında, başlangıçtan itibaren (T1), her iki ayda bir (T2, T3, T4, T5) numune alınarak toplam 8 ay numune alınmış ve zeytinyağının serbest yağ asitleri ile etanol içeriği ortam sıcaklığına ve süreye bağlı olarak esterleşme reaksiyonu ile FAEE 'inin artmasına neden olduğu saptanmıştır [38, 39]. Kontrollü sıcaklık koşulları altında depolanan (yaklaşık 20°C) zeytinyağında TAG

hidrolizinin azaldığı, serbest yağ asitliğindeki değişim gözlemlenerek tespit edilmiştir [31]. Ortam sıcaklığının düşük olması, ayrıca ortamda bulunması muhtemel metil ve etil alkolün esterleşmesi için ihtiyacı olan aktivasyon enerjisine ulaşmasını önleyeceğinden, depolama sıcaklığı ve süresi son derece önemlidir [21]. FAEE 'inin tankta depolama süresince değişimi Şekil 2'de görülmektedir. Buna göre etil alkoldeki artış trendinin etil esterlere göre daha fazla olduğu dikkat çekmektedir.



Şekil 3. Serbest yağ asitliği ile FAEE 'lerin değerlendirilmesi [40]
Figure 3. Evaluation of free fatty acidity and FAEEs [40]

İtalyan zeytinyağlarının yağ asidi alkil esterleri ve özellikle FAEE ile serbest yağ asitliği arasında direkt bir korelasyon olduğu ortaya konulmuştur [38]. Serbest yağ asitliği yükseldikçe depolama sürecinde, yağ asitleri etil esterlerinin daha hızlı arttığı Şekil 3'de görülmektedir [40]

Zeytin meyvesindeki etanol miktarı zeytinin çeşidine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yapılan bir çalışmada, Hojiblanca çeşidinde etanolün meyvede 6 mg/kg ile 58 mg/kg arasında değiştiği, Picual çeşidinde 0.56 mg/kg ile 2.90 mg/kg arasında ve Arbequina çeşidinde 1.5 mg/kg ile 11.5 mg/kg arasında değiştiği ortaya konmuştur [20].

Tablo 1. Picual, Hojiblanca ve Arbequina çeşitlerinin ortalama etanol içeriği [21].

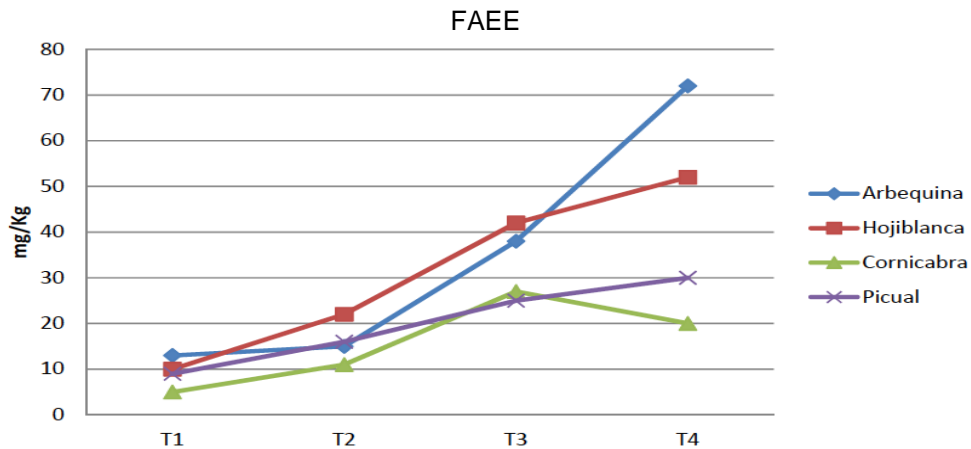
Table 1. Average ethanol content of Picual, Hojiblanca and Arbequina cultivars [21].

Zeytin Çeşidi	Etanol mg/kg
Picual	3.4±1.7 c ^a
Hojiblanca	26.1±10.2 ^a
Arbequina	5.7±1.9 b

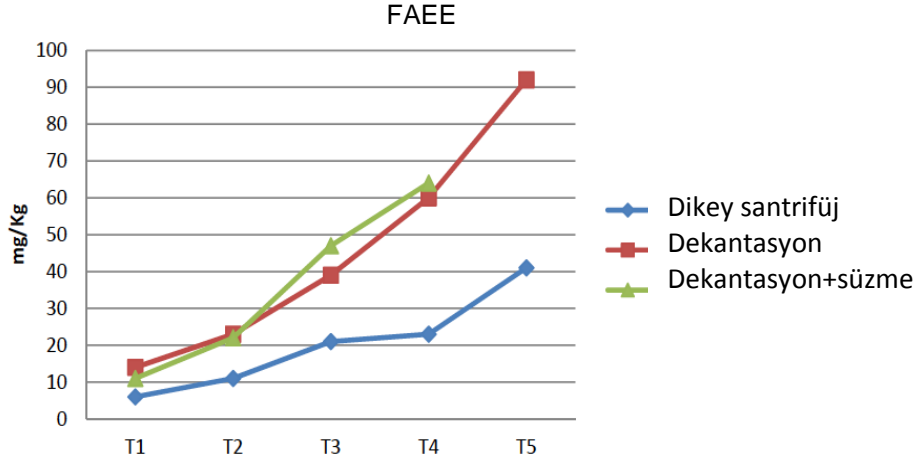
^aFarklı harfler, 0,05 p değeri için ortalamalar arasındaki farkların önemli olduğunu gösterir.

Tablo 1'de ise aynı İspanyol çeşitlerde yapılan farklı bir çalışmada meyvelerde tespit edilen ortalama etanol içerikleri verilmiştir [21]. Etanol miktarının çeşide bağlı olarak miktarı ve depolama süreci ile değişimi Şekil 6'da görülmektedir. Buna göre Cornicabra çeşidinde etil esterlerin değişimi sınırlı kalırken, Arbequina çeşidinde artış görülmektedir. İspanya'da yapılan bir çalışmada incelenen tüm zeytinyağı çeşitlerinde önemli düzeyde etanol bulunmuştur [20]. Ayrıca, meyvenin olgunlaşmasının ileri evrelerinde etanol birikimi ile zeytin meyvesi olgunlaşması sırasında artış gösteren alkol dehidrojenaz aktivitesi seviyeleri arasında uyum olduğu ortaya konmuştur. Oluşan etanol seviyesi, zeytinin çeşidi, olgunlaşma seviyesi, hasat zamanı ve iklim koşullarına bağlı olarak değişmektedir [48].

Zeytin sıkım prosesinde, dekantör kullanımı, dikey santrifüj ya da santrifüj uygulamadan zeytinyağını dekante edip dinlendirerek posasını alma işlemi depolama sürecinde etil ester artışını etkilemektedir [8]. İki fazlı bir dekantörden sonra dikey santrifüjde su tüketimi, kilogram natürel zeytinyağı başına 0.1-0.5 litredir. Üç faz dekantörden sonra dikey santrifüjde su kullanımı 1.5 L/kg'dan fazla olabilmektedir.



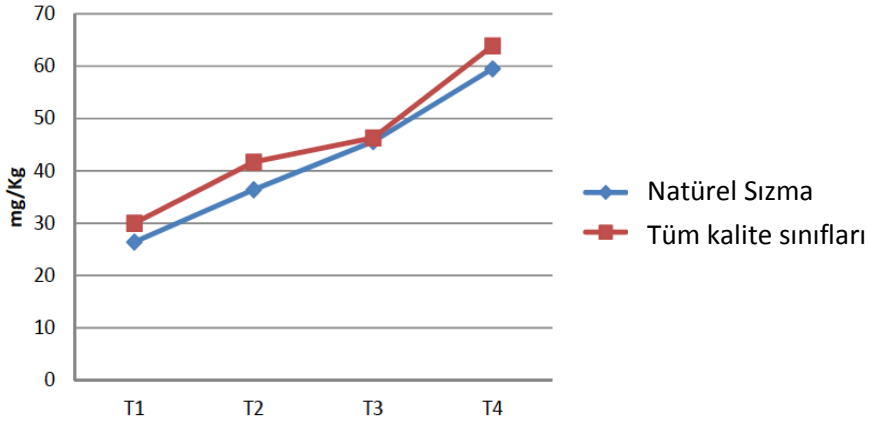
Şekil 4. Zeytinin çeşidi ve etanol miktarının değerlendirilmesi [40]
Figure 4. Evaluation of olive variety and ethanol content [40]



Şekil 5. Dikey santrifüj, dekantasyon ve dekantasyon+ süzme işleminde FAEE'lerin değerlendirilmesi [40]
Figure 5. Evaluation of FFAEs in vertical centrifugation, decantation and decantation+filtration [40]

Şekil 5'de görüldüğü gibi en az etil ester seviyesi değişimi dikey santrifüj uygulanan zeytinyağı grubunda saptanmıştır. Dekantasyondan sonra filtre edildiğinde, etil ester değişimi üzerinde etkili olmadığı görülmektedir. Son yıllarda, su ve enerji tüketimindeki avantaj nedeniyle İspanya'da dekantörlerin yerini dikey santrifüj

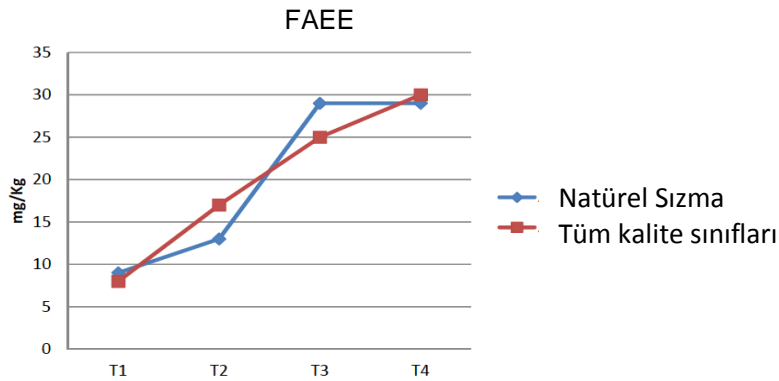
dekantörlerin almaya başladığı rapor edilmiştir [40]. Aynı çalışmada, depolama sürecinde natürel sızma zeytinyağındaki etanol ile diğer tüm kalite sınıflarındaki etanol değişiminin paralellik gösterdiği sonucuna da varılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Natürel sızma zeytinyağı ile diğer kalitelerin etanol miktarının değerlendirilmesi [40]
Figure 6. Evaluation of ethanol content of extra virgin olive oil and other qualities [40]

İki fazlı zeytin sıkım tesisinde üretimin her aşamasında minimum su tüketimi olduğundan etanol içeriği daha yüksek bulunmuştur. Aslında daha yüksek polifenol içeriği ve daha yüksek duyu özelliklerine rağmen

bu sistemde suda çözünen etanol ortamdaki uzaklaştırılmadığından, bünyesinde kalan etanol bekleme süresince esterleşerek FAEE'in artışına neden olmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Natürel sızma zeytinyağı ile natürel birinci zeytinyağında FAEE'lerin değerlendirilmesi [40]
Figure 7. Evaluation of FFAEs in virgin olive oil and virgin olive oil [40]

ETİL ALKOL ve ETİL ESTERLERİ TESPİT YÖNTEMLERİ

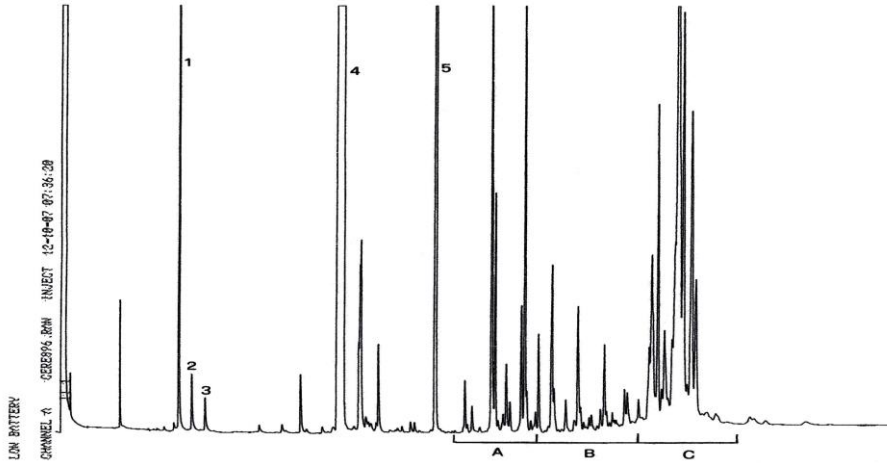
Zeytinyağında yağ asidi metil ve etil esterlerinin belirlenmesi çok eskilere dayanmaktadır. İlk kez 1986 yılında Mariani ve Fedeli, zeytinyağının apolar bileşiklerinden bu fazı ayırmışlar ve Gaz Kromatografi cihazı ile etil ve metil esterleri tespit etmişlerdir [13, 40]. Yağ asidi alkil esterler, zeytinyağının mumsu maddeler fraksiyonundaki yağ asitleri etil esterleri ve yağ asidi metil esterlerin toplamı olarak tanımlanmaktadır [35].

Natürel sızma zeytinyağında alkil esterlerin tayin edilmesi, Uluslararası Zeytin Konseyi tarafından 2009 yılında önerilmiş ve 2011 yılında IOC Ticari standardında değişiklik yapılarak AB ve ülkemiz mevzuatında da yerini almıştır. Mevzuatlara ilk girdiğinde, alkil esterler olarak limit değeri ile metil ve etil esterlerin toplamı sırasıyla

$$\Sigma YAME + \Sigma FAEE \leq 75 \text{ mg/kg veya } 75 \text{ mg/kg} \\ \leq \Sigma FAME + \Sigma FAEE \leq 150 \text{ mg/kg ve } \Sigma FAEE / \Sigma FAME \leq 1.5 \text{ mg/kg olmalıdır. [10;11; 43].}$$

Ancak, bu limitin taklit ve tağşişi saptamasındaki yetersizliği ve toplam metil ester seviyesinin taklit ve tağşiş saptanmasında önemli bir rolü olmadığı tespit edildiğinden sadece 16 ve 18 karbonlu etil ester seviyesine ait kriter esas alınmış ve 2015 yılına kadar en fazla 40 mg/kg, 2015/2016 yılından itibaren ise Uluslararası Zeytin Konseyi Ticari Standardı, Türk Gıda Kodeksi Zeytinyağı ve Pirina Yağı Tebliği'nde 35 mg/kg limiti kabul edilmiştir [42, 44].

Kapiler Kolonlu Gaz Kromatografisi ile Mumsu Maddelerin, Yağ Asitleri Metil Esterleri ve Yağ Asitleri Etil Esterlerinin Tayini metodu, zeytinyağlarında mumsu maddelerin, yağ asitleri metil esterleri ve etil esterlerinin tayini için kullanılan yöntemi tarif eder.



Şekil 8. Natürel sızma zeytinyağı metil esterleri, etil esterleri ve mumsu maddeleri kromatogramı. 1- Metil heptadekanoat iç standart (IS), 2- Metil C18, 3- Etil C18, 4- Skualen, 5- Lauril araşidat iç standart (IS), A- Diterpenik esterler, B- Mumsu maddeler, C- Sterol ve triterpenik esterler [45].

Figure 8. Extra virgin olive oil methyl esters, ethyl esters and waxes chromatogram. 1- Methyl heptadecanoate internal standard (IS), 2- Methyl C18, 3- Ethyl C18, 4- Squalene, 5- Lauril arachidate internal standard (IS), A- Diterpenic esters, B- Waxy substances, C- Sterol and triterpenic esters [45].

Mumsu maddeler ve alkil esterler karbon atomlarının sayılarına göre ayrılır. Bu metot, pirina yağı ile zeytinyağını birbirinden ayırmak ve natürel sızma zeytinyağı için kalite parametresi olarak natürel sızma zeytinyağına tağşiş amacı ile karıştırılan düşük kalitedeki kolon yağı, ham zeytinyağı ve natürel birinci zeytinyağı gibi karışım yağların tespiti için kullanılır [43, 45, 46].

İç standart ilave edilen numunelerin, aktif sulu silikajel içeren kolon kromatografisi ile fraksiyonlarına ayrılması ve trigliserollerden daha az polaritede fraksiyonlara ayrılmış numunenin test koşulları altında doğrudan kapiler kolonlu gaz kromatografisi cihazıyla analiz edilmesi prensibine dayanan bu analitik metot daha

düşük kalitede natürel zeytinyağı veya kolon yağı gibi yağlarla yapılan tağşişin göstergesi niteliğinde natürel sızma zeytinyağının kalitesinin tespitinde tekrarlanabilir ve güvenilir bir metot olarak günümüzde halen kullanılmaktadır [45]. İç standart olarak kullanılan metil heptadekanoat ile C16–C18 arasındaki yağ asitleri metil ve etil esterlerinin pik alanları saptanır [Şekil 8].

Uluslararası Zeytin Konseyi Kimya Uzmanlar Grubunda Kapiler Kolonlu Gaz Kromatografi Cihazı ile Yağ Asidi Metil Esterleri, Yağ Asidi Etil Esterleri ve Mumsu Bileşiklerin Miktarının Tayini metotuna ait metot geliştirme çalışmaları Tablo 2'de görüldüğü üzere devam etmektedir [46, 47].

Tablo 2. FAEE Metotları mukayese tablosu [46, 47]
 Table 2. FAEE Methods comparison chart [46, 47]

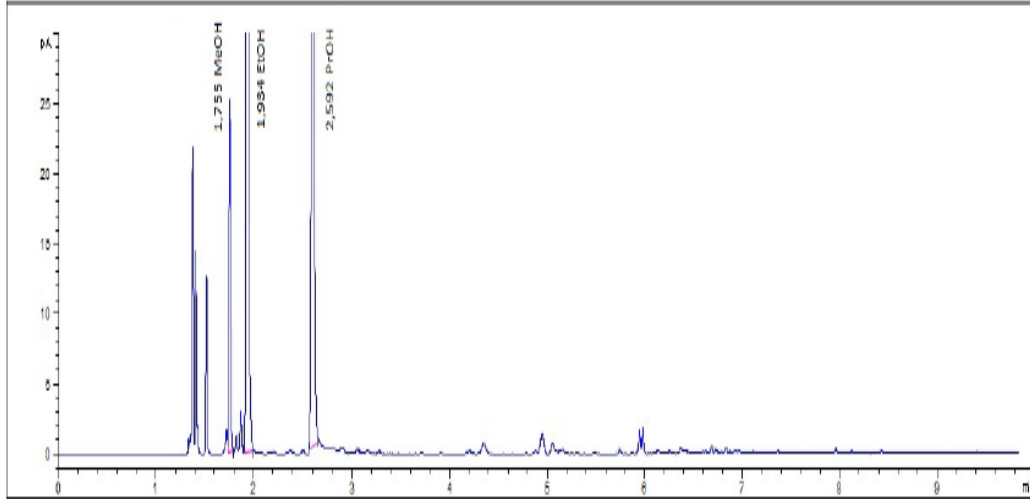
Metot	Dr.Cobo'nun Önerisi	COI/T.20TDoc.28 /rev.1 (2010)	COI/T.20TDoc.28 /rev.2 (2017)
Hidrokarbonların giderilmesi için elusyon hacmi	70mL	Hayır	Hayır
Etil esterler ve vakslar için elusyon hacmi	220mL	220mL	220mL
Trigliseridlerden esterler ve vaksların ayrılması için hekzan/eter oranı		Hekzan/eter 99:1	Hekzan/eter 99:1
Hekzan/eter karışımının ilk 40mL'sinin atılması	Evet	Hayır	Hayır
Esterler için metot validasyonu	>280mg/kg veya beyan edilen metotta etil esterlerin 280mg/kg'la sınırlandırılması	Natürel Sızma zeytinyağında 2010 ring test:5mg/kg ile 280mg/kg etil esterler	

Zeytinyağında etanol ve metanol tayininde uygulanan prensibe göre numune, metanol ve etanolün gaz fazına tamamen desorpsiyonu sağlanana kadar hermetik olarak kapalı bir şişede 110°C'de ısıtılmaktadır. Gaz ve sıvı faz dengeye ulaştığında, gaz fazının belirli bir kısmı, bir alev iyonizasyon dedektörü yardımıyla metanol ve etanolün tespit edilebileceği bir gaz kromatografi cihazına enjekte edilmektedir.

Genellikle metanol ve etanol miktarları kromatogramdaki piklerden, bir iç standart kullanılarak hesaplanmaktadır. 1-propanol çözeltisi, metanol ve etanolün miktarsal tayini için iç standart olarak kullanılmaktadır. Rafine zeytinyağından bir stok çözelti hazırlanır. Dereceli

otomatik pipet kullanılarak 400 µL 1-propanol 4°C'de bir şişe içinde bulunan 32 g rafine zeytinyağına ilave edilerek homojenize edilir. Numuneye eklenecek iç standart ise stok çözeltiden hazırlanır. Bir şişede 24 g rafine zeytinyağına 1.0 g stok çözelti eklenerek homojenize edilir.

Temiz bir cam vial içine yaklaşık 3 g zeytinyağı tartılır. 300 mg iç standart eklenir ve şişe kapağı, sıkma pensesi ile alüminyum hermetik olarak sıkılarak kapatılır. Vial kuru ısıtma sistemine yerleştirilir ve 110°C'de 60 dakika ısıtılır. Gaz ve sıvı fazı dengeye geldiğinde (1 dakika), 500 µL bir termostat kontrollü headspace şırınga kullanılarak aynı sıcaklıkta kromatografi cihazına enjekte edilir.



Şekil 9. Natürel sızma zeytinyağı etanol kromatogramı [46]
 Figure 9. Extra virgin olive oil ethanol chromatogram [46]

Şekil 9'da natürel sızma zeytinyağına ait etanol ve metanol içeriğini gösteren kromatogram görülmektedir. Altta formüle göre bileşen miktarı i , mg/kg olarak ifade edilir ve sonuçlar mg/kg olarak iki haneli verilir (1).

A_i bileşenin alanı,
 A_{is} iç standartın alanı,
 F_i MeOH veya EtOH için tepki faktörü,
 m numune tartımı, g,
 m_{is} iç standart ağırlığı, mg

$$w_i = \frac{M_{is} \times A_i}{m \times A_{is} \times F_i} \times 1000 \quad (1)$$

SONUÇ

İnsanlık tarihinden daha eski tarihi olan ve her türlü koşula dayanarak binlerce yıl yaşayabilen kadim zeytin ağacının çok değerli ürünü olan zeytinyağı, her geçen yıl daha fazla sayıda bilimsel çalışma yapılmasına rağmen halen bilim dünyasının ilgisini çekebilen ender gıdalardan birisidir. Natürel sızma zeytinyağı üretimi hem sağlıklı meyve üretimini hem de hasattan sonra iyi üretim uygulamalarını (Good Manufacture Practice-GMP) gerektirmektedir. 2000'li yıllarda zeytinyağına yapılan kolon yağı taşıdığı nedeni ile gündemimize giren yağ asidi etil ve metil esterlerinin oluşum mekanizmaları özellikle İtalya ve İspanya'da gerçekleştirilen çalışmalarla açıklığa kavuşturulmuştur.

Yağ asidi alkil esterlerinden özellikle etil esterlerin hasattan sonra düşük kalitedeki zeytin danelerinin fermentasyonu sonucu olduğu son yıllardaki çalışmalarla ortaya konmuştur. FAEE, kısa zincirli metanol ve etanol gibi alkoller ile C16 ve C18 gibi serbest yağ asitlerinin esterleşmesi ile oluşmaktadır. Etanol, hasat sonrası zeytinyağı ekstraksiyonuna kadar zeytinlerin fermentasyonu ile üretilmektedir. Ayrıca, zeytin metabolizması çoğunlukla meyvenin olgunlaşması sırasında endojen alkoller üretmektedir.

Bir kalite kriteri olan ve aynı zamanda taşıdığı tespitinde kullanılan FAEE ile bir aroma bileşeni olarak zeytinyağında var olan etil alkol üzerine yapılan çalışmalar, yağ asidi etil ve metil esterleri oluşumunun zeytin danesinin bozulmasının bir sonucu olmakla birlikte etil esterlerin, duyuşal kusurları oluşturan fermantatif süreçlerle ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca FAEE, kolon zeytinyağı taşıdığı yapılan hilelerin belirlenmesinde de başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Etil esterler ve etanol oluşum koşullarına ait araştırmaların derlendiği bu çalışmada, söz konusu bileşenlerin son derece hassas ve karmaşık etkilerle olduğu ve zeytinyağının duyuşal ve kimyasal özelliklerine etki ederek ürünün ekonomik değerini de değiştirebildiği ortaya konulmuştur. Zeytinyağı üretiminin %70'ini sağlayan özellikle Körfez Bölgesi ile Güney Ege Bölgesi'ndeki Ayvalık, Gemlik, Memecik gibi ana çeşitlerimiz bu gibi süreçlerden nasıl etkilendiği, içerdiği etanol seviyesi ile etil ester oluşum seviyelerine ilişkin veriler son derece sınırlıdır. Bu bakımdan söz konusu ana çeşitlerin etanol içerikleri ve zeytin sıkım sürecinden nasıl etkilendikleri üzerine çalışmaların artırılması gerektiği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Huang, C.L., Sumpio, B.E. (2007). Olive oil the Mediterranean diet and cardiovascular health. *Journal of the American College of Surgeons*, September, 207(3):407-416.

[2] Perez-Jimenez, F., Ruano, J., Perez-Martinez, P., Lopez-Segura, F., Lopez-Miranda, J. (2007). The influence of olive oil on human health; not a question of fat alone. *Molecular Nutrition, Food Research*, 51(10), 1199-1208.

[3] Covas, M.I. (2007). Olive oil and the cardiovascular system. *Pharmacological Research Rev* 55, 175-186.

[4] Covas, M.I., Konstantinidou, V., Fito, M. (2009). Olive oil and cardiovascular health. *Journal of Cardiovasc Pharmacol*, 54, 477-482.

[5] Lanzon, A., Albi, T., Cert, A., Gracian, J. (1994). The hydrocarbon fraction of virgin olive oil and changes resulting from refining. *Journal of the American Oil Chemists*, 71, 285-291.

[6] Perona J.S., Botham K.M. (2013) Olive Oil as a Functional Food: Nutritional and Health Benefits. In: Aparicio R., Harwood J. (eds) Handbook of Olive Oil. Springer, Boston, MA.

[7] Garcia, J.M., Seller, S., Perez-Camino, M.C. (1996). Influence of fruit ripening on olive oil quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 11, 3516-3520.

[8] Gomez-Coca, R.B., Moreda, W., Perez-Camino, M.C. (2012). Fatty acid alkyl esters presence in olive oil vs. organoleptic assessment. *Food Chemistry*, 135(3), 1205-1209.

[9] Morales M.T., Aparicio-Ruiz R., Aparicio R. (2013) Chromatographic Methodologies: Compounds for Olive Oil Odor Issues. In: Aparicio R., Harwood J. (eds) Handbook of Olive Oil. Springer, Boston, MA..

[10] TGK (2010). Türk Gıda Kodeksi Zeytinyağı ve Prina Yağı Tebliği (Tebliğ No 2010/35), Resmi Gazete, Ankara.

[11] IOC (2011). International Olive Council Trade Standard Applying to Olive Oils and Olive Pomace Oils. COI/T.15/NC No 3/Rev. 6, Madrid, Spain.

[12] Bendini, A., Cerretani, L., Salvador, M.D., Fregapane, G., Lercker, G. (2009). Stability of the sensory quality of virgin olive oil during storage: an overview. *Italian Journal of Food Science*, 21(4), 389-406.

[13] Biedermann, M., Bongartz, A., Mariani, C., Grob, K. (2008). Fatty acid methyl and ethyl esters as well as wax esters for evaluating the quality of olive oils. *European Food Research Technology*, 228(1), 65-74.

[14] Gómez-Coca, R.B., Fernandes, G.D., Pérez-Camino, M.del C., Moreda, W. (2016) Fatty acid ethyl esters (FAEE) in extra virgin olive oil: A case study of a quality parameter. *Food Science and Technology*, 66, 378-383.

[15] Anonymous (2007). Official Journal of the European Union, L 299/115.

[16] Aparicio-Ruiz, R., Romero, I., García-González, D.L., Oliver-Pozo, C., Aparicio, R. (2017). Soft-deodorization of virgin olive oil: Study of the changes of quality and chemical composition. *Food Chemistry*, 220, 42-50.

[17] Grob, K., Biedermann, M., Bronz, M., Schmid, J.P. (1994). Recognition of mild deodorization of edible oils by the loss of volatile components. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 199, 191-194.

[18] Mariani, C., Venturini, S., Gasparoli, A., Tagliabue, S., Bondioli, P. (2000). Considerazioni preliminari relative agli oli lampanti deodorati. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 77, 49-59.

[19] Di Serio, M.G., Giansante, L., Di Loreto, G., Faberi,

- A., Ricchetti, L., Di Giacinto, L. (2017). Ethyl esters versus fermentative organoleptic defects in virgin olive oil. *Food Chemistry*, 219, 33–39.
- [20] García-Vico, L., Belaj, A., León, L., Rosa, R. de la, Sanz, C., Pérez, A.G. (2018). A survey of ethanol content in virgin olive oil. *Food Control*, 91, 248–253.
- [21] Beltran, G., Bejaoui, M.A., Jimenez, A., Sanchez-Ortiz, A. (2015). Ethanol in Olive Fruit. Changes during ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(22), 5309–5312.
- [22] Masella, M., Guerrini, L., Angeloni, G., Zanoni, B., Parenti, A. (2019). Ethanol from olive paste during malaxation, exploratory experiments. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(1), 1800238.
- [23] Boudebouz, A., Agusti, R., Ricard, B., Montserrat, M. (2019). Effect of agronomic and technological factors on the formation of ethyl esters in virgin olive oil in Catalonia. *Universitat Rovira I Virgili (URV) PhD student Annual Seminar 2019*.
- [24] Köseoğlu, O., Sevim, D., Kadiroğlu, P. (2019). Effects of filtration on the quality properties of extra virgin olive oils during storage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(3), 291-301.
- [25] Luna, G., Morales, M.T, Aparicio, R., (2006). Characterization of 39 varietal virgin olive oils by their volatile compositions. *Food Chemistry*, 98(2):243-252.
- [26] Garcia-Vico, L., Belaj, L., Leon, L., De la Rosa, R., Sanz, C., Perez, A.G. (2018). A survey of ethanol content in virgin olive oil. *Postprint of Food Control*, 91, 248-253.
- [27] Moyano, E., Encinas-Villarejo, S., López-Ráez, J.A., Redondo-Nevado, J., Blanco-Portales, R., Bellido, M.L., Sanz, C., Caballero, J.L., Muñoz-Blanco, J. (2004). Comparative study between two strawberry pyruvate decarboxylase genes along fruit development and ripening, post-harvest and stress conditions. *Plant Science*, 166, 835-845.
- [28] Tadege, M., Dupuis, I., Kuhlemeier, C. (1999). Ethanol fermentation: new functions for an 342 old pathway. *Trends in Plant Science*, 8, 320-325.
- [29] Conte, L., Mariani, C., Gallina Toschi, T., Tagliabue, S. (2014). Alkyl esters and related 277 compounds in virgin olive oils: their evolution over time. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, 91, 21-29.
- [30] Salas, J.J., Sanchez, J. (1997). Biogenesis of alcohols present in the aroma of virgin olive oil. *Physiology, Biochemistry and Molecular Biology of Plant Lipids*, 328–330.
- [31] Perez-Camino, M.C., Moreda, W., Cert, A. (2002). Determination of Esters of fatty acids with low molecular weight alcohols in olive oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(16), 4721-5.
- [32] Gómez-Coca, R.B., Moreda, W., Pérez-Camino, M.C. (2012). Fatty acid alkyl esters presence in olive oil vs. organoleptic assessment. *Food Chemistry*, 135(3), 1205–1209.
- [33] International Olive Council Chemist Meeting Report 10.09. (2015) Annex 5.a.1.
- [34] Jabeur, Zribi A, Abdelhedi, R., Bouaziz, M. (2015). Effect of olive storage conditions on Chemlali olive oil quality and the effective role of fatty acids alkyl esters in checking olive oils authenticity. *Food Chemistry*, 169, 289-296.
- [35] Mariani, C., Bellan, G. (2008). Individuazione di oli di qualità inferiore negli oli di oliva extra vergini. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, 1, 3-20.
- [36] Alcalá, S., Ocana, M.T., Cardenas, J.R., Miguel, A.M., Vilar, J., Espinda, F., Moya, M. (2017). Alkyl esters content and other quality parameters in oil mill. A response surface methodology study. *Lipid Science European Journal*, 119(1), 1600026.
- [37] Perez-Camino M. Cert A., Romero Segura, A. (2008). Alkyl esters of fatty acids a useful tool to detect soft deodorized olive oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (15)6740-6744.
- [38] Di Loreto, G., Giansante, L., Alfei, B., Di Giacinto, L. (2014). Alchil esteri ed altri indicatori per la tutela della qualita e della genuinita degli oli extra vergini Italiani. *Rivista Italiana Sostanze Grasse*, 91, 35-45.
- [39] Gómez-Coca, R.B., Fernandes, G.D., Pérez-Camino, M. del C., Moreda, W. (2016). Fatty acid ethyl esters (FAEE) in extra virgin olive oil: A case study of a quality parameter. *Food Science and Technology*, 66, 378–383.
- [40] IOC (2016). International Olive Council Electronic Working Group on Fatty Acid Ethyl Esters (FAEEs) in extra virgin olive oils (EVOO-Final Report 2016).
- [41] Mariani, C., Fedeli, E. (1986). Detection of extraction olive oils in pressure ones. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, 63, 3-17.
- [42] TGK (2017). Türk Gıda Kodeksi Zeytinyağı ve Prina Yağı Tebliği (Tebliğ No: 2017/26), Resmi Gazete (Tarih: 17.09.2017, Sayı: 30183), Ankara.
- [43] EC Commission Regulation (EEC) (2011). No. 61/2011 of 24 January 2011 amending Regulation No. 2568/91 on the characteristics of olive oil and olive pomace oil and on the relevant methods of analysis. *Official Journal of the European Communities*, L 23, 1–14.
- [44] IOC (2016). International Olive Council Trade Standard COI/T.15/NC No 3/ Rev.11, Madrid, Spain.
- [45] TGK (2014). Türk Gıda Kodeksi Zeytinyağı ve Prina Yağı Analiz Metotları Tebliği (Tebliğ No: 2014/53), Resmi Gazete (Tarih: 20.11.2014, Sayı: 29181), Ankara.
- [46] IOC (2017). International Olive Council, Determination of the Content of Waxes, Fatty Acid Methyl Esters and Fatty Acid Ethyl Esters by Capillary Gas Chromatography COI/T.20TDoc.28/Rev.2, Madrid, Spain.
- [47] International Olive Council Electronic Working Group for Revision of Codex Trade Standard-Ethyl Esters 20042020-ENK.
- [48] Beltran, G., Sanchez, R., Sanchez-Ortiz, A., Aguilera, M.P., Bejaoui, M.A., Jimenez, A. (2016). How “ground-picked” olive fruits affect virgin olive oil ethanol content, ethyl esters and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(11), 3801–3806.

Biyofilm Yapısı ve Önlenmesi

Mehmet Onur Kartal¹ , Melike Baran Ekinci²  ✉, Büşra Poyraz² 

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Burdur
²Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Burdur

Geliş Tarihi (Received): 26.08.2021, Kabul Tarihi (Accepted): 19.09.2021

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): melikebaran@mehmetakif.edu.tr (M. Baran Ekinci)

☎ 0 248 213 27 26 📠 0 248 213 27 04

ÖZ

Bakteri, maya, küf ve mavi yeşil algler tarafından salgılanan EPS (ekzopolisakkarit veya ekstraselüler polimerik madde), proteinler, eDNA (extracellular DNA, hücre dışı DNA), çeşitli enzimler ve mikroorganizmanın kendisini içeren kompleks yapıdaki matrikse "biyofilm" denir. Biyofilm mikroorganizmaların kendini başta zorlu veya toksik koşullardan korumakta, ortamlarda mikrobiyal rekabet gücünü artırmakta ve bazı hücresel çeşitli işlevlerde de kullanılmaktadır. Biyofilmler, ekolojik olarak koruyucu ve işlevseldir. Endüstride (gıda, tekstil, kağıt ve madencilik gibi), atıkların biyoremediasyonunda kullanılmak üzere farklı bakteri türlerinden oluşan biyofilmlerden yararlanılmaktadır. Ayrıca mikrobiyal enerji üretiminde ve biyogübre üretiminde kullanılan biyofilmler bulunmaktadır. İnsan bağırsağına tutunan bakterilerin oluşturduğu biyofilmler ise gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalara karşı koruyucu olarak görev almaktadır. Ancak biyofilm, dişlerde plak oluşumu ve doku enfeksiyonlarının başlıca kaynağıdır. Ayrıca gıda endüstrisinde de çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Özellikle çelik yüzeylerde, boruların iç yüzeylerinde, kullanılan yardımcı alet ve ekipmanlarda gelişerek gıdalarda kirlilik, patojenite ve bozulmaya neden olmaktadır. Bu durum ciddi ekonomik kayıplara da yol açmaktadır. Bu yüzden gıda endüstrisinde biyofilm oluşumunun başlangıç aşamasında engellenmesi ya da oluşan biyofilm yapısının ortadan kaldırılması gerekmektedir. Biyofilm yapılarının iyi bilinmesi bu yapıların engellenmesinde kullanılacak yöntemlerin uygulanmasında kolaylık sağlamaktadır. Bu derlemede, biyofilm tanımı, gıda ve diğer bazı alanlarda biyofilm oluşumu ve önlenmesi hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyofilm, Ekzopolisakkarit, Gıda endüstrisi, Tıp, Su ürünleri, Su dağıtım

Biofilm Structure and Prevention

ABSTRACT

Biofilm is a complex matrix, containing EPS (exopolysaccharide or extracellular polymeric substance), proteins, eDNA (extracellular DNA, extracellular DNA), various enzymes and the microorganism itself, secreted by bacteria, yeasts, molds and blue green algae. Biofilm protects microorganisms from harsh or toxic conditions, increases their microbial competitiveness in environments, and is also used in some cellular functions. Biofilms are ecologically protective and functional. Biofilms, consisting of different bacterial species, are steadied to the bioremediation of wastes in a number of industries such as food, textile, paper and mining. Additionally, some kind of biofilms are used in production of microbial energy and biofertilizer. Biofilms, which are produced by some bacteria in the human intestine system, may act as a protector against foodborne pathogenic microorganisms. On the other hand, biofilm is the main source of dental plaque formation and tissue infections. It also causes various problems in the food industry. Especially it may form on steel surfaces, inner surfaces of pipes, auxiliary tools and equipment causing pollution, pathogenicity and spoilage in foods. This situation may also cause serious economic losses. Therefore, in the food industry, it is necessary to prevent the formation of biofilm at its initial stage or to eliminate the already formed biofilm structure. Good knowledge of biofilm

structure provides convenience in preventing these structures. In this review, information is given about the definition of biofilm, biofilm formation and its prevention in the food industry and other fields.

Keywords: Biofilm, Exopolysaccharide, Food industry, Medicine, Seafood, Water distribution

GİRİŞ

Film, yüzeyi kaplayan ince bir tabakayı ifade etmektedir. Biyofilm ise bu tabakayı oluşturan maddenin biyolojik bir materyal olduğunu belirtmektedir [1]. Biyofilm; mikroorganizmaların birbirleriyle, buldukları yüzeylere veya daha alt tabaka olan ara yüzeylere geri dönüşümsüz olarak tutunmalarını sağlayan hücre dışı polisakkarit (extracellular polysaccharide, EPS) veya hücre dışı polimerik madde (extracellular polymeric substance, EPS) matriksi olarak adlandırılmaktadır. Aynı zamanda büyüme oranı ve gen transkripsiyonuna bağlı olarak farklı fenotipik özellikler kazanmaktadır. Biyofilm kısaca bir yüzeye tutunmuş mikroorganizma ve ürettikleri madde topluluğu olarak tanımlanabilmektedir [2].

Bu hücre dışı polimerik madde matriksinin yapısını; polisakkaritler, proteinler, glikolipidler ve hücre dışı DNA (extracellular DNA, eDNA) oluşturmaktadır. Mikroorganizma hücrelerinin yüzeye tutunmasında ve biyofilmlerin oluşumunda; polisakkaritler, biyofilm yapısı içindeki bakteri hücreleri arasındaki iletişimin sağlanmasında; proteinler, bakterilerin virülans özellikler kazanmasında; glikolipidler görev almaktadır. Mikroorganizma hücreleri arasındaki horizontal (yatay) gen transferinde, yüzey hidrofobitesinin (su geçirmezliği) düzenlenmesinde ve biyofilmin üç boyutlu iskelet yapısının oluşturulmasından ise eDNA sorumludur [3].

Biyofilm oluşumu için gerekli ilk aşama mikroorganizmanın yüzeye adezyonudur. Adezyonun sağlanmasında çevresel koşullar (sıcaklık, pH, besinsel bileşenleri, diğer mikroorganizmaların varlığı), gıda çevrelerindeki ürün işleme koşulları (akış hızı ve kuvveti), mikroorganizmanın tutunduğu yüzeyin yapısı ve şekli (fonksiyonel gruplar, yüzey yük karakteristiği, çeşitli kimyasalların varlığı, yüzeyin serbest enerjisi) etkili olmaktadır. Biyofilm yapısının oluşumunda mikroorganizmaların sahip olduğu özellikler de (yeter sayı algılama mekanizması, EPS üretimi ve salgısı, pilus, fimbriya, adezin ve flagella gibi yapıların varlığı) önemlidir [4].

Polisakkaritler, doğada yaygın olarak dağılımları nedeniyle son yıllarda araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmektedir. Ekzopolisakkaritler (EPS'ler), tipik olarak monosakkaritler ile birlikte asetatlar, piruvatlar, süksinatlar ve fosfatlar gibi karbonhidrat olmayan bileşiklerden oluşan yüksek moleküler ağırlığa sahip uzun zincirli heteropolisakkaritlerdir. Ekzopolisakkaritler (EPS) bakteriler, mayalar, mantarlar, küfler ve mavi yeşil algler tarafından salgılanmaktadır. EPS hücre yüzeyine kovalent olarak bağlanabilmektedir veya hücre dışı olarak salgılanabilmektedir. Mikrobiyal EPS'ler, düzenlenmiş koşullar altında sentezlenebildikleri için hayvan, bitki ve deniz yosunlarından elde edilen EPS'lere iyi bir alternatif sağlayabilmektedir. Bakteriye EPS'ler, hücrelerden

kolayca uzaklaştırılabilen, gevşek bağlı sümük tabakaları olan bakteriler tarafından salgılanan temel bileşikler grubudur. EPS'ler, üreticileri zorlu veya toksik koşullardan korumak ve farklı ortamlarda mikrobiyal rekabet gücünü artırmak dahil olmak üzere çeşitli işlevlere hizmet etmektedir. Ayrıca üretilen EPS'ler, gıda, kozmetik, ilaç ve ambalaj endüstrilerinin yanı sıra tarım ve tıp dahil olmak üzere çok çeşitli biyoteknolojik uygulamalarla onları temel mikrobiyal sentez ürünleri haline getiren fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklere sahiptir. Gıda endüstrisinde jelleştirici ajanlar, biyoflokülantlar, biyostabilizatörler ve biyoemülgatörler olarak kullanılabilirler [5, 6].

Zobell [7], deniz suyunun yüzeyinde bulunan serbest haldeki bakteri sayısının, su içerisinde bulunan bakteri sayısından çok daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Bir atık su işleme tesisindeki filtreler üzerinde tutunan yapıların morfolojileri incelendiğinde farklı mikroorganizmaların bir arada bulduklarını tespit etmiştir. Bu topluluk içindeki hücreleri çevreleyen matriks materyalinin polisakkarit olduğu gözlemlenmiştir.

Biyofilm bitki, hayvan ve insan vücudu gibi canlı yüzeylerde, medikal aletler, endüstriyel su boruları, mineral kristaller, aşındırıcı parçalar, toprak-kil, kan ve ürünlerinin bulunduğu cansız yüzeylerde gelişebilmektedir [8, 9].

Biyofilm yapısını oluşturan bakteri türlerinin bulunma durumuna göre homojen ve heterojen biyofilmler olarak ayrılmaktadır. Homojen biyofilmler aynı bakteri türlerinin oluşturduğu mikrobiyal topluluklardır ve doğada kolay kolay bulunmamaktadır. Biyofilmler içerisinde yer alan bakteriler tarafından gerçekleşen her bir biyokimyasal süreçte birden fazla bakteri türü birlikte hareket etmektedir. Bu sebeple doğada biyofilmler çoğunlukla heterojen yapıda bulunmaktadır ve bakteri türleri bir arada yer almaktadır [10].

Biyofilmler, ekolojik olarak koruyucu ve işlevseldir. Doğada neredeyse tüm yüzeylerde oluşabilmektedir. Endüstride (gıda, tekstil, kağıt, maden) farklı bakteri türlerinden oluşan biyofilmler, atıklarının biyoremediasyonunda kullanılmaktadır. Çevrenin temizlenmesinde, mikrobiyal enerji üretiminde ve biyogübre üretiminde biyofilm formlarından yararlanılmaktadır. Ayrıca, insan bağırsağına tutunan bakterilerin oluşturduğu biyofilmler, gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalara karşı koruyucu olarak görev alır [11, 12]. Bunun yanı sıra biyofilmler; su sitemlerinde, gıda üretimi yapan makinelerin yüzeylerinde, konakçı organizmanın mukozal yüzeylerinde, kayalarda, buzullarda, gıda ve gıda paketleme yüzeylerinde, deri geçişli tıbbi cihazlarda, diş yüzeylerinde de bulunabilmektedir. Yüksek kalıcılığı ve yeniden kontaminasyona neden olabileceğinden hem tıbbi ve hem de endüstriyel açıdan önemli sorunlara yol

açmaktadırlar. Endüstride metal yüzeyler üzerinde sülfür indirgeyen ve oksitleyen mikroorganizma türlerinin oluşturduğu biyofilm ilerleyen süreçte korozyona sebep olmaktadır. Bazı biyofilm yapılarında patojen bakteriler (*E.coli*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Candida* ve *Yersinia*) gıdaların yüzeyi ile etkileşime girerek kontaminasyona yol açar. Bu durum gıdaların bozulmasına, gıda kaynaklı hastalıkların ortaya çıkmasına, gıdaların raf ömrünün kısalmasına ve bunların sonucunda ekonomik kayıpların artmasına neden olmaktadır. Biyofilm yapısının zararlı olduğu durumlar dışında faydaları da bulunmaktadır [11, 12].

Kullanılan kimyasalların malzemelerde ve makinelerde paslanmaya yol açması, dezenfektanların tüketici sağlığı üzerinde tehlike oluşturması ve çevreyi olumsuz etkilemesi; inaktivasyon etkisi bulunan ısı işlemlerin, antibiyotiklerin, dezenfektanların ve ağır metallerin biyofilm oluşumunu engellemesinde yetersiz kalması yeni tekniklerin geliştirilmesini etkilemiştir [13].

Son yıllarda yapılan çalışmalarda antimikrobiyal etkiye sahip doğal bitki, baharat ve çeşitli otlardan ekstrakte edilen uçucu yağların biyofilm oluşumunu engellediği gözlemlenmiştir. Adaçayı (*Salvia*), ardıç (*Juniperus*), limon (*Citrus limon*), mercanköşk (*Origanum majorana*) gibi bitki ekstraktlarından elde edilen uçucu yağların kullanımı ile bazı patojen bakterilerin oluşturduğu biyofilm gelişimini azaltıcı etkisi bulunmuştur [14].

GENEL BİLGİLER

Biyofilmin Tarihçesi

Mikroskobun bulunması ve geliştirilmesiyle mikroorganizmaların keşfi gerçekleşmiştir. Mikroorganizmaları mikroskopta ilk tanımlayan ve inceleme yapan 17. Yüzyılda yaşayan Antony Van Leeuwenhoek'tur. Biyofilm varlığı da ilk kez Antony Van Leeuwenhoek tarafından keşfedilmiştir. Kendi dışının üzerindeki plaktan aldığı sürüntüyü mikroskop altında incelemiş ve mikroorganizmaların tek tek değil, kümeler halinde varlığını gözlemlemiş fakat biyofilm olduğunu tanımlayamamıştır. Mikroorganizmaları yuvarlağımsı, çubuk ve spiral olarak 3 şekil grubuna ayırmıştır ve hareket edebilen canlı mikroorganizma varlığını tanımlamıştır [15, 16].

1970'li yıllarda Costerton [17] dağlarda akan akarsularda yaşayan bakterileri incelediğinde %99.99'unun yüzeye yapışarak balçık benzeri bir yapı oluşturduğunu ortaya koymuştur. Costerton daha önce yaptığı çalışmalardan elde ettiği bilgi ile 1978 yılında bu yapıyı tanımlamak için biyofilm terimini ilk defa kullanmıştır.

1973 yılında Caracklis [7], endüstriyel su tesislerindeki mikroorganizmaları incelemiştir. Bu toplulukların yüzeye sıkı bir şekilde tutunduklarını ve klor benzeri dezenfektan maddelerine karşı çok dirençli olduğunu tespit etmiştir.

Son 20 yılda biyofilmler taramalı elektron mikroskobu ve mikrobiyolojik kültür yöntemleriyle incelenmektedir. Biyofilm yapılarını görüntülemek için ışık mikroskobundan, geçirimli ve taramalı elektron

mikroskobundan yararlanılmıştır. Biyofilm yapısının incelenmesinde kullanılan en yeni teknik ise konfokal taramalı lazer mikroskobudur [12].

Biyofilm ile ilgili yapılan araştırmalar son 20-30 yıl içerisinde hız kazanmıştır. Biyofilmlerin varlığı endüstride kayıplara yol açabilmektedir. Bu sebeple biyofilmin giderilmesi ile ilgili araştırmalar artmıştır [18].

Biyofilm Yapısı

Biyofilm, mikroorganizma yüzeyinde düzensiz olarak dağılan polisakkarit yapısı yoğunlukta olan karmaşık yapıdaki bir matrikstir. Bir biyofilmin oluşması için gerekli olan ortak bileşikler; mikroorganizma, glikokaliks ve yüzeydir. Bu bileşenlerden herhangi biri olmadığı zaman biyofilm oluşmamaktadır [19].

Biyofilmin yapısında ekzopolisakkaritler, proteinler, eDNA, enzimler, su ve biyofilm yapısını oluşturan mikroorganizmalar yer almaktadır.

Ekzopolisakkaritler

Mikrobiyal hücreler tarafından sentezlenen ekzopolisakkaritler; kimyasal ve fiziksel özellikler açısından farklılıklar göstermektedir. Biyofilm içerisinde yaşayan mikroorganizmalar tarafından sentezlenen polisakkaritler biyofilmin ana ekstrasellüler bileşimini oluşturur. Polisakkaritler, uzun ve ince moleküler zincirlerdir. Biyofilmde polisakkaritler, 0.5-2.0 x 10⁶ Da ağırlığına sahip olup, hücre yüzeyine tutunarak ince şeritler halinde hücrenin çevresinde karmaşık ağ yapıda görünmektedir [15].

Biyofilmler içerisinde en fazla bulunan ve incelenen ekzopolisakkaritler: aljinat, selüloz ve poli-N-asetil glukozamindir. Aljinat, kahverengi algler veya *Azotobacter vinelandii*, *Pseudomonas aeruginosa* gibi farklı bakteri türleri tarafından üretilmektedir [4].

Biyofilm Matriksi İçindeki Proteinler

Biyofilm matriksindeki proteinler kıvrımlı fimbriya, BAP (biofilm associated protein, biyofilm ile ilişkili protein) topluluğu, lektinler (polisakkaritlerin çökmesine neden olan karbonhidrat bağlayıcı proteinler) ve oto taşıyıcı proteinler (bazı bakteriyel dış zar proteinlerinde bulunan yapısal bir alan) olmak üzere dört başlık altında incelenmektedir. Kıvrımlı fimbriya ve pili, bakterilerin protein yapıdaki yapışkan uzantılarıdır [4].

Hücre Dışı DNA (eDNA)

Hücre dışı DNA (eDNA), yakın zamanda keşfedilen önemli bir biyofilm bileşenidir. Hücre dışı DNA bakterileri konakçı bağışıklık sisteminden ve antimikrobiyal ajanlardan koruyan yapıdır. eDNA hücre dışı polimerik madde (EPS) yapısında oldukça fazla bulunan bir matriks elemanıdır. Bakteriyel biyofilm topluluklarının gelişimini anlamak için eDNA'nın yapısını incelemek önemlidir [11, 20]. İlk olarak *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus intermedius*, *Streptococcus mutans*, ardından

Enterococcus faecalis ve *Staphylococci*'nin biyofilmlerinde gözlenmiştir [21].

Enzimler

Biyofilm matrisi içerisinde, çok çeşitli hücre dışı enzimler bulunmaktadır. Bu enzimler hidrolaz, liyaz, glikozidaz ve esterazlardır. Substratları; matris içerisindeki polisakkaritler, proteinler, nükleik asitler gibi suda çözünebilir polimerler ya da selüloz, kitin ve lipit gibi suda çözünmeyen polimerlerde olabilmektedir. Biyofilm yapısındaki bu enzimler biyofilm oluşum aşamasında tutunan mikroorganizmaların metabolizmasında enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır [5, 22].

Su

Biyofilm yapısının %97'sini su oluşturmaktadır. Matris içindeki diğer bileşenler ise; %0-2 EPS (ekzopolisakkarit veya ekstrasellüler matris), %0-2 globüler glikoproteinler ve diğer proteinler, %0-2 DNA, lipit ve fosfolipitlerdir. Bu oranlar, biyofilm oluşumunda mikroorganizmaların türüne, fizyolojik özelliklerine, ortamın pH değerine, akışkanın şekline ve fiziksel özelliklerine göre değişmektedir [23].

BİYOFİLM OLUŞUMU

Biyofilm oluşumu için bakterilerin yüzeye yakın olması gerekmektedir. Bakteriler bir yüzeye yaklaştıkça yüzeyden 10-20 nm mesafede bakteri yüzeyindeki negatif yükler, çevre yüzeyindeki negatif yüklere itilmektedir. Bu itme, bakteriyel hücreler ve yüzey arasındaki Van der Waals kuvvetleriyle sağlanır ya da yüzeye mekanik bağlantı sağlamak için fimbria ve flagella kullanımı ile gerçekleşmektedir [24]. Biyofilm oluşumu 5 aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar dönüşümlü tutunma, dönüşümsüz tutunma, mikrokoloni oluşumu, olgunlaşma ve ayrılımdır.

Dönüşümlü Tutunma

Bakteri yüzeye tam olarak temas etmemektedir ve bakteri ile yüzey arasında uzun mesafeli etkileşimler oluşmaktadır. Bunlar hidrofobik ve Van der Waals bağları olup zayıf etkileşimlerdir. Yüzeye ilk temasta hidrofobik etkileşimler önemli bir yere sahiptir. Hücreler bu fazda, Brownian hareket (hücrenin olduğu yerde titreme hareketi) göstermektedirler. Bu oluşum basit yıkama işlemleri ile kolayca uzaklaştırılabilmektedirler [25].

Dönüşümsüz Tutunma

Dönüşümsüz tutunmada yüzeye kısa mesafeli olan dipol-dipol, iyon-dipol, iyonik ve kovalent bağlar ile hidrofobik ve hidrojen etkileşimler yer almaktadır. Bakteriler flagella ve fimbria ile EPS oluşturarak yüzeylere dönüşümsüz bağlanabilmektedirler [25]. Katyonlar, çeşitli makromoleküller ve koloidal materyaller boru hatlarında tutulduğunda, mikroorganizmalar öncelikle organik materyale dönüşümlü olarak, sonra da flagella ve fimbriaları ile dönüşümsüz olarak tutunmaktadır. Yüzeye tutunan bakteriler, membrana bağlı proteinlerden EPS üretmektedir. Ancak EPS

oluşturmayan bakteri türleride yüzeylere bağlanabilmektedir. Dönüşümsüz basamağın uzaklaştırılması fırçalama ve kazıma gibi güçlü işlemlerle yapılması gerekmektedir [25].

Kolonizasyon ve Mikrokoloni Oluşumu

Yüzeye tutunan bakteriler gelişerek çoğalmaktadır ve böylece yüzeyde ilk koloni oluşumu gözlenmektedir. Farklı bakteri türlerinin de gelişimiyle ikincil koloni oluşumu görülmektedir. Biyofilmin büyümesiyle matris içinde kapsül oluşturan mikroorganizma sayısında artış gerçekleşmektedir. Daha sonra mikrokoloniler büyüyerek mantara benzeyen yapılara veya kulelere dönüşmektedirler. Farklı yüksekliklerdeki mikrokolonilerin arasında, besin taşınması ve metabolik atıkların uzaklaştırılması için mikro boyutta su kanallarına benzeyen yapı bulunmaktadır [26].

Olgunlaşma

Biyofilmin mikrokoloni oluşumundan sonra biyofilimle ilgili genlerin ekspresyonu gerçekleşmektedir. Bu gen ürünleri biyofilmin ana yapı malzemesi olan EPS için gereklidir [27]. Mikrokoloni oluşumu sonrasında, biyofilmin yapısında bulunan hücrelerin besin, oksijen gibi zorunlu maddelerin alımı ve atık maddelerin uzaklaştırılması amacıyla mikro kanalların oluştuğu aşamadır. Bu kanallar ile yapı 3 boyutlu şekil kazanmaktadır [28].

Ayrılma

Bu aşamalardan sonra mikroorganizmalar besin durumuna bağlı olarak ayrılma aşamasına geçmektedir. Ayrılma işlemi sıvı kayma kuvvetine, zayıf koheziona, oksijenin ve biyofilm içindeki besin maddesinin tükenmesine bağlıdır [29]. Ayrılmada aşınma ve dökülme aynı anda gerçekleşmektedir. Sıvı kayma kuvveti sonucunda oluşan aşınma, küçük biyofilm parçalarının uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Dökülme ise besinlerin azalması ile büyük biyofilm parçalarının rastgele ayrılmasıdır [29].

BİYOFİLM OLUŞUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Bakteri adezyonu sadece materyalin yüzey yapısıyla ilgili değildir. Yüzey pürüzlülüğüyle de ilgilidir ve yüzey pürüzlülüğü plak birikim miktarı hakkında bilgi vermektedir. Pürüzlü yüzeylerin fazla olması nedeniyle plak oluşumuna daha yatkın olduğu ve cilalanmış yüzeylerin plak oluşumu az olduğu belirtilmiştir. Laboratuvar koşullarında, pürüzlü yüzeydeki bakteri birikiminin cilalanmış yüzeylere göre fazla olduğu gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün genç biyofilm adezyonunu etkilediği ve biyofilm olgunlaşma aşamasından sonra yüzey pürüzlülüğünün biyofilm üzerinde etkisinin olmadığı bildirilmiştir [30]. Biyofilmler antibiyotikler ve dezenfektanlara karşı dirençlidirler. Biyofilm oluşturan bazı mikroorganizmaların antibiyotik etkisi ile yok olduğu, bazılarının da canlılığını sürdürdüğünü gözlemlenmiştir. Biyofilm içerisinde üreyen bakterilerin dezenfektanlara karşı direnç göstermesi, biyofilm tabakasının

dezenfektanlara karşı geçirgenliğinin az olmasına bağlıdır [31].

Bakterilerin spor formları, vejetatif formlarına göre ısı işlem ve dezenfektanlara karşı daha dayanıklıdır. Bu özellik nedeniyle sporlar, gıda ile ilgili yüzeylerde uzun süre kalabilmektedirler. Sporların fizyolojik özellikleri vejetatif hücrelere göre daha fazla biyofilm oluşturma potansiyeline sahip oldukları belirlenmiştir [32].

BIYOFİLM OLUŞTURAN MİKROORGANİZMALAR

Biyofilmler, mikroorganizmalar için koruyucu bir kalkandır. Stres koşullarına uyum sağlamak, hücreler arası iletişimi gerçekleştirmek, adezyon ve kolonizasyon oluşturmak amacıyla biyofilm yapılarını meydana getirmektedirler. Gıdalarda biyofilm oluşturan bakteriler ise *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas putida*, *P. fluorescens*, *Enterococcus faecium*, *E. faecalis*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* gibi türlerdir. Özellikle deniz ürünlerinde ve yapraklı sebzelerde risk teşkil eder. Bu bakteriler gıda kalitesi ve insan sağlığını olumsuz şekilde etkileyebilmektedir [33, 34].

E. coli, *P. aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *S. aureus*, *Streptococcus pyogenes* ile oluşturulan biyofilm yapılarında deoksiribonükleaz (DNaz) enzimi güçlü yıkımlar oluşturmaktadır. Lizostafin enzimi ile *S. aureus* biyofilmlerinin tamamen yok edildiği gözlemlenmiştir. *S. aureus* ve *S. epidermidis* suşlarına karşı α -amilazların aktiviteleri incelenmiş ve *S. aureus*'da biyofilm oluşumu 5 dakika inkübasyon ile %79, 30 dakika inkübasyon ile %89 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Lizozim enzimin ise biyofilm matriksinin sıvılaşmasına neden olarak biyofilm yapılarının oluşmasını önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir [35]. Lizozim enzimi gram pozitif bakterilerde peptidoglikan tabakadaki β -1,4-glukozidik bağları hidrolize etmesiyle hücre zarının yapısına zarar vermektedir [36].

BIYOFİLM OLUŞUMUNUN KONTROLÜ ve ENGELLENMESİ

Biyofilm oluşumunun engellenmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır. İşletmelerde temizlik etkili bir şekilde belirli aralıklarda yapılmalıdır. Mikroorganizmaların tutunabileceği organik maddelerin uzaklaştırılmasına ve dezenfeksiyon uygulamasının etkinliğine dikkat edilmelidir [4]. Biyofilmlerin engellenmesinde biyofilmin yapısına bağlı olarak, farklı yöntemler kullanılabilir. Bunlar;

- Mekanik temizlik,
- Antimikrobiyal ajanların kullanımı,
- Gerekli besinlerin sağlanmaması ile biyofilm gelişiminin durdurulması,
- Bir yüzeye mikrobiyal tutunmanın kimyasallar ile engellenmesi
- Biyofilm yapısının ayrılmaya teşvik edilmesidir.

Biyofilmi uzaklaştırmak için öncelikle yüzeye mekanik kuvvet uygulanmalıdır. Mekanik temizlik, biyofilm oluşum aşamalarının önlenmesinde çok etkilidir. Çünkü mekanik

işlemler ile yapılan temizlik, jel temizleyicilerden ya da düşük basınçlı temizlik sistemlerinden daha etkilidir. Ancak her sistem mekanik temizlik için uygun değildir. Sistemlerde ulaşımı zor noktalar bulunmaktadır [37]. Mekanik temizliğin hemen ardından uygun kimyasal temizlik (mineral ve organik asitler kullanılır) yapılmalıdır. Kullanılan asitler metallerin korozyonuna neden olabileceğinden sistem korozyon inhibitörleri ile temizlenmelidir [37]. Son yıllarda biyofilm oluşumunu engellemek için elektriksel alanlar, katalize modifiye yüzeyler, ultrason, enzimler, amonyak ve formaldehit, deterjan maddeleri, yüksek basınçlı temizleme sistemleri gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır [4]. Enzimler, biyofilm matriksinde oluşan ekstraselüler polimerleri temizlemede etki sağlamaktadır. Çeşitli mikroorganizmaların oluşturduğu biyofilm yapılarının giderilmesi için çeşitli spesifik enzimler kullanılmaktadır. Proteaz, α -amilaz ve β -glukanaz içeren karışık enzimlerin kağıt hamuru kullanımı ile endüstriyel imalathanelerde biyofilm oluşumu giderilmiştir [38].

TIP ve ENDÜSTRİYEL ALANDA BIYOFİLM

Biyofilm yıllardır endüstriyel ve tıp alanında bir sorun olarak ortaya çıkmıştır [39]. Endüstride mikroorganizmalar gıda temas yüzeylerinden tamamen uzaklaştırılmazsa biyofilm oluşturabilmektedir. Biyofilm oluşumunda ve gelişiminde bakteri suşları, materyal yüzey özellikleri ve çeşitli çevresel faktörler etkilidir [40].

Biyofilmlerin yapısının oluşumunda, mikroorganizmaların bulunduğu ortam koşulları, antimikrobiyal madde içeriği, sıcaklık, pH ve mevcut besin türü etkilidir. Bu süreçte çeşitli bakteri türleri görev almaktadır. Gıda endüstrisinde biyofilm oluşumunda yer alan mikroorganizmalar üretim şekline ve alanına göre değişmektedir. Süt endüstrisinde; *Enterobacter spp.*, *Listeria spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Micrococcus spp.*, *Streptococcus spp.*, *Bacillus spp.*, su ürünleri endüstrisinde; *Vibrio cholerae*, *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *V. alginolyticus*, *L. monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Bacillus spp.*, *Aeromonas*, *Pseudomonas spp.*, kümes hayvanları endüstrisinde; *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.*, et ensütrisinde *E. coli* O157:H7, *Acinetobacter calcoaceticus* ve son olarak hazır gıda endüstrisinde; *L. monocytogenes* ve *E. coli* O157:H7 mikroorganizmalarının biyofilm oluşumlarına rastlanılmıştır [41].

Dünya üzerinde en başarılı yaşam formu olan biyofilm tabakası ile mücadele, modern çağın en önemli sorunlarından biridir. Zor ortam koşullarında hızlı bir şekilde uyum sağlayan ve hızla gelişen biyofilme ilişkili mikroorganizmalar, birçok alanda maddi ve manevi zararlara yol açmaktadır. Biyofilm oluşumunu kontrolünde ilk aşama bakterilerin yüzeye tutunmasının engellenmesi için hijyen ve sanitasyon kurallarından ödün verilmeden doğru ve etkili bir şekilde uygulanmalıdır. Biyofilm yapılarının engellenmesi için mekanik temizleme, temizlikte antimikrobiyal maddelerin kullanımı, enzimler, ultrason gibi yeni yöntemlerde biyofilm mücadelesinde kullanılmaktadır. Gıda sanayilerinde ise biyofilm HACCP sistemlerinin

oluşturulması uygulamaların etkin bir şekilde takip edilmesi ile giderilebilmektedir [25].

Tıp Alanı

Biyofilm ilk olarak dişteki plaklardan ortaya çıkmasıyla birlikte yabancı cisim ve birçok kronik enfeksiyonda gelişim göstermiştir [42]. Tüm mikrobiyal enfeksiyonların yaklaşık %65'i biyofilm kaynaklıdır. Hastanede yatan hastalardan alınan kültür örneklerinde kolonizasyon veya enfeksiyon etkeni bakterilerin biyofilm oluşturma yeteneği görülmüştür. Planktonik formlarını azaltmak biyofilm kaynaklı enfeksiyon sayısını düşürebilmektedir [43].

Biyofilm ile ilişkili enfeksiyonlardan en sık raslanılan mikroorganizmalar *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus viridans*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Candida albicans*de olarak listelenmiştir. Bu mikroorganizmaların kaynağı hastanın florası, sağlık personellerinin elleri, çeşme suyu ya da çevresel yüzeylerdir [44].

Mikrobiyal biyofilmle hayatımızın neredeyse her alanında karşılaşmaktadır. Biyofilm oluşumu vücut içi ve vücut dışında olduğu gibi birçok yerde görülebilmektedir. Vücut içi kullanılan kateterlerde (vücut boşluğuna, damarına ya da kanalına sokulabilen tüp), kalıcı tıbbi cihaz kullanımında, kontak lenslerin kullanımında, bazı genetik hastalıklarda (kistik fibrozis gibi) ve oral ortamda görülebilmektedir. [45]. Biyofilmler ağız mukozası, mine gibi biyotik yüzeylerde ve diş hekimliğinde kullanılan cihazlarının hava su borularının iç yüzeylerinde (abiyotik yüzeylerde) gözlenmektedir [1].

Biyofilm oluşturan patojen mikroorganizmaların tespit edilmesi ve antibiyotik dirençliliklerinin belirlenmesi, hastalıkların tedavisi bakımından oldukça önemlidir. Erdoğan ve Konak [46] yılında yaptıkları çalışmada [47] stafilokok izolatlarından biyofilm oluşturanlar yüksek antibiyotik konsantrasyonlarından (20-160 kat) etkilenmedikleri saptanmıştır. Bu durum, stafilokokların biyofilm oluşturduktan sonra test edilen antibiyotiklere karşı direnç kazandıklarının bir göstergesidir.

Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Hastanesinde kan kültürlerinden izole edilen *E. coli* izolatlarında çeşitli antibiyotiklere karşı direnç oranları biyofilm pozitif suşlarda, negatif suşlara göre daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlarla biyofilm oluşturan izolatların antibiyotiklere karşı daha yüksek oranda direnç gösterdiği tespit edilmiştir. Biyofilm oluşumunu engellemek için biyofilm matriksinin yıkımı ve biyofilm üzerine antibiyotik ilaç etkinliğinin artırılması gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır [48].

Süt Endüstrisi

Biyofilmler, süt işleme tesislerinde bakteriyel kontaminasyonun temel kaynağıdır. Gıda endüstrisinde bulunan ekipmanların, su sistemlerinin biyofilmlerin oluşması gıda bozulmaları ve ekipman arızalanmaları sebebiyle ciddi ekonomik kayıplara neden olabilmektedir

[49]. Süt endüstrisinde biyofilm oluşumu sorunu günümüz teknolojik gelişmelere rağmen hala engellenememiştir. Süt, mikroorganizma gelişimi için uygun bir ortama sahiptir ve çok hızlı bozulabilen gıda ürünüdür. Süt endüstrisinde, biyofilm oluşumuna sebep olan en önemli mikroorganizmalar termodurik veya termofilik özellik gösteren basiller ve streptokoklar ile *Bacillus* türleridir. Bu mikroorganizmalar tarafından oluşturulan biyofilmler "proses biyofilmleri" olarak adlandırılmaktadır [50].

Biyofilm oluşumunda süt proteinleri önemli rol oynamaktadır. Süt endüstrisinde paslanmaz çelik yüzeyde oluşan biyofilm incelendiğinde α -kazein, β -kazein, k-kazein ve α -laktalbumin gibi süt proteinlerinin fraksiyonları *S. aureus* ve *Listeria monocytogenes* tutunmasını azalttığı gözlenmiştir. *S. aureus* kaynaklı biyofilm oluşumu basit genom yapıları sebebiyle çevreye kısa sürede uyum sağlayabilmekte ve uygun olmayan sıcaklık, pH, besin gibi çevresel stres koşullarında kolaylıkla gelişebilmektedir [51].

Biyofilm yapısını engellemek için biyofilm matrisini parçalayan bazı enzimler kullanılır. Alfa-amilaz, *Staphylococcus aureus* izolatları tarafından oluşturulan biyofilm yapısını, biyofilmin çözünmesini sağlar ve bakteri agregasyonunu önleyerek inhibe etmektedir. Bir nükleaz olan DNaz enzimi, yüzey adezini olarak görev yapan hücre yüzeyi ilişkili nükleik asitleri yıkarak ilk tutunmayı engellemektedir. Proteazlar ise hücre dışı pili, fimbriya gibi yapıları parçalayarak hücre-hücre ve hücre-yüzey etkileşimini azaltmakta ve bu şekilde biyofilm oluşumunu inhibe etmektedir [48].

Akçay ve Gündoğan 2019 yılında Ankara'da tüketime sunulan peynir ve çiğ süt örneklerinden izole edilen toplam 33 *Lactobacillus* izolatının biyofilm oluşumları ile antibiyotik dirençlilikleri incelemişlerdir [52]. Toplam 33 *Lactobacillus* spp. izolatının 12'si (%36.4) *L. plantarum*, 7'si (%21.2) *L. fermentum*, 8'i (%24.2) *L. brevis*, 3'ü (%9.1) *L. paracasei*, 2'si (%6.1) *L. zeae*, 1'i (%3.0) *L. amylolyticus* olarak tanımlanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, *Lactobacillus* izolatlarının %93.9'unun biyofilm ürettiği görülmüştür. Bu çalışmada genel olarak yüksek derece biyofilm oluşumu gözlenmiştir.

Süt endüstrisinde biyofilm oluşumunun önlenmesi bu nedenle güvenli, yüksek kaliteli süt gereksinimini karşılamada çok önemli bir adımdır. Süt ortamlarında, özellikle peynir gibi fermente ürünler üretenlerde, Laktik asit bakteri sayısı yüksek olduğunda, patojenlerin hem yüzeylere yerleşmeleri hem de çoğalmaları üzerinde güçlü bir antagonistik etkiye sahip olabileceği belirtilmektedir [53]. Süt işletmelerinde biyofilm oluşumunun engellenmesi için her zaman kaliteli hammadde almak, işletmede biyofilm oluşabilecek yüzeylerin takibini sürekli kontrol etmek, biyofilm oluşturma yeteneği yüksek mikroorganizmalara karşı etkili olan hijyen ve sanitasyon önlemlerini almak, HACCP planları oluşturmak ve uygulamak biyofilm yapısını engellemek için başvurulabilecek temel uygulamalardır [50].

Su Dağıtım Sistemleri

Biyofilm sağlık açısından su dağıtım sistemlerin de önemli sorunlara yol açmaktadır. Biyofilm suda serbest halde bulunan patojen mikroorganizmaların kaynağı olabilir ve patojen mikroorganizmanın biyofilm yapısından ayrılarak suya karışması ile salgın hastalıklar ortaya çıkabilmektedir. Biyofilm yapısında bulunan mikroorganizmalar metal yüzeylerde korozyonu artırabilmektedir [54].

Williams ve Braun-Howland, yaptıkları bir çalışmada [54] dinamik sistemden yararlanarak hipoklorik asit ve monokloramin varlığında *Escherichia coli* bakterisinin cam ve demir yüzeylerde biyofilm oluşturabilme kapasitesi ölçülmüştür. Çeşitli bakteri türlerinin biyofilm oluşumunda yapısal bir grup yüzey proteinleri önemli bulunmuştur. Bu grubunda ilk üyesi olarak *Staphylococcus aureus* mastitli sığırdan izole edilen BAP biyofilm oluşumunda gerekli olduğu bildirilmiştir. BAP bakterileri yüksek molekül ağırlıklı, biyofilm oluşturma kapasitesi sağlayan ve enfeksiyon aşamalarında önemli, 2276 amino asitlik bir proteindir. Yapılan çalışmalarla abiyotik yüzeylerde ve hücreler arası adezyon basamaklarında görev yaptığı gözlemlenmiştir.

Biyofilm bakterileri öncelikle klor olmak üzere dezenfektanlardan, toksinlerden, kuraklıktan, besinsizlikten, pH değişiminden, virüslerden korur ve hücreleri bir arada tutmaktadır. Biyofilm tabakası difüzyon kalkanı veya moleküler filtre görevi görerek mevcut mikroorganizmaları korumaktadır. Özellikle temizliği önemsenmeyen su tanklarında ve depolarda bakterilerin gelişimi için biyofilm tabakası ideal bir ortam oluşturmaktadır [55].

Su sistemlerinde çelik, polipropilen, polietilen, polibütan, ve bakır gibi birbirinden çok farklı maddelerden üretilmiş borular kullanılabilir. Kullanılan boru tipleri sistemin biyofilm tutabilme özelliğini değiştirmektedir. Su dağıtım sistemlerinde kullanılan demir, paslanmaz çelik vb. metal esaslı malzemeler ve polietilen ve polipropilenden yapılmış borularda meydana gelen biyofilm tabakası oluşumu incelenmiştir [54]. Bu boruların tercih nedenleri arasında korozyona dirençli olması, bakteri tutunmalarının azlığı, kurulum kolaylığı ve daha düşük maliyetli olması gelmektedir. 2 aylık deney periyodu sonunda, demir ve polietilen boruların iç yüzeyinde gözle görülebilen, beyaz ve kahverengi renkte, jel kıvamında ve heterojen yapıda ince bir biyofilm tabakasının olduğu gözlemlenmiştir. Bu tabaka özellikle demir boru sisteminde beyaz renkte olup oldukça kaygan ve kalın bir tabaka olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada polietilen boruların iç yüzeyinde ince bir biyofilm tabakası oluşmuştur. Demir boru sistemlerinde ise oldukça kalın biyofilm tabakası ve ilaveten oksit tabakası oluşmuştur [54].

Üç günlük bir *Bacillus* biyofilminin aşırı ısıtılmış suyla (30 dakika boyunca 125°C) muamelesi, bu bakterinin planktonik hücreleri için etkili bir temizleme yöntemi olmasına rağmen, onu tamamen etkisiz hale getirmede başarısız olmuştur. Gibson, Taylor, Hall ve Holah (1999) biyofilmin dezenfektanlara karşı direncini test etmiştir ve

ticari ürünlerin Easyclean (alkali bir deterjan) ve Ambersan'ın (asidik bir temizleyici) paslanmaz yüzeylerde *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus aureus* biyofilmlerine karşı etkili olmadığını bulmuştur. Çelik yüzeylerde mikroorganizma sayısında sadece 1 log azalma olduğu gözlemlenmiştir [56].

Biyofilm tabakalarının su sistemlerinde oluşumunu engellemek amacıyla önlemler alınmalıdır. Olgun biyofilm tabakasına dezenfektan etkisinin düşük olması sebebiyle mekanik temizlik gerektirmektedir. Mekanik temizliğin mümkün olmadığı yerlerde tortu önleyici ürünler kullanılarak biyofilm tabakasına dezenfektan erişimini kolaylaştırmaktadır. Biyofilm kontrolü su şebekelerinin sağlıklı işletilmesinde çok büyük öneme sahiptir [55].

Et Endüstrisi

Et endüstrisinde biyofilm oluşturma yeteneğiyle problem yaratan başlıca bakteriler *Staphylococcus spp.*, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Bacillus spp.*, *Listeria monocytogenes* olarak sıralanmıştır. Özellikle üretim esnasında uygulanan traşlama, kesme, yıkama, çalkalama, drenaj sistemlerinin kullanımı ve paketlenme gibi işlem basamaklarında biyofilm oluşumu ortaya çıkmaktadır [14]. Biyofilm, üretildiği bakteriye antibiyotiklerden, dezenfektanlardan, kimyasallardan korunma gibi birçok avantaj sağlamaktadır. Stafilokokların biyofilm oluşturma özellikleri sayesinde tıbbi aletlere, gıda işletmelerindeki ekipmanlara, tezgah yüzeylerine tutunabilmekte ve çapraz kontaminasyonla gıdalara bulaşabilmektedir. Gündoğan ve Ataol [57] 2012 yılında Ankara'da satışa sunulan kıyma ve tavuk örneklerinden stafilokokların izole edilmiş ve biyofilm üretimleri ile DNaz aktivitelerini araştırmıştır. Et örneklerinden (kıyma ve tavuk but) izole edilen stafilokok türleri Kıyma örneklerinden toplam 12 (%21,4), tavuk örneklerinden toplam 17 (%41,5) biyofilm pozitif izolat elde etmiştir. Kıyma örneklerinde üç *S. aureus* (%50), bir *S. epidermidis* (%50), bir *S. hominis* (%14) ve yedi *S. xyloso* (%19) izolatında biyofilm üretimi saptanmıştır. Tavuk örneklerinde de üç *S. hominis* (%50), bir *S. capitis* (%11,1), dört *S. cohnii* (%40) ve dokuz *S. simulans* (%69,3) izolatında biyofilm üretimi gözlemlenmiştir.

Özellikle tavuk eti olmak üzere gıdalarla bulaşan en önemli patojenlerden biri olan *Salmonella*, çeşitli yüzeylerde biyofilm oluşturabilmektedir. Domuz mezbahalarında hayvan ve çevresel kaynaklardan (et ile temas eden ve temas etmeyen yüzeyler) izole edilen 40 *S. enterica* izolatı, 22°C'de inkübasyondan sonra oluşan biyofilm miktarını 35°C'de inkübasyondan sonra oluşan biyofilm miktarından önemli ölçüde yüksek olduğunu görülmüştür. Domuz zincirinden alınan 172 *S. Typhimurium* izolatının, tanımlanmış çevresel büyüme koşulları altında bir dizi farklı yüzeylerde biyofilm oluşturma yetenekleri için özellikleri, suşların çoğunun yüzeye bağlı olarak biyofilm oluşturma yeteneklerine sahip olduğunu ortaya koymuştur ve ayrıca bu formda yüksek klor konsantrasyonlarında hayatta kalmıştır [53].

L. monocytogenes, esas olarak bağımsızlığı baskılanmış bireyleri etkileyen nispeten nadir ancak yaşamı tehdit eden bir hastalık olan listeriosise neden olan gıda

kaynaklı önemli bir patojendir. İşleme ekipmanına yapışıp biyofilm üretebilmektedir. Et işleme ortamlarından elimine edilmesini zorlaştırmaktadır ve ürünlerin potansiyel kontaminasyonuna neden olmaktadır [53].

S. aureus, çeşitli gıdalarda ısıya dayanıklı bir dizi enterotoksin üreterek insanlarda gıda kaynaklı zehirlenmelere neden olan başlıca bakteri türlerinden biridir. Gıda ile temas eden yüzeylerden izole edilen *S. aureus*, 28 ve 7°C'de et bazlı bir et suyunda yetiştirildiğinde polipropilen yüzeyler üzerinde yüksek yapışma ve biyofilm oluşturma kapasitesi sergilemiştir. Ayrıca, biyofilm hücreleri sodyum hipoklorit (250 mg/L) ve perasetik asit (30 mg/L) dezenfektanlarına maruz bırakıldıklarında tamamen yok edilememiştir [53].

Biyofilm oluşumu çürükçül ve patojen mikroorganizmaların gıda ya da gıda yüzeylerine tutunma ihtimali bulunması sebebiyle hijyen ve gıda güvenliği istenmemektedir. Gıda endüstrisinde her yıl gıda kökenli patojen mikroorganizmalar önemli derecede ekonomik kayıplara yol açmaktadır [58]. Biyofilm et işletmelerinde işleme ve paketlemede önemli kontaminasyonlara neden olduğu, ürünün raf ömrünü azaltarak ekonomik kayıplara neden olduğu gözlemlenmiştir. Gıdalarla yapılan farklı çalışmalar incelendiğinde soslu sandviç ve etli salataların hazırlandığı yüzeylerden alınan örneklerden izole edilen *L. monocytogenes* suşları, karma bir şekilde paslanmaz çelik ve plastik yüzeylere bırakılıp biyofilm oluşturma güçleri incelenmiştir. Sonuçta üretim yüzeyindeki yağ ve ürün kalıntılarının biyofilm oluşumunu zamanla arttırdığı ve plastik yüzeylerde paslanmaz çelik yüzeylere göre daha iyi bir gelişim olduğu bildirilmiştir [25].

Su Ürünleri Endüstrisi

Su ürünleri protein ve diğer azotlu bileşenleri içermeleri sebebiyle besin değeri yüksektir. Bu nedenle mikrobiyal bozulmaya karşı hassastır. Su ürünlerinin üretildiği işletmelerde, bakterilerin yüzeye tutunduğu yerden tamamen uzaklaştırılmadığı durumlarda gıda kalitesini ve güvenliğini tehdit eden biyofilm oluşumlarının incelendiği çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların birinde balık derisinde biyofilm gelişiminin 14 saat içinde olabileceği ortaya konmuştur [59].

Dünyada bulunan mikroorganizmaların biyofilm içerisinde bulunma oranının %80 olduğu gözlemlenmiştir. Balık sağlığı üzerinde mikrobiyal biyofilmlerin etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Balık enfeksiyonlarına neden olan ve biyofilm oluşturan mikroorganizmalar araştırıldığında *Listeria*, *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio*, *Bacillus* ve *Aeromonas* bakterilerinin yer aldığı gözlenmiştir [38].

Balık patojenlerinin ahşap, metal, fiberglas, cam üzerinde güçlü biyofilm oluşturduğu görülmüştür. Yetiştiricilik ünitelerinde çokça kullanılan bu dört materyalde güçlü biyofilm oluşumunun varlığı balık sağlığı üzerinde ciddi bir tehdit unsurudur. Su ürünleri yetiştiriciliğinde balığın vücudunda ve tesislerde kullanılan metal yüzeyler, dondurucular, balık ağları gibi birçok materyalin yüzeyinde biyofilm görülmektedir [60].

Taşıma bantlarından (*Listeria*, *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Brochothrix*, *Serratia*, *Acinetobacter*, *Rhodococcus* ve *Chryseobacterium*) izole edilen tüm cinsleri temsil eden bir bakteri izolatları karışımı, yaklaşık 109 paslanmaz çelik yüzeylerinde (12°C, somon suyu) stabil biyofilmler oluşturmuştur. 2 gün sonra CFU/cm². Yüksek verimli dizileme, *L. monocytogenes*'in biyofilm popülasyonunun %0.1-0.01'ini temsil ettiğini ve *Pseudomonas spp.*'nin baskın olduğunu göstermiştir [53].

Balık endüstrisinde biyofilm oluşumunu durdurmada esas amaç bakterilerin biyofilm yapısını oluşturmadan önce engellenmesidir. Biyofilm oluşturamamış bakteriler düşük enfeksiyon gücüne sahiptir. Balık hastalıklarıyla mücadelede biyofilm oluşumunun engellenmesinin önemli olduğu gözlemlenmiştir [60]. Balık endüstrisinde biyofilmin engellenmesi için malik asit, lizozim, sarımsak yağı, kekik yağı araştırılmıştır. Bu araştırmalar ışığında biyofilm yapısını engelleyici özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir [61].

SONUÇ

Biyofilm yapıları uygun ortam sağlandığında kolaylıkla çoğalıp, özellikle tıp alanında ve gıda sanayisinde ciddi sorunlara yol açmaktadır. Gıda kaynaklı bakteriyel patojenler olmak üzere birçok mikroorganizma, büyümeyi etkileyen kritik çevre koşulları uygun olduğunda hem biyotik hem de abiyotik çeşitli yüzeylere tutunmayı ve bunlar üzerinde biyofilm oluşturmaya tercih etmektedir. Gıda işleme ortamlarında bu tür biyofilm oluşumu, gıda kontaminasyonuna ve hastalıkların bulaşmasına yol açabilmektedir [53].

Biyofilmler su boru hatları, su depoları, süt toplama tankları, makine ve teçhizat yüzeyleri ile gıdaların temas ettiği alanlarda kolaylıkla gelişip çoğalmaktadır. Biyofilm yapılarının engellenmesi için özellikle kullanılan alet ve ekipmanların temizliğine dikkat edilmelidir. Gıda endüstrisinde ve tıp alanında hijyen ve sanitasyon kurallarına uyularak etkin bir temizlik ile biyofilm yapısının önlenilebileceği gözlemlenmiştir.

Gıda endüstrisinde gıda kalitesini ve güvenliğini kontrol etmek için İyi Üretim Uygulamaları (Good Manufacturing Practice, GMP) ve Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP) oluşturulmuştur. Gıda üretim sürecinde kullanılan yüzey ve ekipmanlar biyofilm oluşturan mikroorganizma türüne göre uygun dezenfektanlar ile temizlenmelidir. Son yıllarda biyofilm oluşumu ve gelişimi endüstride ciddi sorunlara yol açtığı için yüzeyde oluşan biyofilm yapılarının engellenmesinde enzimler, CIP ve HACCP sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bakteriyel biyofilmler, gıda işleme tesislerinde kullanılan HACCP sisteminde tam olarak ele alınmamıştır. Bu nedenle, gıda ortamlarında biyofilmin araştırılması ve etkili bir sanitasyon planının geliştirilmesi HACCP sisteminde dikkate alınmalıdır. Gıda fabrikalarında biyofilm değerlendirilmesine sahip üst düzey bir HACCP, kontaminasyon hakkında daha net bilgi sağlayacak ve gıda endüstrisinde biyofilm içermeyen işleme sistemlerinin geliştirilmesine yardımcı olacaktır [56].

Biyofilmler kimyasal ve fiziksel işlemlere karşı oldukça dayanıklıdır. Dezenfektan kalıntıları da zararlıdır. Bu nedenle gıda endüstrisinde kullanım için güvenli biyofilm inhibitörlerinin araştırılması gerekmektedir. Geleneksel kimyasal ve fiziksel yöntemlerin sağlık ve çevreye karşı olumsuz etkilerini önlemek için de biyolojik anti-biyofilm ajanlarının geliştirilmesinde kullanılabilecek mikroorganizmaların araştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Tek güçlü biyolojik bir ajan, biyofilmlerin zayıflamasını indükleyebilir ancak gıdalarda bakteri türleri tarafından oluşturulan olgun biyofilmleri önlemede veya inhibisyonunda yetersiz kalabilmektedir. "Engeller teknolojisi" olarak adlandırılan iki veya daha fazla kontrol yaklaşımının doğru kombinasyonu bu sorunun üstesinden geleceği düşünülmektedir [62].

Pratikte herhangi bir biyofilm yapısını engellemek veya yok etmek deneysel ortamda oluşturulan tek tür biyofilmleri incelemekten çok daha karmaşık bir durumdur. Ancak deneysel ortamdan elde edilen bilgiyi başarılı bir şekilde endüstri ortamına uygulayabilmek için biyofilmler araştırılmalıdır. Kontrol stratejilerini değerlendirmede daha iyi model sistemler ve daha güvenilir teknikler geliştirilmelidir [53]. Özellikle son yıllarda biyofilm oluşumunun önlenmesi ya da oluşan biyofilmin ortadan kaldırılması hususunda ortaya çıkan teknolojik gelişmeler, biyofilm konusunun önemini ve güncelliğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kam Hepdeniz, Ö., Seçkin, Ö. (2017). Dinamik mikrobiyal bir yaşam: Oral biyofilmi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 8(3), 47-55.
- [2] Tülüçe, G., Temelli, S., Eyigör, A. (2021). Gıda ortamında hayata tutunma: bakteriyel çoğunluk algılama. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 92(1), 83-94.
- [3] Çelik, Ç.E. (2018). *Salmonella Typhimurium* Biyofilm Yapılarında Edna'nın Rolü ve Biyofilm ile Mücadelede Enzim ve Antibiyotik Uygulaması Yoluyla Biyofilm Yapılarının Zayıflatılması. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- [4] Gün, İ., Ekinci, F.Y. (2009). Biyofilmler: Yüzeylerdeki mikrobiyal yaşam. *Gıda Dergisi*, 34(3), 165-173.
- [5] Sakr, E.A.E., Massoud, M.I., Ragaee, S. (2021). Food wastes as natural sources of lactic acid bacterial exopolysaccharides for the functional food industry: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 189, 232-241.
- [6] Wang, B., Song, Q., Zhao, F., Xiao, H., Zhou, Z., Han Y. (2019). Purification and characterization of dextran produced by *Leuconostoc pseudomesenteroides* PC as a potential exopolysaccharide suitable for food applications. *Process Biochemistry*, 87, 187-195.
- [7] Büyüktarakçı Koç, B. (2015). Mastitisli Sütlerden İzole Edilen Stafilkokların Biyofilm Üretme Yeteneğinin Fenotipik ve Genotipik Yöntemlerle Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Aydın.
- [8] Köse, H. (2014). *Staphylococcus aureus* ve *Pseudomonas aeruginosa* Biyofilm Tabakası Üzerine Çeşitli Dezenfektanların Etkinliğinin Karşılaştırılması. Tıpta Uzmanlık Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, İzmir.
- [9] Gupta, P., Sarkar, S., Das, B., Bhattacharjee, S., Tribedi, P. (2016). Biofilm, pathogenesis and prevention-a journey to break the wall: a review. *Arch Microbiol*, 198, 1-15.
- [10] Flemming, H.C., Winender, J., Szewzyk, U., Steinberg, P., Scott, A., Kjelleberg, S. (2016). Biofilms: an emergent form of bacterial life. *Nature Reviews Microbiology*, 14(9), 563-575.
- [11] Akçelik, N., Akçelik, M. (2017). Bakteriyel biyofilmler ve konakçı savunma sistemi ile etkileşimleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 33(1), 15-28.
- [12] Kuba, M. (2012). İçme Suyu Pompalarında *Escherichia coli*'nin Oluşturduğu Biyofilm Yapısının İncelenmesi ve Oluşmasının Önlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Mikrobiyoloji ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, İzmir.
- [13] Biçer, M. (2018). Bakteriyel Biyofilm Oluşumunu Engelleyecek Moleküllerin Sentezi ve Anti-Biyofilm Etkinliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Çorum.
- [14] Orhan Yanıkan, E. (2020). Et Kaynaklı Bakterilerin Biyofilm Oluşturma Yeteneklerinin ve Antibiyofilm Duyarlılıklarının Araştırılması. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- [15] Akın, N., Akın, M. (2010). Gıda Mikrobiyolojisine Giriş, Önemli Mikroorganizmalar ve Mikroorganizma Kaynakları. Gıda Mikrobiyolojisi (Editör: O. Erkmen) Efil Yayınevi, Ankara.
- [16] Demirhisar, M.A. (2010). Bazı Patojenik Bakterilerin Su Ürünleri İşletmelerinde Kullanılan Yüzeylerde Biyofilm Oluşturmasına Dezenfektanların Etkisi. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı, İzmir.
- [17] Ünal, D. (2011). Çeşitli Klinik Örneklerden İzole Edilen *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Staphylococcus* ve *Candida* Cinsi Mikroorganizmalarda Biyofilm Varlığının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- [18] Akyıldız, S. (2015). Gıda Kaynaklı *Salmonella* İzolatlarında Biyofilm Varlığının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- [19] Çece, E.N. (2011). *Staphylococcus epidermidis* Biyofilmlerine Karşı Antimikrobiyal Aktivite Gösteren Bakteriyofajların İzolasyonu ve Karakterizasyonu. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Anabilim Dalı, Ankara.
- [20] Devaraj, A., Buzzo, J.R., Mashburn-Warren, L., Gloag, E.S., Novotny, L.A., Stoodley, P., Bakaltz, L., Goodman, S.D. (2019). The extracellular DNA lattice

- of bacterial biofilms is structurally related to Holliday junction recombination intermediates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(6), 50-60.
- [21] Montanaro, L., Poggi, A., Visai, L., Ravaioli, S., Campoccia, D., Speziale, P., Arciola, C.R. (2011). Extracellular DNA in biofilms. *The International Journal of Artificial Organs*, 34(9), 24-31.
- [22] Güneş, B. (2018). *Enterococcus Faecalis* Biyofilm Yapısında eDNA' nın Rolü ve Biyofilmi ile Mücadelede Enzim ve Antibiyotik Uygulanmasıyla Biyofilm Yapılarının Zayıflatılması. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Biyoteknoloji Enstitüsü, Temel Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- [23] Özdemir, T. (2014). Yara Yerinden İzole Edilen *Staphylococcus Aureus* Suşlarının Biyofilm Oluşumunun Konvansiyonel ve Moleküler Yöntemlerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- [24] Osmanı, A. (2020). Antifungal-Daptomisin Kombinasyonlarının *Candida albicans-Staphylococcus epidermidis* Biyofilmine, Antifungal-Meropenem Kombinasyonlarının *Candida albicans-Pseudomonas aeruginosa* Biyofilmine Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Kocaeli.
- [25] Duran, T. (2011). Midye Kabuğu Tozunun Paslanmaz Çelik Yüzeylerde Oluşan Biyofilm Temizleme Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- [26] Onur, M. (2021). Aydın İlinde Satış Tezgahlarında Tüketime Sunulan Gıdalarda Biyofilm Oluşturan Bakterilerin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Aydın.
- [27] Taşkan, B. (2019). Membran Biyofilm Reaktöründe Biyofilm Kalınlığının Sinyal İletiminin Önlenmesi Yöntemi ile Kontrolü. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- [28] Canberi, H.A., URL, (2020). Evrim Ağacı. <https://evrimagaci.org/biyofilm-nedir-biyofilm-olusumu-neden-onemlidir-8514>, (Erişim Tarihi:02.06.2020).
- [29] Germeç, M. (2014). Keçiboynuzu Ekstraktı Kullanılarak Tekrarlanan-Kesikli Fermentasyon Yöntemiyle Biyofilm Reaktörde Etanol Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya.
- [30] Yaman Dosdoğru, E., Pınar Erdem, A., Sepet, E., Aytepe, Z. (2014). Restoratif Materyallerin Dental Biyofilm Üzerine Etkileri. *Atatürk Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 24(8), 89-97.
- [31] Ünal, D., Tayfur, M. (2017). Biyofilm, *Güncel Gastroenteroloji Dergisi*, 21(2), 108-114.
- [32] Yesilcimen Akbas, M., Şar, T. (2018). *B. cereus* biyofilmlerinin sitrik asit uygulamaları ile kontrolü. *Gıda Dergisi*, 43(4), 605-616.
- [33] Evren, M., Apan, M., Tutkun Şıvgın, E., Yegin, B. (2018). Gıdalarda Biyofilmin Önemi. Türkiye 13. Gıda Kongresi Poster Sunumu.
- [34] Karaderi, C.C., Kahraman, H. (2018). *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus*'ün evsel atık kızartma yağ ortamında biyofilm oluşumu, bakteri hücre sayımı ve hücre yoğunluğu. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 118-121.
- [35] Aydemir Hançer, D. (2018). Bakteriyal biyofilmlerin biyolojik önemi ve etkili kontrol stratejileri. *Türk Yaşam Bilimleri Dergisi*, 3(1), 218-230.
- [36] Filik, F., Kubilay, A. (2019). Bazı bakteriyel balık patojenlerinde biyofilm oluşumunun farklı in vitro metodlarla tespiti. *Türk Su Bilimleri Dergisi*, 15(3), 378-390.
- [37] Doğruöz, N. (2014). Endüstriyel sistemlerde mikrobiyolojik korozyon ve önlenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 26-38.
- [38] Kılıç, T. (2016). Yüksek Miktarla Biyofilm Oluşturan Termofilik Basillerin Çeşitli Yüzeylerdeki Biyofilm Yapılarının Analizi ve Biyofilmin Giderimi ile Biyokorozyonun Önlenmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- [39] Öztürk, Ş.B., Sakarya, S., Öncü, S., Ertuğrul, M.B. (2008). Biyofilmler ve yabancı cisim infeksiyonları. *Klinik Dergisi*, 21(3), 79-86.
- [40] Karaoğlu, B. (2020). Balık Patojeni *Staphylococcus Warneri*, *Aeromonas Sobria*, *Aeromonas Hydrophila* Suşlarının Biyofilm Oluşturma Yeteneklerinin Elektron Mikroskopi Tekniği ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [41] Ünal Turhan, E., Erginkaya, Z. (2019). Bakteriyel biyofilmlerdeki antimikrobiyel direnç mekanizması. *Akademik Gıda*, 17(1), 131-139.
- [42] Yavuz, G., Türetgen, İ. (2018). Nanoteknolojik dezenfektanların heterotrofik biyofilmler üzerine etkisi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 75(4), 323-332.
- [43] Hortaç İhtar, E., Eda Alışkan, H.E., Başustaoğlu, A. (2020). Metisiline duyarlı ve dirençli *Staphylococcus aureus* izolatlarının biyofilm oluşturma özelliklerinin konvansiyonel ve moleküler yöntemlerle belirlenmesi. *Mikrobiyoloji Bülteni Dergisi*, 54(2), 223-234.
- [44] Beğendik, F. (2003). İnfeksiyon hastalıkları ve klinik mikrobiyolojide biyofilm. *Flora Dergisi*, 8(4), 271-277.
- [45] Bağlar, S., Örün, T., Keskin, E. (2015). Doğal yaşam ve oral dokularda biyofilm. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 16(3), 41-50.
- [46] Erdoğan, S.F., Konak, S. (2020). Bazı antibiyotiklerin biyofilm oluşturan stafilokok izolatları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 838-845.
- [47] Halipçi Topsakal, H.N., Aydoğan, O., Özdemir S., Köksal Çakırlar F. (2019). Kan kültürlerinden izole edilen *Escherichia coli* izolatlarının biyofilm oluşumu ve antibiyotik direnci üzerine etkisi. *Experimed*, 9(2), 60-64.
- [48] Altınok, Ö., Gürpınar, Ö., Eser, Ö. (2018). Bakteriyel biyofilmler. *Tıp Fakültesi Klinikleri Dergisi*, 1(2), 45-51.

- [49] Kılıç, T., Karaca, B., Çöleri, Cihan, A. (2021). Abiyotik yüzeylerde termofilik *Anoxybacillus Rupiensis* DSM 17127t suşunun oluşumu ve polistiren yüzeyler üzerindeki biyofilm yapısının giderimi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 455-470.
- [50] Ayhan Kütük, D. (2016). Süt İşletmelerinde Biyofilm Oluşturan Mikroorganizmalar ve Biyofilm Oluşumunun Karakterizasyonu. Doktora Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- [51] Kaya, F. (2016). Süt İşletmelerinden İzole Edilen *Staphylococcus Aureus* Suşlarında icaA ve icaD Genleri ve Biyofilm Üretimini Tespiti. Yüksek Lisans. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, Konya.
- [52] Akçay, D., Gündoğan N. (2019). Çiğ süt ve peynir örneklerinden izole edilen *Lactobacillus tür*'lerinin slime ve biyofilm oluşumları ile antibiyotik dirençliliklerinin incelenmesi. *SETSCI Conference Proceedings*, 4(1), 634-639.
- [53] Giaouris, E.E., Simoes, M.V. (2018). Pathogenic Biofilm Formation in the Food Industry and Alternative Control Strategies. *Foodborne Diseases*, Edited by: Alina Maria Holban and Alexandru Mihai Grumezescu, Academic Press, 309-377.
- [54] San Keskin, N.O., Kahveci, E.F. (2019). Polietilen ve demir boru sistemlerinde oluşan mikrobiyel biyofilmlerin karakterizasyonu. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 31(1), 1-8.
- [55] Türetgen, İ. (2006). Su şebeke sistemlerinde mikrobiyal biyofilm tabakası. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 92, 29-32.
- [56] Shi, X., Zhu, X. (2009). Biofilm formation and food safety in food industries. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 407-413.
- [57] Gündoğan, N., Ataoğlu, Ö. (2012). Et örneklerinden izole edilen *Staphylococcus aureus* ve koagülaz negatif stafilokok'ların biyofilm üretimi ve DNaz aktivitelerinin belirlenmesi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(3),135-142.
- [58] Dinçer, E., Tutar, U. (2017). *Listeria* standart suşlarının zamana bağlı biyofilm oluşturma kapasiteleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 38(2), 322-328.
- [59] Yaman, F. (2019). Balıklarda Biyofilm Oluşumu ve Kontrolü, İzole Edilen Bakterilerin Moleküler Tanısı. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans, 5-7.
- [60] Pippo, F.D., Gregorio, L.D., Congestri, R., Tandoi, V., Rossetti, V. (2018). Biofilm growth and control in cooling water industrial systems. *FEMS Microbiology Ecology*, 94, 1-13.
- [61] Galie, S., Garcia-Gutierrez, C., Miguelez, E.M., Villar, C.J., Lambo, F. (2018). Biofilms in the food industry: health aspects and control methods. *Frontiers in Microbiology*, 9, 898.
- [62] Touthik, S.H., Rahaman Mizan, M.F., Hossain, M.I., Ha, S.D. (2020). Fighting with old foes: The pledge of microbe-derived biological agents to defeat mono- and mixed-bacterial biofilms concerning food industries. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 413-425.
- [63] Laxmi, M., Sarita, G.B. (2018). Biofilms in Food Industry: Mitigation Using Bacteriophage. *Advances in Biotechnology for Food Industry*, Edited by: Alina Maria Holban and Alexandru Mihai Grumezescu, Academic Press, 393-423.