

Research Paper / Araştırma Makalesi

## Instrumental and Sensory Measurements of Ezine Cheese Texture

Mehmet Seçkin Aday, Cengiz Caner, Yonca Karagul Yuceer

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering-Architecture, Canakkale Onsekiz Mart University, Canakkale, Turkey  
E-mail: yoncayuceer@comu.edu.tr

### ABSTRACT

Instrumental and sensorial methods of texture profile analysis (TPA) were used to describe textural properties of Ezine cheese. Ezine cheeses produced by a local producer were stored in tin plate containers (2 kg each) at 2-4 °C for 12 months, and textural changes of cheese samples were determined during storage. Results of instrumental texture profile analysis showed that aging made cheese samples more adhesive and less cohesive. In sensory analysis, springiness and number of particles scores were lower at the end of the ripening than other days. Significant correlations were found between sensory attributes including rate of recovery and number of particles with instrumental springiness, instrumental gumminess, instrumental chewiness and instrumental resilience.

**Key Words:** Ezine cheese, Texture, Sensory, Texture profile analysis

### Ezine Peyniri Tekstürünün Enstrümental ve Duyusal Olarak Belirlenmesi

#### ÖZET

Bu çalışmada enstrümental ve duyusal tekstür profil analizi (TPA) yöntemleri Ezine peynirinin tekstürel özelliklerini tanımlamak için kullanılmıştır. Lokal bir peynir üreticisi tarafından üretilen Ezine peynirleri teneke ambalajlarda (2 kg) 2-4 °C'de 12 ay boyunca depolanmış ve depolama süresince peynir örneklerinin tekstürel değişimleri belirlenmiştir. Enstrümental tekstür profil analiz sonuçları peynirlerde olgunlaşma süresince iç yapışkanlığın arttığını ve dış yapışkanlığın ise azaldığını göstermiştir. Duyusal analizde depolama sonunda esneklik ve partikül sayısı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Duyusal parametrelerden olan elastikiyet oranı ve partikül sayısı ile enstrümental ölçümlerden olan esneklik, sakızimsılık, çiğnenebilirlik ve elastikiyet arasında yüksek korelasyon olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ezine peyniri, Tekstür, Duyusal, Tekstür profil analizi

#### INTRODUCTION

Texture has an important effect on the consumer acceptance of foods. Texture and food structure are linked, and structural composition of foods determines the sensory perception [1]. International Organization for Standardization [2] defines texture as a sensory characteristic perceived largely by way of the senses of movement and touch. Both sensorial and instrumental methods can be used to determine textural properties of foods. Instrumental texture profile analysis (ITPA) imitates the actions of the human mouth. Due to limitations of time, panel training, panelist psychology and labor-intensive nature of sensory analysis, instrumental methods have been designed to measure food properties that relate to relevant sensory characteristic [3]. Texture Profile Analysis is used as common instrumental measurement for cheese-texture evaluation [4].

Relationship between instrumental and sensory measurements of cheese texture was investigated by Drake et al. [5]. These authors analyzed different kinds of cheeses including Cheddar, Brie, Feta, Muenster, Parmesan and processed cheeses. Multivariate analysis showed that many of the sensory and instrumental analysis were highly correlated to each others. Textural properties of different cheeses were also studied [6, 7, 8]. Some texture descriptors for full fat and low fat cheeses were firmness, cohesiveness, slipperiness of mass, stickiness to teeth, adhesiveness in the mouth [8]. Attributes evaluated by hand were firmness, rubberiness, brittleness, stickiness and slipperiness. Adhikari and coworkers [6] investigated texture attributes of low fat, full fat and smoked cheeses (Cheddar, Gouda and Swiss). Some texture terms developed for these cheeses were grainy, hardness, first bite-sticky, creamy and mouth coating.

In a study, textural properties of 10 Cheddar cheeses were investigated by sensory and instrumental methods over a 9-month ripening period, and significant correlations between sensory and instrumental parameters were found [9]. For example, sensory rubbery correlated with instrumental firmness, chewiness, fracture stress and springiness [9]. Romeih and coworkers [10] determined the textural properties of low fat white-brined cheeses made from bovine milk and fat mimetics by instrumental and sensory analysis. They did not find any significant relationship between sensory attributes and mechanical parameters.

Ezine cheese is a semi hard cheese and has a salty and sour taste. It is a full fat white cheese made from a mixture of cow, sheep and goat milk. It is ripened in tinplate packages for at least 8 months [11]. Karagul-Yuceer and coworkers [11] determined the sensory descriptors for 22 Ezine cheese samples provided from local market, and they generated 10 texture terms by hand, mouth and residual techniques.

The objectives of this study were to determine the changes in texture properties by both instrumental and sensory texture profile analyses using both hand and mouth evaluated terms by experienced panel members during storage, and to correlate, if any, texture attributes measured by these two methods.

## MATERIALS and METHODS

### Cheese Samples

Cheeses were produced by a local producer in May. Samples were stored in tin plate containers (2 kg each). Cheeses were analyzed every 3-month. Duplicate cheese samples were used for each period. Cheeses were ripened at 2-4°C for 12 months.

### Texture Profile Analysis (TPA)

Texture properties of the cheese samples were determined by a Texture Analyzer TA-XT2 (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, the UK). Cheeses were carefully cut into pieces (15 x 15 mm) with a cheese slicer. At least ten measurements were performed on each cheese. American Association of Cereal Chemists

(AACC) standard 36 mm cylinder probe with radius P/36 R and 25 kg load cell was used. TPA parameters recorded were hardness, adhesiveness, springiness, gumminess, chewiness, cohesiveness, and resilience measured by the software at 40 % compression with pre-test speed 1.0 mm/sec, test speed 0.4 mm/sec, post test speed 0.4 mm/sec and a rest period of 5 s between two cycles.

The data obtained from the force relaxation curve were used to calculate maximum and residual force, while the data obtained from TPA curve were used for the calculation of textural parameters (Figure 1). Amongst the TPA parameters, hardness was expressed as maximum force for the first compression, whereas adhesiveness was expressed as negative force area for the first bite or the work necessary to pull the compressing plunger away from the sample. Cohesiveness was a measure of the degree of difficulty in breaking down the internal structure. Cohesiveness and springiness were reported as ratios between areas under second and first compression and the height that the sample recovers during the time that elapses between the end of first bite and initiation of the second one, respectively. Resilience reflects the reformation capacity of tissue after penetration [12, 13].

### Sensory Analysis

A nine-member panel (four female, five male) evaluated cheeses in terms of textural properties during 12-month storage. Panelists were staff members and graduate students in the Department of Food Engineering at Canakkale Onsekiz Mart University. Panelists' ages ranged from 24 to 39y. Texture terms developed by Karagul-Yuceer and coworkers [11] for Ezine cheese were introduced to panelists. Definitions of the terms were listed in Table 1. Panelists quantified the attributes using 15-point product specific scales anchored on the left with 'not' and on the right with 'very' [14]. The panel received about 50h of training during generation and definition of descriptive terms. Each training session was about an hour. Cheeses were presented in 3-digit coded styrofoam plates. Duplicate samples were served in different sessions. All panelists evaluated the same cheese sample in a randomized order.

Table 1. Sensory descriptors and definitions used to evaluate Ezine cheese texture [11]

Descriptor (Abbreviation)	Definition
Hand evaluation	
Firmness ( <i>hfrm</i> )	Amount of force required to completely compress the sample
Springiness ( <i>sprg</i> )	Total amount of recovery after press
Rate of recovery ( <i>ror</i> )	Rate at which the sample returns to its original shape
Mouth-first bite	
Firmness ( <i>mfrm</i> )	Amount of force required to completely bite the sample.
Fracturability ( <i>frac</i> )	Amount of fracturability in the sample after biting.
Mouth-chew down	
Number of particles ( <i>nap</i> )	Amount of particles after mastication of the sample
Cohesiveness ( <i>coh</i> )	Degree to which the chewed mass sticks together.
Adhesiveness ( <i>adh</i> )	Degree to which the chewed mass sticks to mouth surface
Smoothness of mass ( <i>som</i> )	Smoothness of the chewed mass surface
Mouth-residual	
Smoothness of mouth coating ( <i>somc</i> )	Degree of smoothness felt in the mouth after expectorating the sample

Acronyms: *hfrm*: hand firmness, *sprg*: springiness, *ror*: rate of recovery, *mfrm*: mouth firmness, *frac*: fracturability, *nap*: number of particles, *coh*: cohesiveness, *adh*: adhesiveness, *som*: smoothness of mass, *somc*: smoothness of mouth coating

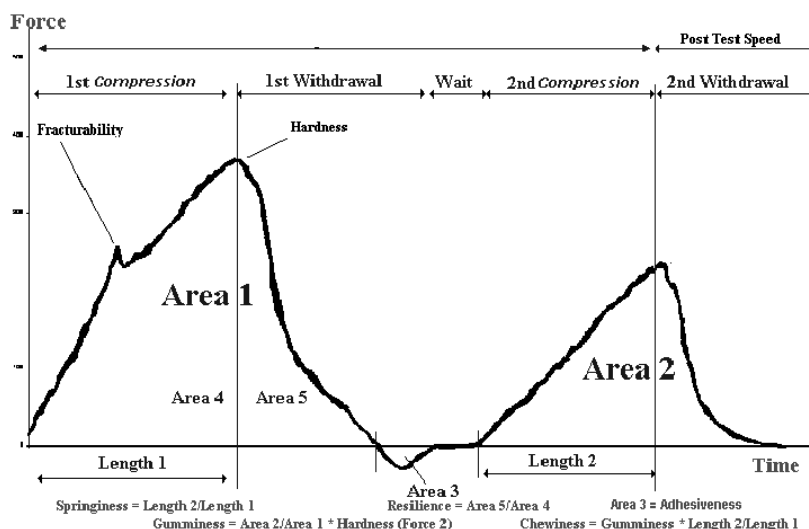


Figure 1. Representation of Texture Profile Analysis Results and Calculation of TPA terms [15].

**Statistical Analysis**

One way analysis of variance (ANOVA) was used to compare the cheeses with respect to their texture attributes by instrumental and sensory analyses. Pearson correlation coefficients were calculated to determine linear relations between the characteristics of Ezine cheeses. Tukey multiple range test were applied to determine differences among different groups using SAS 9.1.3. SPSS for Windows (version 15.0) was used for correlation analyses.

Model for one way analysis of variance

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

$y_{ij}$  = Effect of the  $i^{th}$  treatment in the  $j^{th}$  replication

$\mu$  = Overall mean

$\tau_i$  = The effect of the  $i^{th}$  treatment

$\epsilon_{ij}$  = Residual error

**RESULTS and DISCUSSION**

Table 2 shows the changes in texture attributes measured by the texture profile analyzer. ITPA results showed that as the cheeses aged, they became more adhesive and less cohesive during ripening. Specifically, these changes were clear during 9-month storage. However, other attributes did not significantly change over storage ( $p > 0.05$ ) (Table 2). In a study, textural properties of Cheddar cheeses with a range of moisture contents and pH values were determined by sensory and instrumental methods during 9-month storage [9]. Firmness, springiness, cohesiveness, adhesiveness and chewiness were measured as instrumental parameters in Cheddar cheeses by using a texture analyzer. This study also indicated that firmness, springiness, cohesiveness and chewiness of Cheddar cheese decreased, but adhesiveness significantly increased during ripening [9]. In the present study, we also found similar results for Ezine cheese.

Table 2. Instrumental measurements of Ezine Cheese with mean and standard deviation ( $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ )

ITPA attributes (Abbreviation)	Ripening Period (month)*			
	3	6	9	12
Hardness (IHRD)	1051.40±210.98 <sup>A</sup>	1179.05±107.96 <sup>A</sup>	1533.17±304.91 <sup>A</sup>	898.02±84.98 <sup>A</sup>
Adhesiveness (IADH)	47.11±15.50 <sup>B</sup>	96.64±4.88 <sup>A</sup>	142.21±3.68 <sup>A</sup>	97.34±0.29 <sup>A</sup>
Springiness (ISPR)	0.74±0.01 <sup>A</sup>	0.66±0.01 <sup>A</sup>	0.62±0.00 <sup>A</sup>	0.63±0.06 <sup>A</sup>
Cohesiveness (ICOH)	0.57±0.02 <sup>A</sup>	0.46±0.00 <sup>AB</sup>	0.34±0.00 <sup>B</sup>	0.39±0.06 <sup>AB</sup>
Gumminess (IGUM)	593.75±95.89 <sup>A</sup>	547.54±65.48 <sup>A</sup>	528.65±115.57 <sup>A</sup>	348.07±26.85 <sup>A</sup>
Chewiness (ICHE)	447.65±81.30 <sup>A</sup>	370.80±53.47 <sup>A</sup>	333.28±77.57 <sup>A</sup>	223.92±39.47 <sup>A</sup>
Resilience (IRES)	0.25±0.00 <sup>A</sup>	0.16±0.00 <sup>AB</sup>	0.14±0.01 <sup>AB</sup>	0.14±0.03 <sup>AB</sup>

Means in the same row followed by different capital letters represent significant differences ( $p < 0.05$ ).

Table 3 shows the changes in the intensities of sensory attributes during ripening. Insignificant differences were observed in cheeses during ripening in terms of hand firmness, rate of recovery, mouth firmness, adhesiveness, smoothness of mass and smoothness of mass coating. The intensity of springiness determined by sensory analysis was the lowest at 12<sup>th</sup> month of storage, but the same with 9<sup>th</sup> month of storage. In

addition, fracturability and number of particles scores were significantly low at further ripening periods ( $p < 0.05$ ). Textural attributes of 22 Ezine cheese samples collected from local producers were previously determined by Karagul-Yuceer and coworkers [11]. In general, the cheeses showed differences in terms of texture attributes. The authors stated that Ezine cheeses had soft and semi-hard texture properties

based on texture evaluations. The results of the present study agreed with the findings on textural properties of Ezine cheeses by Karagul Yuceer et al. [11]. Hand and mouth evaluations were used to discriminate texture of some cheeses including Cheddar, Feta, Parmesan, Brie and Muenster by Drake et al. [8]. As similar cheese to

Ezine cheese, the findings for Feta cheese by Drake and coworkers [8] agreed with our results. For example, mouth firmness of Feta cheese was 6.7, while hand firmness was 6.2 based on 15-point numerical intensity scale [8].

Table 3. Mean sensory attributes of Ezine Cheese ( $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ )

Sensory attributes	Ripening Period (month)*			
	3	6	9	12
Hfrm	5.33±0.05 <sup>A</sup>	6.43±0.12 <sup>A</sup>	6.08±0.47 <sup>A</sup>	5.73±0.26 <sup>A</sup>
Sprg	4.69±0.22 <sup>A</sup>	5.29±0.29 <sup>A</sup>	3.87±0.04 <sup>AB</sup>	2.45±0.68 <sup>B</sup>
Ror	4.12±0.01 <sup>A</sup>	4.05±0.19 <sup>A</sup>	3.34±0.29 <sup>A</sup>	2.25±0.58 <sup>A</sup>
Mfrm	4.27±0.08 <sup>A</sup>	4.52±0.08 <sup>A</sup>	4.70±0.29 <sup>A</sup>	4.66±0.16 <sup>A</sup>
Frac	6.63±0.41 <sup>A</sup>	4.56±0.09 <sup>B</sup>	5.29±0.04 <sup>B</sup>	4.86±0.05 <sup>B</sup>
Nop	5.73±0.29 <sup>A</sup>	5.12±0.20 <sup>AB</sup>	5.02±0.00 <sup>AB</sup>	4.47±0.16 <sup>B</sup>
Coh	5.00±0.36 <sup>B</sup>	6.80±0.16 <sup>A</sup>	6.72±0.30 <sup>A</sup>	6.73±0.09 <sup>A</sup>
Adh	5.45±0.31 <sup>A</sup>	6.93±0.26 <sup>A</sup>	6.75±0.05 <sup>A</sup>	6.58±0.30 <sup>A</sup>
Som	7.15±0.31 <sup>A</sup>	7.56±0.09 <sup>A</sup>	7.84±0.23 <sup>A</sup>	7.84±0.26 <sup>A</sup>
Somc	7.55±0.01 <sup>A</sup>	7.65±0.34 <sup>A</sup>	8.30±0.08 <sup>A</sup>	8.02±0.16 <sup>A</sup>

Means in the same row followed by different letters represent significant differences ( $p < 0.05$ ). Acronyms: hfrm: hand firmness, sprg: springiness, ror: rate of recovery, mfrm: mouth firmness, frac: fracturability, nop: number of particles, coh: cohesiveness, adh: adhesiveness, som: smoothness of mass, somc: smoothness of mouth coating

Texture attributes measured by only instrumental method (ITPA) showed that springiness (ISPR) was significantly correlated with cohesiveness (ICOH) and adhesiveness (IADH) (Table 4). Chewiness (ICHE), measured by the texture profile analyzer, was significantly correlated with springiness (ISPR) and gumminess (IGUM). In addition, significant correlation was observed between resilience and some other instrumental attributes including IADH, ISPR, ICOH and ICHE (Table 4).

Correlations among sensory attributes were also shown in Table 4. Hand firmness (hfrm) was correlated with mouth firmness (mfrm) and cohesiveness (coh). Significant correlation was determined between rate of recovery and both sprg and nop. In addition, there was a significant positive correlation between fracturability and number of particles. However, fracturability was negatively correlated with cohesiveness and adhesiveness. Number of particles was negatively correlated with cohesiveness and smoothness of mass. Cohesiveness was correlated with adhesiveness and smoothness of mass. Adhesiveness was also positively correlated with smoothness of mass. These results were supported by some of the findings reported by Brown and coworkers [7] and Karagul-Yuceer and coworkers [11].

Table 4 shows the correlations between texture measurements by the texture profile analyzer and sensory evaluation techniques. Instrumental measurement of springiness (ISPR) was positively correlated with sensory terms including rate of recovery (ror) and number of particles (nop). However, a negative but significant correlation was determined between mouth firmness and instrumentally measured springiness and cohesiveness. Instrumental measurement of gumminess (IGUM), chewiness (ICHE)

and resilience (IRES) were correlated with rate of recovery and number of particles. ITPA resilience was correlated with fracturability (frac), but it was negatively correlated with sensory cohesiveness (coh). Romeih and coworkers [10] did not find any significant relationship between sensory attributes and mechanical parameters for low fat white-brined cheeses made from bovine milk and containing two commercial hydrocolloid-fat replacers. However, significant correlation between instrumental and sensory measurements for Cheddar, Brie, Feta, Muenster, Parmesan and processed cheeses by Drake et al. [5]. TPA parameters including hardness, springiness and gumminess were correlated with sensory firmness [5]. They also found insignificant correlation between TPA adhesiveness and sensory stickiness attributes [5].

In the cases of instrumental hardness (IHRD) and smoothness of mass coating (somc), insignificant correlation was determined with any attributes. Sensory and mechanical aspects of cheese texture were reviewed by Foegeding and coworkers [16] who stated that sensory and instrumental terms related to firmness and resiliency are highly correlated. In contrast, sensory attributes that show the chewdown characteristics are less correlated with instrumental measurements. Our findings for Ezine cheese texture agreed with their results.

In conclusion, insignificant changes were found in terms of texture attributes by these methods after 3 month storage. These results also indicated that good correlation was determined between some of the parameters measured by both techniques. Specifically, first bite and chewdown characteristics evaluated by mouth and rate of recovery were better correlated with instrumental texture terms. This study suggests that only a few mechanical texture parameters can be used to

Table 4. Pearson correlation coefficients between and within instrumental and sensory texture attributes for Ezine cheese.

	IADH	ISPR	ICOH	IGUM	ICHE	IRES	hfrm	sprg	ror	mfrm	frac	nop	coh	adh	som
IADH	1	.70(*)	.88(**)	.15	.34	.79(*)	-.50	.29	.35	-.55	.52	.43	-.68	-.64	-.56
ISPR		1	.92(**)	.54	.72(*)	.94(**)	-.55	.58	.72(*)	-.75(*)	.63	.74(*)	-.69	-.51	-.47
ICOH			1	.39	.58	.94(**)	-.48	.60	.68	-.72(*)	.55	.68	-.68	-.53	-.50
IGUM				1	.96(**)	.55	.14	.66	.81(*)	-.19	.44	.70(*)	-.34	-.25	-.63
ICHE					1	.71(*)	-.05	.68	.84 (**)	-.39	.57	.79(*)	-.51	-.40	-.69
IRES						1	-.52	.55	.70(*)	-.64	.75(*)	.80(*)	-.78(*)	-.66	-.60
Hfrm							1	.15	.04	.72(*)	-.67	-.30	.71(*)	.62	.09
Sprg								1	.95(**)	-.47	.13	.65	-.21	.01	-.29
Ror									1	-.47	.34	.78(*)	-.36	-.15	-.43
Mfrm										1	-.53	-.61	.70	.47	.26
Frac											1	.77(*)	-.94(**)	-.92(**)	-.67
Nop												1	-.79(*)	-.66	-.71(*)
Coh													1	.95(**)	.71(*)
Adh														1	.77(*)
Som															1

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). \*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) Acronyms: Instrumental terms: IADH: Instrumental adhesiveness, ISPR: Instrumental springiness, ICOH: Instrumental cohesiveness, IGUM: Instrumental gumminess, ICHE: Instrumental chewiness, IRES: Instrumental resilience. Sensory terms: hfrm: hand firmness, sprg: springiness, ror: rate of recovery, mfrm: mouth firmness, frac: fracturability, nop: number of particles, coh: cohesiveness, adh: adhesiveness, som: smoothness of mass.

predict some sensory texture parameters for Ezine cheese. Instrumental measurement of texture can be attractive because of its simplicity, reproducibility and speed, but sensory evaluation should also be used to better understand texture of cheese.

#### ACKNOWLEDGMENTS

Funding was provided by the State Planning Organization, Ankara, Turkey. We thank to Şengören Süt Ürünleri A.Ş. for providing cheese samples. We are also grateful to the panel members for their participation and inputs during panel training and product evaluation.

#### REFERENCES

- McKenna, B.M., 2003. Texture in Food Volume 1: Semi-solid foods, edited by McKenna B.M, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, Boca, 425 p.
- International Organization for Standardization ISO 5492, 1992. BSI 5098:1992. Glossary of terms relating to sensory analysis. ISO, Geneva.
- Rosenthal, A.J., 1999. Food Texture Measurement and Perception, edited by Rosenthal, A.J., Springer, Gaithersburg, 311 p.
- Gunasekaran, S., Ak, M.M., 2002. Cheese Rheology and Texture, CRC Press, Boca, Raton, 512 p.
- Drake, M.A., Gerard, P.D., Truong, V.D. Daubert, C.R., 1999. Relationship between instrumental and sensory measurements of cheese texture. *Journal of Texture Studies* 30: 451-476.
- Adhikari, K., Heymann, H., Huff, H.E., 2003. Textural characteristics of low fat, full fat, and smoked cheeses: sensory and instrumental approaches. *Food Quality and Preference* 14: 211-218.
- Brown, J.A., Foegeding, E.A., Daubert, C.R., Drake, M.A., Gumpertz, M., 2003. Relationships among rheological and sensorial properties of young cheeses. *Journal of Dairy Science* 86: 3054-3067.
- Drake, M.A., Gerard, P.D., Civille, G.V., 1999. Ability of hand evaluation versus mouth evaluation to differentiate texture of cheese. *Journal of Sensory Studies* 14: 425-441.
- Everard, C.D., O'Callaghan, D.J., Howard, T.V., O'Donnell, C.P., Sheehan, E.M., Delahunty, C.M., 2006. Relationship between sensory and rheological measurements of texture in maturing commercial Cheddar cheese over a range of moisture and pH at the point of manufacture. *Journal of Texture Studies* 37: 361-382.
- Romeih, E.A., Michaelidou, A., Biliaderis, C. G., Zerfiridis, G.K., 2002. Low-fat white brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes. *International Dairy Journal* 12: 525-540.
- Karagul-Yuceer, Y., Isleten, M., Uysal-Pala, C., 2007. Sensory characteristics of Ezine cheese. *Journal of Sensory Studies* 22: 49-65.
- Caner, C., Aday, M.S., Demir, M., 2008. Extending the quality of fresh strawberries by equilibrium modified atmosphere packaging. *European Food Research and Technology* 227: 1575-1583.
- Zhenfeng Y., Yonghua Z., Shifeng C., Shuangshuang T., Sujuan M., Na L., 2007. Effects of storage, temperature on textural properties of Chinese bayberry fruit. *Journal of Texture Studies* 38: 1166-1177.
- Meilgaard, M., Civille, G.V., Carr, B.T., 1999. Sensory Evaluation Techniques, pp 173-229, CRC Press, Boca, Raton, USA.
- Anon 2009. Practical Definitions of Standard TPA Terms. [http://www.texturetechnologies.com/texture\\_profile\\_analysis.html](http://www.texturetechnologies.com/texture_profile_analysis.html) (Accessed 25.08.2009).
- Foegeding, E.A., Brown, J., Drake, M.A., Daubert, C.R., 2003. Sensory and mechanical aspects of cheese texture. *International Dairy Journal* 13: 585-591.

Research Paper / Araştırma Makalesi

## Chemical, Rheological and Sensory Properties of Tarhana with Wheat Bran as a Functional Constituent

İlyas Çelik, Fatma Işık, Yusuf Yılmaz

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Pamukkale University, Kinikli, Denizli, Turkey  
E-mail yusufy@pau.edu.tr

### ABSTRACT

Tarhana is a fermented food widely consumed in Turkey and the Middle East. Addition of wheat bran as a source of dietary fiber to tarhana contributes to the development of value-added functional foods. In this study, wheat flour was partially (20 and 40%) substituted with wheat bran, and chemical, rheological and sensory properties of tarhana soups were determined. All tarhana dough samples had similar pH values (about 3.8) after six days of fermentation. The substitution of wheat flour with wheat bran in tarhana formulation at a 40% level significantly increased the crude fiber contents of tarhana powders from about 0.6 to 4.3% on dry basis. Flow behavior indices of tarhana samples ranged from 0.45 to 0.65, indicating that all tarhana soup samples exhibited pseudoplastic behavior over the temperatures studied. Lower flow behavior indices were found for tarhanas with wheat bran than control tarhanas. Panelists equally liked tarhana soups with wheat bran substituting 20% of flour and control tarhana soups, while disliking tarhana soups with wheat bran substituting 40% of flour in formulation. Results indicated that wheat bran can be added to tarhana as a source of dietary fiber to develop a functional food; however, consumer acceptability is a key factor restricting the amount of wheat bran in formulation.

**Key Words:** Tarhana, Wheat bran, Fiber, Functional food

### Fonksiyonel Bir Bileşen Olarak Buğday Kepeği İçeren Tarhana'nın Kimyasal, Reolojik ve Duyusal Özellikleri

#### ÖZET

Tarhana Türkiye ve Orta Doğu'da yaygın olarak tüketilen fermente bir gıdadır. Buğday kepeğinin diyet lifi olarak tarhanaya ilavesi katma değeri yüksek fonksiyonel gıdaların geliştirilmesine katkıda bulunabilir. Bu çalışmada buğday unu kısmen buğday kepeği ile (%20 ve 40 oranında) ikame edilmiş ve tarhana çorbalarının kimyasal, reolojik ve duyusal özellikleri araştırılmıştır. Altı gün fermantasyonu sonrasında tarhana hamur örneklerinin pH değerleri benzer bulunmuştur (yaklaşık 3.8). Tarhana formülasyonundaki buğday ununun kepeklerle %40 oranında ikame edilmesi toz tarhana örneklerinin ham lif içeriğini kuru madde bazında %0.6'dan 4.3'e yükseltmiştir. Tarhana örneklerinin akış davranış indeksi değerleri 0.45-0.65 aralığında bulunmuş olup, tarhana çorbalarının çalışılan sıcaklıklarda psödoplastik davranış gösterdiği anlamına gelmektedir. Kontrol örnekleriyle kıyaslandığında, buğday kepekli tarhanaların akış davranış indeksleri daha düşük bulunmuştur. Panelistler kontrol ve %20 buğday kepeği ikameli çorbaları eşit şekilde beğenmişler, ancak formülasyonda %40 kepek içeren tarhanayı beğenmemişlerdir. Çalışma sonuçları buğday kepeğinin fonksiyonel bir gıda geliştirmek amacıyla diyet kaynağı olarak tarhanaya ilave edilebileceğini, fakat tüketici kabul edilebilirliğinin formülasyondaki buğday kepeği miktarını sınırlandırmada önemli bir faktör olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tarhana, Buğday kepeği, Lif, Fonksiyonel gıda

#### INTRODUCTION

Tarhana is a traditional fermented food, and it is consumed by a wide range of population in Turkey. It is fermented for 1-7 days after yoghurt and wheat flour are mixed with yeast and a variety of raw vegetables such

as tomatoes, onions, and paprika, and spices like salt and mint. Although tarhana preparation methods may vary from one region to another [1], flour and yoghurt are usually the two major components of tarhana. While the former plays a significant role in the texture formation of the soup, the latter is important mostly for

the development of tarhana flavor during fermentation. Fermentation activity in early stages of tarhana fermentation is usually high, and excluding salt from the formulation increases fermentation activity [2]. Chemical [3] and rheological [4] properties of traditional tarhana soup have been previously reported in the literature, and these properties are important for both nutritional quality and commercial production of tarhana. The effect of barley flour, which is high in  $\beta$ -glucan content, on chemical and sensory properties of tarhana was studied by Erkan et al. [5].

Fiber is important for human digestive tract to maintain healthy bowel function. Dietary fiber is defined as "a class of compounds, mainly carbohydrate, polysaccharide in nature but also including lignin, which when ingested in the form of plant material, escapes hydrolysis, digestion and absorption in the small intestine of the human" [6]. Recommended daily fiber intake ranges from 20 to 35g/day for normal gastrointestinal activity, depending on the nutritional status of people, and should come from various sources such as leafy vegetables, legumes, cereals, and fruits [7, 8]. About 3g/day of soluble fiber from oat products may help to reduce the heart disease mortality by lowering total plasma cholesterol level [9]. A diet high in fiber can also relieve or prevent some of the bowel disorders such as diverticulosis [10], constipation and hemorrhoids [11].

Wheat bran, a by-product of wheat milling industry, is a good source of dietary fiber. Wheat bran contents include 46% non-starch polysaccharides [12], 10-20% starch, 15-22% proteins, 4-8% lignin and some minor constituents [13]. In animals, wheat bran was shown to have protective activity against colon cancer induced by 1,2-dimethylhydrazine [14, 15] and azoxymethane [16], and against breast cancer [17, 18]. Cancer protective activity of wheat bran has been associated with its non-nutrient phytochemicals [19]. Colon cancer protective activity for wheat bran was reported to be higher than cellulose [20]. Wheat bran extracts were able to inhibit lipid peroxidation in low density lipoproteins by

scavenging free radicals, and this property may reduce the risk of atherosclerosis for humans [21].

Flour tarhana is one of the four major tarhanas defined by Turkish Standardization Institute [22]. Although the fiber content of tarhana depends on the type of ingredients used in its formulation, average fiber content of various tarhanas from different regions of Turkey is 1.0% [3]. The reason is most likely that tarhana is traditionally and commercially produced with white, unenriched and bleached flour in Turkey, and this type of flour is usually low in dietary fiber. Addition of dietary fiber or a source of dietary fiber to tarhana, a soup consumed mostly throughout winter by a wide range of population in Turkey, will contribute to the development of value-added functional foods that currently are in high demand. Studying the rheological properties of this type of tarhanas is essential for determining equipment design parameters for the commercial production of tarhana. Therefore, the objectives of this present study were to enrich tarhana with wheat bran as a source of dietary fiber, and to determine chemical, rheological and sensory properties of tarhana soups with or without wheat bran.

## MATERIALS and METHODS

### Materials

White flour (unenriched and bleached) and wheat bran were obtained from Denizli Flour Company (Denizli). Non-fat yoghurt (SEK, Istanbul), bakery yeast (Ozmaya Yeast Company, Adana) and all other ingredients used in tarhana formulations were purchased from a local market in Denizli, Turkey.

### Preparation of Tarhana Powder

Three different formulations were used to prepare tarhana: (1) control without any wheat bran (Control), (2) tarhana with wheat bran substituting 20% of flour (TF20) and (3) tarhana with wheat bran substituting 40% of flour in the formulation (TF40) (Table 1).

Table 1. Formulations for the production of traditional tarhana and tarhana with wheat bran as a dietary fiber source.

Soup Sample	Ingredient (% weight basis)		
	Control	TF20	TF40
Flour	59.7	47.8	35.8
Wheat Bran	-	11.9	23.9
Yoghurt	17.9	17.9	17.9
Fresh tomato puree	12.0	12.0	12.0
Fresh paprika puree	6.0	6.0	6.0
Fresh onion puree	1.4	1.4	1.4
Dry mint powder	1.2	1.2	1.2
Salt	1.2	1.2	1.2
Yeast	0.6	0.6	0.6

Prior to mixing the ingredients, fresh onions, tomatoes and paprika were chopped in a commercial blender (Arzum Ultima, Istanbul, Turkey) for 45s at a medium speed. Chopped tomatoes, paprika and onion were mixed with non-fat yoghurt, dried mint, salt, yeast and flour (one fifth of the initial weight in the formula). Then,

the dough was transferred into plastic containers, and it was allowed to ferment at  $30\pm 2^\circ\text{C}$  for a day. While two fifth of flour was added to dough on the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> days of fermentation, the rest was added on the 4<sup>th</sup> day of fermentation. In tarhanas with wheat bran, flour was uniformly mixed with wheat bran, and then this flour-

wheat bran mixture was added to the respective formulations. Wheat bran, like other dietary fiber sources, absorbs water easily; for example, wheat bran addition into bread dough increases water absorption rate of dough [23]. We observed that wheat bran together with flour absorbed most of the water in tarhana dough system, and tarhana mixtures with wheat bran were unable to form a dough structure. To alleviate this problem, 11.9% and 23.9% water (v/w) were incorporated into the TF20 and TF40 formulations, respectively. Half of total water was added to tarhana dough on the 2<sup>nd</sup> day, the other half on the 3<sup>rd</sup> day of fermentation. At the end of the 7<sup>th</sup> day of fermentation, tarhana dough (height $\approx$ 0.5cm) was rolled into a sheet, and it was cut into small pieces (width $\approx$ 0.5cm). Pieces of tarhana dough were open-air dried at 30 $\pm$ 2°C for 72h. Then, samples were ground with a grinder (Toper TKS-16S, Izmir, Turkey) to a particle size of <400 $\mu$ m for further analysis. Three replications (n=3) were used for each tarhana powder sample.

### Preparation of Tarhana Soup

Two sets of tarhana soups were prepared in this study. The first set was used to study the physical and rheological properties of tarhana soups, and the second set was used to simulate commercial tarhana soups in order to determine the sensory properties of these soups. In the first set, tarhana-water mixtures (7:100 w/v) were blended in Waring blender at high speed for 2 minutes. Then, the mixture was poured into a round bottom flask attached to a condenser to prevent water loss. Flask was heated in an electro-mantle. After the appearance of first bubbles formed in flask, the mixture was boiled for 5 minutes. This mixture was used to determine physical and rheological properties of three different tarhana soups.

Recipes containing 4.9% tarhana powder, 87.1% deionized water, 5.2% corn oil, 2.4% tomato paste and 0.4% salt were used to simulate commercial tarhana soups. Tarhana powder was mixed with 40% of initial water, and it was stirred continually until dissolved. Corn oil was heated to about 150°C in a saucepan, and tomato paste was fried for 2 minutes until the tomato paste blended in well. Then, salt and remaining water were added into the saucepan and the mixture was mixed with hand until boiling. After the tarhana soups were allowed to boil for 15 minutes, they were cooled down to 70°C for sensory analysis.

### Analytical Measurements

Dry matter, ash, and protein content of tarhana powders were determined according to AOAC [24] procedures. The micro-Kjeldahl method was used to determine nitrogen content of tarhana powders, and the results were multiplied by a factor (5.70) to determine crude protein content [24]. Crude fiber analysis was performed according to Elgun et al. [25].

Specific gravity of tarhana soups with different formulations was determined according to Lee and

Hosney [26] at room temperature. pH of tarhana-water mixtures were measured using a pH meter at about 50°C. Color values (Hunter *L*, *a* and *b*) were determined by the Hunter-Lab Mini Scan XE colorimeter (Reston, VA, USA) [27].

Consistency coefficients (*K*) and flow behavior indices (*n*) of tarhana soups with different ingredients were determined by a Brookfield Programmable DV-II+ viscometer (Brookfield Eng. Labs. Inc., Stoughton, MA, USA). Briefly, hot soup samples were poured into 600mL-insulated-beakers, and they were allowed to cool down at room temperature. Temperature measurements ( $\pm$ 1) were taken by a thermocouple attached to the viscometer. Then, *K* and *n* values for each soup sample determined at 35, 40, 50, 60 and 70°C with a spindle number 2. In order to determine the flow behavior characteristics of tarhana soups, the power-law model  $\delta = K(\dot{\gamma})^n$ , where  $\delta$  is the shear stress (Pa),  $\dot{\gamma}$  is the shear rate (s<sup>-1</sup>), *K* is the consistency coefficient (Pa.s<sup>*n*</sup>) and *n* is the flow behavior index (dimensionless), was used [28].

### Sensory Evaluation

A panel of 30 subjects in the Department of Food Engineering (Pamukkale University, Denizli, Turkey) evaluated the sensory properties of tarhana soups, and gave scores for smell, color, consistency, flavor, aftertaste and overall acceptance on a hedonic scale from 1 (dislike extremely) to 9 (like extremely). Approximately 80mL of tarhana soup at about 60°C were presented to each subject. The panel consisted of students, staff and faculty members (21 males, 9 females), and 20% of the subjects were between 18 and 25, 63% between 26 to 40 years old, and 17% older than 40 years. The samples were labeled randomly with three-digit numerical codes. During the panel, subjects were instructed to rinse their mouths with water, and eat unsalted crackers before tasting each sample. The panel was performed in partitioned booths equipped with daylight.

### Statistical Analyses

Data were analyzed using the Statistical Analysis System software [29]. PROC GLM with Duncan's multiple comparison test was performed to determine significant differences at  $\alpha = 0.05$ .

## RESULTS and DISCUSSION

The pH values of tarhana dough were monitored after first, second, third and sixth days of fermentation (Figure 1). One day fermentation reduced the pH values of all tarhana dough samples to about 4.4. After the sixth day of fermentation, pH of dough samples was about 3.8. Tarhana soup is made by fermented and dried tarhana dough, and it has acidic and sour taste with a yeasty flavor [4]. Production of acids by lactic acid bacteria of yoghurt and bakery yeast in the formulation during fermentation is the main reason of pH reduction in



tarhana dough samples [2]. The use of yoghurt (source of lactic acid bacteria) together with yeast plays an important role in developing distinctive tarhana taste and flavor [1]. The pH of soups may be reduced with increasing the amount of yoghurt or excluding salt in formulations [2]. In our study, we found that pH values of tarhana dough samples with or without wheat bran were similar after the fermentation of dough for six days ( $p>0.05$ ).

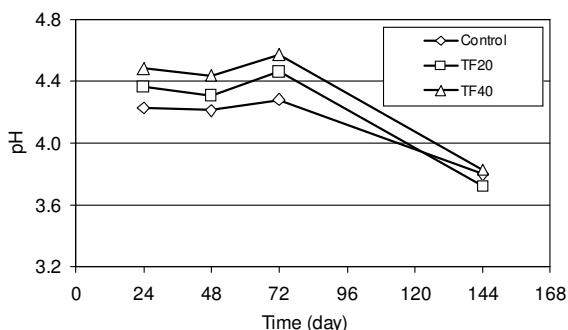


Figure 1. The effect of fermentation time on pH of tarhana dough samples prepared with or without wheat bran (means of three replicates for each time).

The analyses for fermented and dried tarhana powder samples showed that TF40 powder retained more moisture than control tarhana (Table 2) ( $p<0.05$ ). Moisture content of tarhana powder samples ranged from 6.2 to 7.2%, and it was slightly lower than average

moisture content (10%) of tarhanas from different regions of Turkey [3]. Water absorption rate can be increased by the addition of wheat bran into bread dough systems, and this rate is correlated with the bran particle size [23]. In our samples, we used wheat bran with a particle size higher than 0.6mm. Considering the fact that coarse bran (about 0.6mm in particle size) retains significantly more water than medium (about 0.4mm) or fine bran (0.3mm) [23], we can conclude that wheat bran in TF40 dough absorbed more water during fermentation than control and retained more after drying. Another reason for higher moisture content of TF40 can be the addition of water for the purpose of developing dough structure during six day fermentation period.

Significant differences in protein, ash and crude fiber contents were found among tarhana powder samples with or without wheat bran (Table 2). Ash content of tarhanas had a trend similar to crude fiber content because the amount of wheat bran in formulation contributes to the ash content of tarhanas. On dry basis, crude fiber contents of TF20 and TF40 were about 2.0 and 4.3%, respectively. Protein content of tarhana powder TF40 was about 17% (db), and it was higher than control tarhana powder (15%, db) ( $p<0.05$ ). This is because wheat bran contains proteins as well as starch, moisture, ash and some phytochemicals [30, 31]. Average protein and ash contents of various tarhana samples from different regions of Turkey were 16.0% and 1.0%, respectively [3].

Table 2. The effect of wheat bran addition to tarhana formulations on some physical and compositional properties of tarhana powder and soup samples.

Tarhana	Moisture (%)	Ash (%)	Protein (% db)	Crude Fiber (% db)	Specific Gravity**	pH**	Hunter Lab Values**		
							L	a	b
Control	6.18±0.20b*	1.73±0.31c	15.08±0.08b	0.57±0.17c	1.05±0.01	4.37±0.1b	58.18±1.07a	4.44±0.60	14.22±0.59a
TF20	6.60±0.36ab	2.38±0.25b	16.20±0.31ab	1.99±0.48b	1.04±0.01	6.21±0.5a	46.74±2.86b	4.31±0.20	12.45±0.54b
TF40	7.17±0.53a	3.42±0.13a	16.96±1.22a	4.25±0.26a	1.05±0.01	6.74±0.1a	36.66±1.29c	4.06±0.05	10.74±0.10c

\*Different letters within the column across the table show significant differences at  $\alpha=0.05$ .

\*\*These properties were measured in tarhana soups described in the text.

High dietary fiber intake can relieve or prevent some of the bowel disorders such as diverticulosis [10], constipation and hemorrhoids [11]. Harris and Ferguson [44] reported that wheat bran dietary fiber may be protective against colorectal cancer. The authors also indicated that studies on animals pointed out that "sources of insoluble dietary fibers, including wheat bran, appear more protective than soluble dietary fibers, and some dietary fibers appear to enhance carcinogenesis." On the other hand, dietary fiber intake higher than recommended levels may cause problems besides benefits. The stool becomes difficult to eliminate when diet is very high in fiber. If water is not enough, intestines can be blocked by high amounts of fiber [32]. Gas production due to the fermentation of high amounts of fiber in diet by intestinal microflora causes discomfort. Reduction in nutrient absorption can be another problem related to high fiber intake in diet [11] even though inhibition of mineral absorption by dietary fibers through

chelating has lack of strong data [33]. In the present study, tarhana soup supplemented with wheat bran (TF20) cannot provide the majority of daily fiber intake but only contributes to the recommended daily fiber intake. The contribution of wheat bran to the daily fiber intake is expected to be about 10% of recommended daily intake.

Soup samples prepared with tarhana powder (TF20 or TF40) and water had a similar pH; however, pH of control tarhana soup was significantly lower than the others ( $p<0.05$ ). Deionized water used to prepare tarhana soup had a pH around 6.8. Hydrogen bonding with water in starch molecules occurs among hydroxyl groups of neighboring sugar molecules or the ring oxygen atoms or the glycosidic oxygen atoms connecting one sugar ring to another [34]. In control tarhana samples, wheat flour consisting of mainly starch was the major ingredient. From the design of

experiments, it should be inferred that starch contents of tarhana samples TF20 and TF40 were lower than control. The number of sugar units in a polysaccharide chain is positively correlated with the water holding capacity since hydration of polysaccharides occurs easily in the presence of water [34]. Hydrogen ions in deionized water, which were not able to be neutralized by starch molecules in tarhana samples with wheat bran, were most likely to be the reason for higher pH in tarhana soup samples than control.

In terms of soup color, addition of wheat bran into tarhana significantly effected the color of tarhana soup, especially lightness (*L*) and yellow-blue (*b*) values ( $p < 0.05$ ). Increasing the wheat bran amount added to formulation significantly reduced those two color values of tarhana soup samples, while the change in red-green (*a*) value was insignificant. When the amount of wheat bran in formulation was increased, the color of tarhana soup became darker, and lost its yellow color. The reason for a darker soup color is most likely from the lignin content of wheat bran. Lignin, which is responsible for the yellow-brown color of wood at 400- 700nm [35], constitutes to 4-8% of total wheat bran weight [13]. Pigments in carotenoid and flavone nature and other constituents are responsible for the yellow color of wheat flour. Reducing wheat flour in tarhana formulations with wheat bran significantly reduced the yellow color values of tarhana soups (*b*), causing the formation of darker soups ( $p < 0.05$ ).

Tarhana soup with or without wheat bran exhibited pseudoplastic behavior at a temperature range from 35°

to 70°C (Table 3). Flow behavior indices for tarhanas prepared with wheat bran were usually lower than those for control samples. Erbas et al. [36] reported that tarhana soup exhibited pseudoplastic behavior ( $n=0.396$ ). Studying the effect of different drying methods on the functional properties of tarhana, Hayta et al. [37] found that drying methods such as microwave-, free- and tunnel-drying of tarhana dough influenced the *K* and *n* values of tarhana soups, and tarhana soups exhibited pseudoplastic behavior at different temperatures. Ibanoglu and Ibanoglu [4] reported that consistency coefficient and flow behavior index of tarhana soups were dependent on the type of flour in formulation and the particle size of tarhana powder. Flow behavior indices of tarhana soups prepared with white wheat flour were found lower than those prepared with wholemeal flour. The authors also reported that *n* values were unaffected by temperature but increased as the particle size of tarhana powder increased. In our study, we found that *K* and *n* values for tarhana soups with or without wheat bran changed over the temperature studied. At high temperatures, especially at 70°C, *K* and *n* values for control and TF20 soup samples were significantly different than those at 35°C ( $p < 0.05$ ). For those samples, low *K* values at high temperatures are the indicators of low apparent viscosities because, according to power-law equation, apparent viscosity is positively correlated with consistency coefficient [28]. In tarhana soups high in wheat bran, differences in apparent viscosities became less clear over the temperatures studied.

Table 3. Effect of temperature and wheat bran addition on consistency coefficients (*K*) and flow behavior indices (*n*) of tarhana soups.

Temperature (°C)	Control <sup>*</sup>		TF20		TF40	
	<i>K</i> (Pa.s <sup><i>n</i></sup> )	<i>n</i>	<i>K</i> (Pa.s <sup><i>n</i></sup> )	<i>n</i>	<i>K</i> (Pa.s <sup><i>n</i></sup> )	<i>n</i>
35	11.99±1.19a**	0.51±0.03b	10.86±1.22a	0.47±0.02b	6.41±1.04ab	0.52±0.02ab
40	9.60±2.39a	0.55±0.04ab	10.93±0.35a	0.45±0.03b	6.19±0.26ab	0.49±0.01ab
50	9.01±2.68a	0.55±0.05ab	10.20±1.55a	0.45±0.01b	7.49±0.47a	0.45±0.01ab
60	8.48±0.65ab	0.52±0.03b	6.45±1.36b	0.50±0.02b	6.42±0.07a	0.46±0.04b
70	4.70±0.84b	0.65±0.07a	3.74±1.86b	0.62±0.10a	4.52±1.01b	0.51±0.07a

<sup>\*</sup> Results are means of three replicates at each temperature ( $r^2$  ranged from 0.96 to 0.99).

<sup>\*\*</sup> Different letters within the column across the table show significant differences at  $\alpha=0.05$ .

Sensory evaluation results of tarhana soups indicated that differences in overall, smell, consistency, taste and aftertaste liking scores for control and TF20 tarhana soups were insignificant ( $p > 0.05$ ) (Table 4). The sensory panel resulted in that tarhana soups with wheat bran substituting 40% of flour in the formulation were not liked by the subjects. Liking scores for soup color reduced significantly from about 6 to 3 as the wheat bran concentration increased in tarhana dough formulation ( $p < 0.05$ ). A number of panelists reported that TF40 had a layer of vegetable oil on the top of soup samples served. This was most likely from the insufficient gel formation because starch content in those samples was lower than control or TF20 tarhanas. The layer of vegetable oil on soups might affect the color perception of judges for those tarhanas. Another

reason of the low scores for TF40 color might be that wheat bran in formulation was more likely to constitute to the brown color of soups because of its lignin and lignin like constituents [13]. Addition of wheat bran to toast breads [38] and beef burgers [39] as a source of dietary fiber has been found to improve sensory and nutritional properties of these foods. In a study by Bilgiçli et al. [40], substitution ratios of 10, 25 and 50% for wheat germ or bran on the wheat flour basis were used to improve nutritional status of tarhana, and sensory evaluation of soup samples with seven subjects who are familiar with this type of traditional soup showed that 25% wheat bran substituted tarhana soup was the most liked by sensory panelists. In our study, we also found that wheat bran could be added to tarhana to produce a value-added food product which is both traditional and

functional. However, the results of our study indicated that substituting more than 20% of wheat flour in formulation by wheat bran was ineffective for producing

tarhanas with wheat bran that are acceptable by consumers.

Table 4. The results for the sensory evaluation of tarhana soups with or without wheat bran.

Tarhana Sample	Sensory Characteristic					
	Smell	Color	Consistency	Taste	Aftertaste	Overall
Control	5.2a*	6.3a	6.3a	6.3a	6.2a	6.1a
TF20	4.7a	4.7b	5.6ab	5.1a	4.9ab	4.9ab
TF40	3.4b	3.3c	4.7b	3.6b	3.9b	3.7b

\*Scale of 1 (dislike extremely) to 9 (like extremely).

\*\*Different letters within the column across the table show significant differences at  $\alpha=0.05$ .

Wheat bran is not a dietary fiber per se, but a good source of dietary fiber. Major components of dietary fiber include cellulose and lignin, and its minor components such as hemicelluloses, pectin, gums and other carbohydrates are not digestible by human digestive tract [41]. Wheat bran crude fiber content is about 10% (db), while wheat flour crude fiber content is usually less than 1% (db) [42]. Bran total dietary fiber content ranges from 3 to 7g/100g [43]. In our study, we demonstrated that crude fiber content of tarhana, thus its dietary fiber content, could be increased by the addition of wheat bran into formulation or by the substitution of wheat flour in formulation with wheat bran. However, consumer acceptability for tarhana with wheat bran restricts the amount of wheat bran added or the amount of wheat flour substituted in formulation.

## CONCLUSION

Tarhana dough samples with or without wheat bran had pH values similar after the fermentation of dough for six days ( $p>0.05$ ). Crude fiber contents of tarhana powders produced from fermented and dried dough samples increased by the substitution of wheat flour with wheat bran. The effects of wheat bran addition into tarhana formulation on *L* and *b* color values were significant. Reducing wheat flour in tarhana formulations with wheat bran significantly reduced the yellow color values of tarhana soups, causing the formation of darker soups. Tarhana soup with or without wheat bran exhibited pseudoplastic behavior over the temperatures studied. Flow behavior indices for tarhanas prepared with wheat bran were usually lower than those for control samples. The temperature significantly affected the *K* and *n* values of tarhana soups. Sensory evaluation results of tarhana soups indicated that control and TF20 tarhana soups were liked similarly; however, tarhana soups with wheat bran substituting 40% of flour in formulation were disliked by the subjects. The results indicated that consumer acceptability is a restricting factor for the amount of wheat bran added or the amount of wheat flour substituted in tarhana formulation.

## REFERENCES

[1] Dağlıoğlu, O., 2000. Tarhana as a traditional Turkish fermented cereal food: its recipe, production and composition. *Nahrung* 44(2): 85-88.  
 [2] Ibanoglu, S., Ibanoglu, E., Ainsworth, P., 1999. Effect of different ingredients on the fermentation activity in tarhana. *Food Chemistry* 64: 103-106.

[3] Siyamoglu, B., 1961. Investigations on preparation and composition of Turkish tarhana (in Turkish). Izmir, Turkey: Ege University Press.  
 [4] Ibanoglu, S., Ibanoglu, E., 1999. Rheological properties of cooked tarhana, a cereal-based soup. *Food Research International* 32: 29-33.  
 [5] Erkan, H., Celik, S., Bilgi, B., Koksel, H., 2006. A new approach for the utilization of barley in food products: Barley tarhana. *Food Chemistry* 97(1): 12-18.  
 [6] Prosky, L., 1999. What is fiber? Current controversies. *Trends in Food Science and Technology* 10: 271-275.  
 [7] American Diabetes Association, 1993. Treatment of hypertension in diabetes (Consensus statement). *Diabetes Care* 16: 1394-1401.  
 [8] American Dietetic Association, 1993. Health implications of dietary fiber (Position statement). *Journal of American Dietetic Association* 93: 1446-1447.  
 [9] Ripsin, C.M., Keenan, J.M., Jacobs, D.R., Elmer, P.J., Welch, R.R., Van Horn, L., Liu, K., Turnbull, W.H., Thye, F.W., Kestin, M., Hegsted, M., Davidson, D.M., Davidson, M.H., Dugan, L.D., Demark-Wahnfried, W., Beling, S., 1992. Oat products and lipid lowering; a meta-analysis. *Journal of the American Medical Association* 267(24): 3317-3325.  
 [10] Aldoori W.H., Giovannucci E.L., Rimm E.B., Wing A.L., Trichopoulos D.V., Willet W.C., 1994. A prospective study of diet and the risk of symptomatic diverticular disease in men. *American Journal of Clinical Nutrition* 60: 757-764.  
 [11] Smolin, L.A., Grosvenor, M.B., 1997. II. Energy-containing nutrients. In *Nutrition: science and applications*, 2<sup>nd</sup> ed. Orlando, FL: Saunders College Publishing.  
 [12] Ralet, M.C., Thibautl, J.F., Della Valle, G., 1990. Influence of extrusion-cooking on the physico-chemical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science* 26: 793-812.  
 [13] Bergmans, M.E.F., Beldman G., Gruppen H., Voragen A.G.J., 1996. Optimisation of the selective extraction of (glucurono)arabinoxylans from wheat bran: use of barium and calcium hydroxide solution at elevated temperatures. *Journal of Cereal Science* 23(3): 235-245.  
 [14] Jacobs, L., Lupton, J., 1986. Relationship between colonic luminal pH, cell proliferation, and colon carcinogenesis in 1,2-dimethylhydrazine treated rats. *Cancer Research* 46: 1727-1734.

- [15] McIntosh, G., Jorgensen, L., Royle, P., 1993. The potential of an insoluble dietary fiber rich source from barley to protect from DMH-induced intestinal tumors in rats. *Nutrition and Cancer* 19: 213-221.
- [16] Alabaster, O., Tang, Z., Shivapurkar, N., 1997. Inhibition by wheat bran cereals of the development of aberrant crypt foci and colon tumours. *Food and Chemical Toxicology* 35: 517-522.
- [17] Cohen, L.A., Kendall, M.E., Zang, E., Meschter, C., Rose, D.P., 1991. Modulation of N-nitrosomethylurea-induced mammary tumor promotion by dietary fiber and fat. *Journal of National Cancer Institute* 83: 496-501.
- [18] Zile, M., Welsch, C., Welsch, A., 1998. Effect of wheat bran fiber on the development of mammary tumors in female intact and ovariectomized rats treated with 7,12-dimethylbenz(a)anthracene and in mice with spontaneously developing mammary tumors. *International Journal of Cancer* 75: 439-443.
- [19] Helsby, N.A., Zhu, S., Pearson, A.E., Tingle, M.D., Ferguson, L.R., 2000. Antimutagenic effects of wheat bran diet through modification of xenobiotic metabolizing enzymes. *Mutation Research* 454: 77-88.
- [20] Kritchevsky, D., Klurfeld, D.M., 1997. Interaction of fiber and energy registration in experimental colon carcinogens. *Cancer Letters* 114: 51-52.
- [21] Yu, L.L., Zhou, K., Parry, J.W., 2005. Inhibitory effects of wheat bran extracts on human LDL oxidation and free radicals. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 38: 463-470.
- [22] Anonymous, 1981. Tarhana standard, Standard No:2282 (in Turkish). Ankara, Turkey: Turkish Standardization Institute.
- [23] Zhang, D., Moore, W.R., 1997. Effect of wheat bran particle size on dough rheological properties. *Journal of Science the Science of Food and Agriculture* 74: 490-496.
- [24] AOAC, 1990. Official methods of analysis, (15<sup>th</sup> ed.), Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- [25] Elgun, A., Ertugay, Z., Certel, M., Kotancilar, G., 1999. Tahil ve urunlerinde analitik kalite kontrolu, Faculty of Agriculture Publication. No:335. Erzurum, Turkey: Ataturk University.
- [26] Lee, C.C., Hosenev, R.C., 1982. Optimization of the fat-emulsifier system and the gum-egg white-water system for all laboratory-scale single-stage cake mix. *Cereal Chemistry* 59(5): 392-396.
- [27] Anonymous, 1995. The manual of Hunter-Lab Mini Scan XE colorimeter. Virginia: HunterLab Cooperation.
- [28] Steffe, J. F., 1996. Rheological methods. In Food process engineering (2<sup>nd</sup> ed.), MI, USA: Freeman Press.
- [29] SAS Institute, (1990) SAS User's Guide: Statistics Version 6.4<sup>th</sup>. Cary, NC: SAS Institute.
- [30] MacMasters, M.M., Hinton, J.J.C., Bradbury, D., 1971. Microscopic structure and composition of the wheat kernel. In Y. Pomeranz, *Wheat chemistry and technology*, St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, Inc.
- [31] Ferguson, L.R., Harris P.J., 1999. Protection against cancer by wheat bran: role of dietary fibre and phytochemicals. *European Journal of Cancer Prevention* 8: 17-25.
- [32] Miller, D.L., Miller, P.F., Dekker, J.J., 1990. Small-bowel obstruction from bran cereal. *Journal of the American Medical Association* 263(6): 813-814.
- [33] Thebaudin, J.Y., Lefebvre, A.C., Harrington, M., Bourgeois, C.M., 1997. Dietary fibers: nutritional and technological interest. *Trends in Food Science and Technology* 8: 41-48.
- [34] BeMiller, J.N., Whistler, R.L., 1996. Carbohydrates. In O.R. Fennema, *Food Chemistry*, (3<sup>rd</sup> ed.), New York: Marcel Dekker, Inc.
- [35] Kelley, S.S., Rials, T.G., Snell, R., Groom, L.H., Sluiter, A., 2004. Use of near infrared spectroscopy to measure the chemical and mechanical properties of solid wood. *Wood Science and Technology* 38: 257-276.
- [36] Erbas, M., Certel, M., Uslu, M.K., 2005. Microbiological and chemical properties of tarhana during fermentation and storage as wet-sensorial properties of Tarhana soup. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 38(4): 409-416.
- [37] Fortmann, K.L., Joiner, R.R., 1971. Wheat pigments and flour color. In Y. Pomeranz, *Wheat chemistry and technology*, St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, Inc.
- [38] Hayta, M., Alpaslan, M., Baysar, A., 2002. Effect of drying methods on functional properties of tarhana: A wheat flour-yoghurt mixture. *Journal of Food Science* 67(2): 740-744.
- [39] Sidhu, J.S., Al-Hooti, S.N., Al-Saqer, J.M., 1999. Effect of adding wheat bran and germ fractions on the chemical composition of high-fiber toast bread. *Food Chemistry* 67:365-371.
- [40] Mansour, E.H., Khalil, A.H., 1999. Characteristics of low-fat beefburgers as influenced by various types of wheat fibres. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79: 493-498.
- [41] Bilgili, N., Elgun, A., Herken, E.N., Turker, S., Ertas, N., Ibanoglu, S., 2006. Effect of wheat germ/bran addition on the chemical, nutritional and sensory quality of tarhana, a fermented wheat flour-yoghurt product. *Journal of Food Engineering* 77(3): 680-686.
- [42] Stear, C.A., 1990. Formulation and processing techniques for specialty-bread. In C.A. Stear, *Handbook of breadmaking technology*. London: Elsevier.
- [43] Madruga, M.A., Camara, F.S., 2000. The chemical composition of "Multimistura" as a food supplement. *Food Chemistry* 68: 41-44.
- [44] Harris P.J., Ferguson, L.R., 1993. Dietary fibre: its composition and role in protection against colorectal cancer. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 290(1): 97-110.

Araştırma Makalesi / Research Paper

## Kaz Dağları'ndan Toplanan Bazı Bitkilerin Fenolik Asit Kompozisyonlarının Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi İle Belirlenmesi

N. Barış Tuncel, Neşe Yılmaz

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Çanakkale  
E-posta: baristuncel@comu.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışmada Kaz Dağları'ndan toplanan *Sideritis trojana*, *Salvia tomentosa*, *Origanum vulgare subsp. hirtum*, *Lavandula stoechas subsp. stoechas*, *Sideritis athoa*, *Mentha pulegium*, *Abies nordmannia subsp. equi-trojani* kozalağı, *Hypericum perforatum*, *Achillea nobilis subsp. sipylea* ve *Mentha spicata* bitkilerinin fenolik asit kompozisyonları (gallik, protokateşik, *p*-hidroksibenzoik, vanilik, kafeik, klorojenik, sirinjik, *p*-kumarik, ferulik, *o*-kumarik, rozmarinik ve *trans*-sinamik asitler) belirlenmiştir. Fenolik asit analizleri ters faz HPLC ile gradiyent sistemde, 280 nm dalgaboyunda ve iç standart olarak propilparaben kullanılarak gerçekleştirilmiştir. *Origanum vulgare subsp. hirtum* ve *Salvia tomentosa*'nın fenolik asitlerce oldukça zengin oldukları gözlenmiştir. Rozmarinik asit, hem bulunma sıklığı hem de bulunma miktarı bakımından diğer fenolik asitlerden daha fazla tespit edilmiştir. İncelenen bitkiler arasında fenolik asit içeriği bakımından en fakir olan türün, endemik bir bitki olan *Abies nordmannia subsp. equi-trojani* kozalağı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fenolik asitler, Kaz Dağları, Ida Dağı, HPLC

### Determination of Phenolic Acid Composition of Some Herbs from Kaz Mountains, Turkey by High Performance Liquid Chromatography

### ABSTRACT

In present study, phenolic acid compositions (gallic, protocatechuic, *p*-hydroxy benzoic, vanillic, caffeic, chlorogenic, syringic, *p*-coumaric, ferulic, rosmarinic, *o*-coumaric and *trans*-cinnamic acids) of herbal parts of *Sideritis trojana*, *Salvia tomentosa*, *Origanum vulgare subsp. hirtum*, *Lavandula stoechas subsp. stoechas*, *Sideritis athoa*, *Mentha pulegium*, *Abies nordmannia subsp. equi-trojani* (cone), *Hypericum perforatum*, *Achillea nobilis subsp. sipylea* and *Mentha spicata* collected from Kaz Mountain were determined by reverse phase-high pressure liquid chromatography (RP-HPLC) at 280 nm wavelength using propylparaben as internal standard. It was observed that *Origanum vulgare subsp. hirtum* and *Salvia tomentosa* are rich in phenolic acids. Rosmarinic acid was the most dominant phenolic acid in these herbal parts. Moreover, *Abies nordmannia subsp. equi-trojani* cone was found the poorest plant in terms of phenolic acid composition among the herbs analyzed.

**Key Words:** Phenolic acids, Kaz Mountains, Ida Mountain, HPLC

### GİRİŞ

Fenolik asitler son yıllarda özellikle kanser ve koroner kalp hastalıkları gibi ölümcül hastalıklara karşı koruyucu etkide bulunma potansiyelleri nedeniyle üzerinde oldukça yaygın çalışmalar yapılan bileşiklerdir [1]. Bununla birlikte anti-allerjik, antiinflamatuvar (iltihap oluşumunu önleyici), antimikrobiyal, antioksidan, anti-trombotik (kan pıhtılaşmasını engelleyici) ve vasodilatör (damar genişletici) olmak üzere pek çok

etkisi olduğu kanıtlanmış ve bu yararlı etkilerinin temel sebebinin antioksidan özellik göstermeleri olduğu rapor edilmiştir [2]. Bununla birlikte literatürdeki bazı araştırmalar fenolik bileşenler ve antioksidan aktivite arasındaki ilişkiyi desteklerken [3, 4], bazıları da bu iki parametre arasında doğrudan bir ilişki olmadığını belirtmektedir [5, 6].

Fenolik asitler; kimyasal olarak, benzoik ve sinamik asitlerin hidroksillenmiş türevleridirler. En yaygın

hidroksisünamik asit türevleri *p*-kumarik, kafeik, klorojenik ve ferulik asitlerdir. Bunlar gıdalarda kuinik asit veya glukoz ile basit esterler formunda yaygın olarak bulunmaktadır. Hidroksisünamik asitlerin aksine hidroksibenzoik asit türevleri gıdalarda genel olarak glikozit formunda bulunmaktadır. En yaygın olanları, gallik, *p*-hidroksibenzoik, vanilik ve protokateşik asitlerdir [1, 2].

Fenolik maddelerin biyoyararlığı onların molekül büyüklüğü, çözünürlük vb. özellikleri tarafından belirlenen absorblanma ve metabolize olma yeteneklerine bağlıdır. Yapısal olarak fenolik bileşikler bir aromatik halkaya bağlı hidroksil grupları ile karakterize edilir ve basit fenolik maddelerden daha karmaşık yapıları polimerize bileşiklere kadar geniş bir yelpaze içinde yer alırlar. Fenolik asitler mono ve polisakkaritler ile konjuge olmuş, bir ya da daha fazla fenolik gruba bağlı veya ester ve metil esterlerin fonksiyonel türevleri halinde bulunabilirler [2].

Gıdalarda bulunan fenolik asitler renk, aroma, koku, acılık, burukluk ve oksidatif stabilite üzerinde etkilidirler [7]. Gıda endüstrisinde doğal fenolik antioksidanlardan daha stabil olmaları nedeniyle, daha çok propil gallat (PG), tersiyer butil hidrokinon (TBHQ), bütillenmiş hidroksianisol (BHA) ve bütillenmiş hidroksitoluen (BHT) gibi sentetik antioksidanlar kullanılmaktadır. Başlıca, yağların depolanmasında olmak üzere çeşitli gıda proseslerinde yaklaşık 50 yıldan beri kullanılan BHA ve BHT'nin laboratuvar hayvanlarında karaciğer tahribatı ve kansere neden olduğu gerekçesiyle kullanımı sınırlandırılmış olup, ülkeden ülkeye göre değişmekle beraber kullanım miktarları ile ilgili yasal limitler belirlenmiştir. Örneğin TBHQ Amerika'da serbest olmasına rağmen Avrupa Birliği ülkelerinde yasaklanmıştır [8]. Bu nedenle doğal antioksidan kaynaklarına olan talep artmaktadır.

Literatürde fenolik asitlerin ekstraksiyonu ve analiz konusunda çok sayıda metot tanımlanmıştır. Tüm bu ekstraksiyon metotlarının temel prensibi belli başlı fenolik asit takımı ya da fenolik asitlerin belli formlarına özgü olmalarıdır. Çözünabilir fenolik asitler daha çok metanol, aseton, su veya bunların belli oranlarda ve sıcaklıklardaki karışımlarından oluşan çözgenler ile ekstrakte edilmektedir. Bağlı fenolik asitler ise asit, alkali veya hem asit hem alkali hidrolizine tabi tutularak ekstrakte edilmektedir [1]. Ekstraksiyonda yaygın olarak C18 veya anyon değiştirici (SAX) kartuşlar ile katı faz ekstraksiyonu ve etil asetat, dietil eter gibi organik solventler ile sıvı-sıvı ekstraksiyonu uygulanmaktadır. Şarap ve berrak meyve suyu gibi berrak örneklerde ise direk enjeksiyon mümkündür [9].

Fenolik asit profili belirlemek amacıyla; sıvı kromatografi-kütle spektrometresi (LC-MS) [10], gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) [11], ince tabaka kromatografisi (TLC) [12], ve kapiller elektroforez (CE) [13] gibi pek çok teknik uygulanmıştır. Bununla birlikte ters faz sıvı kromatografisi (RP-HPLC) fenolik asit analizinde kullanılan en yaygın yöntemdir [14, 15, 16].

Dünyada doğal antioksidan kaynağı olarak tıbbi aromatik bitkiler konusunda yaygın önemli çalışmalar yapılmaktadır. Kaz Dağları Türkiye'de yapılan araştırmalar için oldukça zengin bir kaynaktır. Marmara ve Ege bölgelerinin doğal sınırlarını oluşturan Kaz Dağları, coğrafi olarak Güney Marmara'nın batısında, Biga Yarımadası'nın güneyinde, Edremit Körfezi'nin kuzey kenarında yer almaktadır.

Bu çalışmanın amacı, bölge halkı tarafından çay, baharat vb. formlarda tüketilen Kaz Dağları bitkilerinden en yaygın olanlarının fenolik asit kompozisyonlarını ortaya koymaktır.

## MATERYAL ve METOT

### Materyal

Çalışmada materyal olarak kullanılan örnekler Kaz Dağları'ndan toplanan ve bir kısmı endemik olan 10 bitki türünden oluşmaktadır. Bitkilerin yerel isimleri ile bilimsel isimleri sırasıyla şöyledir: Yarpuz-pülüşkün (*Mentha pulegium*), kantaron (*Hypericum perforatum*), kekik (*Origanum vulgare subsp. hirtum*), kandil çayı-dağ çayı (*Sideritis athena*), civanperçemi (*Achillea nobilis subsp. siphylea*), Kaz Dağı göknarı (*Abies nordmanniana spp. equi-trojani*) kozalağı, karabaş otu (*Lavandula stoechas subsp. stoechas*), adaçayı (*Salvia tomentosa*), nane (*Mentha spicata*) ve Kaz Dağı çayı (*Sideritis trojana*). Bunlardan Kaz Dağı göknarı ve Kaz Dağı çayı endemik türlerdir. Toplanan bitkiler, 40°C'ye ayarlanmış etüvde %12 nem miktarına kadar kurutulmuş ve öğütülmüştür. Örnekler analiz edilinceye kadar karanlık ve serin şartlarda saklanmıştır.

### Metot

#### Ekstraksiyon

Kurutulmuş ve öğütülmüş bitki örneklerinden 5'er g tartılarak kaba filtre kağıdından kartuşlar hazırlanmıştır. Kartuşlar Soxhlet düzeneğine yerleştirilerek 12 saat boyunca dietilerle muamele edilmiş ve bitkiler yağ ve mum (wax) gibi organik çözgenlerde çözünen bazı safsızlıklarından arındırılmıştır. Aynı kartuşlar yine Soxhlet düzeneğinde bu defa metanol ile 8 saat muamele edilerek ekstrakte edilmiştir. Metanol 45°C'ye ayarlı vakumlu rotary evaporatörde uçurulduktan sonra elde edilen ekstraktan analiz için 15-20 mg örnek alınmıştır. Ekstraktlar, 15mL'lik polipropilen tüplere transfer edilmiş ve üzerine 10 mL analitik saflıkta metanol ilave edilmiştir. Uygun süre vorteks yapılarak örneğin solvent içerisinde iyice çözünmesi sağlanmış, analitik saptamayı kolaylaştırmak ve tekrar edilebilirliği arttırmak için iç standart ilave edilmiş ve enjeksiyon yapılmıştır. Bu çalışmada incelenen fenolik asitler metanolde çözünen ve serbest formda bulunan fenolik asitlerdir.

#### HPLC Analizi

Fenolik asit analizleri Agilent 1200 series HPLC (Agilent, Waldbronn, Almanya) ile Öztürk ve ark.'ın [17] yöntemi kısmen değiştirilerek yapılmıştır. Kullanılan tüm fenolik

asit standartları ve kimyasal malzemeler analitik saflıktadır (Sigma Aldrich, St. Louis, ABD ve Merck GmbH, Darmstadt, Almanya).

Mobil faz, iki solvent sisteminden oluşmaktadır: [A: metanol:su:formik asit (10:88:2 v/v); B: metanol:su:formik asit (90:8:2 v/v)]. Çalışmada gradiyent elüsyon kullanılmış olup ayırım 150 x 4.6mm, 5µm C18 kolonda (Agilent Zorbax Eclipse XDB-C18) gerçekleştirilmiştir. Gradiyent elüsyon koşulları şöyledir: 0. dk, %100 A; 0-20 dk, %80 A; 25-50 dk, %50 A; 50-54dk, %50 A; 54-64 dk, %0 A ve 64-70 dk, %100 A. Fenolik asitler UV dedektör ile 280 nm'de okunmuştur. Akış hızı 1 mL/dk, enjeksiyon hacmi 5µL'dir. Analiz boyunca kolon sıcaklığı 23°C'de sabit tutulmuştur.

### Miktar Tayini

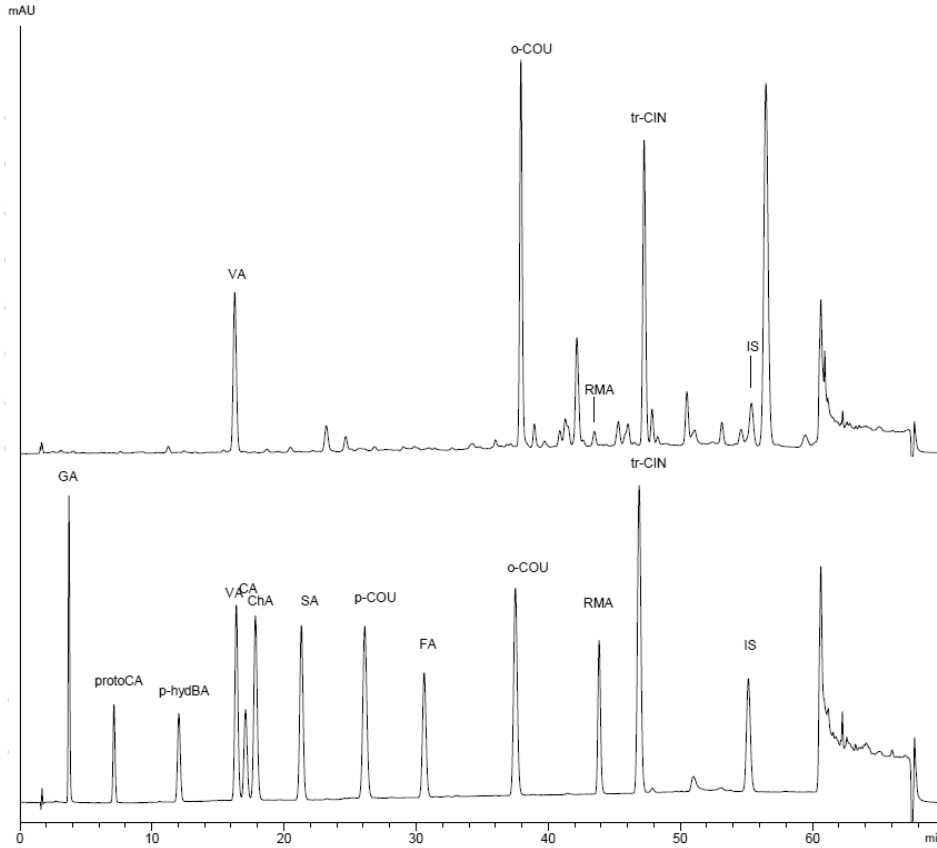
Çalışmada incelenen fenolik asitler kromatogramdan çıkış sırası ile şöyledir: gallik asit (GA), protokateşik asit (proto-CA), *p*-hidroksibenzoik asit (*p*-hydBA), vanilik asit (VA), kafeik asit (CA), klorojenik asit (ChA), sirinjik asit

(SA), *p*-kumarik asit (*p*-COU), ferulik asit (FA), *o*-kumarik asit (*o*-COU), rozmarinik asit (RMA) ve *trans*-sinamik asit (*tr*-CIN). Toplam 12 adet fenolik asit incelenmiş olup, iç (internal) standart olarak propilparaben kullanılmıştır.

Tek tek hazırlanan fenolik asit standart çözeltilerinden uygun miktarlarda alınarak tüm standartları içeren ana stok standart solüsyonu hazırlanmıştır. Standart çözeltilerin molaritesine karşılık elde edilen pik alanları, pik normalizasyon değerleri üzerinden grafiğe kaydedilmiş ve hesaplamalarda elde edilen denklem kullanılmıştır. Gerekli ekstraksiyon seyreltmeleri de hesaba katıldıktan sonra fenolik asit miktarları mg/100g bitki (kuru ağırlık) cinsinden ifade edilmiştir. Analizler iki tekrür ve iki paralelli olarak yürütülmüştür.

### BULGULAR ve TARTIŞMA

Fenolik asit standart kromatogramı ile *Sideritis athena* bitkisinin fenolik asit profilleri Şekil 1 de sunulmuştur.



Şekil 1. Fenolik asit standart kromatogramı (altta) ile *Sideritis athena* (Kandil, dağ çayı) bitkinden elde edilen ekstrakta ait kromatogramı

Kromatogramlardan da görülebileceği üzere 12 adet fenolik asit tek enjeksiyonla ve ilave saflaştırma aşamalarına gerek duyulmaksızın analiz edilebilmektedir. Analizin tekrarlanabilirliği bakımından mobil faz bileşiminin oldukça önemli olduğu, ufak bir değişimin bile kromatogramda kaymalara neden olduğu tespit edilmiştir.

Rozmarinik asit (RMA), hem bulunma sıklığı hem de bulunma miktarı bakımından diğer fenolik asitlerden daha fazla tespit edilmiştir. En yüksek RMA miktarı kekik ve adaçayında gözlenmiştir. Bunun da etkisiyle toplam fenolik asit miktarı en yüksek bitkiler de yine aynı bitkilerdir. Onları nane takip etmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Kaz Dağları'ndan toplanan bazı bitkilerin fenolik asit kompozisyonları\*\*

Bitki	Gallik Asit	Proto-kateşik Asit	p-Hidroksi Benzoik Asit	Vanilik asit	Kafeik Asit	Klorojenik Asit	Sirinjik Asit
Yarpuz. pülüskün ( <i>Mentha pulegium</i> )	te	3.93±0.52	te	te	9.09±1.96	44.01±2.24	2.07±0.21
Kantaron ( <i>Hypericum perforatum</i> )	te	14.31±1.13	te	te	45.30±1.84	10.89±1.96	te
Kekik ( <i>Origanum vulgare subsp. hirtum</i> )	te	te	te	te	8.76±0.63	78.62±3.45	te
Kandil çayı, Dağ çayı ( <i>Sideritis athoa</i> )	te	te	te	233.70±2.24	te	te	te
Civanperçemi ( <i>Achillea nobilis subsp. sipylea</i> )	te	4.43±0.45	1.14±0.12	25.91±1.76	5.28±0.25	2.62±0.58	3.03±0.84
Kaz Dağı göknarı kozalağı ( <i>Abies nordmanniana spp. equi-trojani</i> ) kozalağı*	0.46±0.12	2.11±0.68	0.65±0.08	te	1.60±0.56	te	1.86±0.31
Karabaş otu ( <i>Lavandula stoechas subsp. stoechas</i> )	te	5.65±0.96	te	3.50±0.82	9.91±0.93	21.00±1.46	te
Adaçayı ( <i>Salvia tomentosa</i> )	1.22±0.06	te	te	5.01±0.62	15.07±1.24	43.05±1.98	5.86±0.45
Nane ( <i>Mentha spicata</i> )	1.49±0.03	2.82±0.65	te	2.37±0.26	8.35±1.21	14.19±1.64	4.38±0.63
Kaz Dağı çayı ( <i>Sideritis trojana</i> )*	te	te	te	30.92±2.42	te	3.58±0.21	1.29±0.06
Bitki	p-Kumarik Asit	Ferulik Asit	o-Kumarik Asit	Rozmarinik Asit	tr-Sinamik Asit	Toplam mg /100g bitki	
Yarpuz. pülüskün ( <i>Mentha pulegium</i> )	3.45±0.64	8.66±0.13	20.87±1.14	489.09±3.27	1.34±0.12	582.51	
Kantaron ( <i>Hypericum perforatum</i> )	2.88±0.43	te	260.87±2.76	181.55±1.14	te	515.8	
Kekik ( <i>Origanum vulgare subsp. hirtum</i> )	8.10±1.10	6.43±1.22	3.80±0.80	1070.01±5.64	te	1175.72	
Kandil çayı, Dağ çayı ( <i>Sideritis athoa</i> )	te	te	338.00±3.47	59.29±2.26	202.03±1.13	883.02	
Civanperçemi ( <i>Achillea nobilis subsp. sipylea</i> )	te	33.97±1.28	0.46±0.07	25.81±1.11	te	102.65	
Kaz Dağı göknarı kozalağı ( <i>Abies nordmanniana spp. equi-trojani</i> ) kozalağı*	te	2.21±0.07	te	te	te	8.89	
Karabaş otu ( <i>Lavandula stoechas subsp. stoechas</i> )	te	12.03±0.78	2.98±0.07	616.22±1.26	te	671.29	
Adaçayı ( <i>Salvia tomentosa</i> )	4.31±0.21	te	1.21±0.03	1069.20±2.75	te	1144.93	
Nane ( <i>Mentha spicata</i> )	te	5.33±0.34	3.81±0.06	958.15±3.24	te	1000.89	
Kaz Dağı çayı ( <i>Sideritis trojana</i> )*	te	2.51±0.62	139.74±4.22	te	38.08±2.26	216.12	

\* Endemik türler, \*\* Sonuçlar ortalama ± standart hata olarak belirtilmiştir, te: Tespit edilemedi

Rozmarinik asit, antioksidan, anti-inflamatuar ve antimikrobiyal aktiviteye sahip olup, antioksidan aktivitesi vitamin E'den ve sentetik bir antioksidan olan bütillenmiş hidroksi tolüenden (BHT) yüksektir. Antimikrobiyal etkisi dolayısıyla gıdaların muhafazasında da kullanılmaktadır. Ayrıca rozmarinik asit ülser, arthritisi, katarakt, kanser ve astım tedavisinde de yardımcı bileşen olarak kullanılmaktadır [18, 19].

Klorojenik asit, kekikte en yüksek miktarda bulunmuş olup, kekikte bulunan fenolik asitler arasında da RMA dan sonra en baskın olanıdır. Klorojenik asit bir kafeik ve kuinik asit esteridir [20]. Kekik Güney Fransa'da depolanan tarım ürünlerini haşarattan korumak için kullanılmaktadır. Farmakolojik deneyler kekik suyunun uzun sürelerde aşırı miktarda alınması durumunda bile hiç bir toksik etkisinin olmadığını ortaya koymuştur. Mide ve bağırsaklardaki ağrıları giderdiği, safra salgılanmasını artırarak hazmı kolaylaştırdığı saptanmıştır [21]. Kekik geleneksel olarak soğuk algınlığı, baş ağrısı ve midevi ağrıları için kullanılmaktadır. Kekik bileşenlerinin antibakteriyel, antipazmodik ve antiseptik etkileri olduğu bilimsel olarak saptanmıştır [22].

Kaz Dağı göknarı kozalağı, endemik bir tür olup, bölge halkı tarafından çay olarak tüketilmekte olan bir bitkidir. Fenolik asit içeriği bakımından incelenen bitkiler arasında en fakir olanıdır. İçerdiği bütün fenolik asitler de oldukça düşük miktarlardadır (Tablo 1).

p-Hidroksi benzoik asit sadece göknar kozalağı ve civanperçemide bulunmuştur.

Civanperçemi en yüksek ferulik asit içeriğine sahip olmasına rağmen, toplam fenolik asit içeriği bakımından diğer bitkilere nispeten oldukça fakirdir. İdrar arttırıcı özelliği bulunan civanperçemi, üriner sistem hastalıklarında halk tarafından geleneksel olarak kullanılmaktadır [23].

Japonya'da ferulik asit bir katkı maddesi olarak gıda muhafazada kullanılmaktadır. Bir ferulik asit tuzu olan sodyum ferrulat tan Çin'de kardiovasküler hastalıkların tedavisinde yararlanılmaktadır. Ferulik asit, iyi bir serbest radikal yakalama mekanizmasına sahiptir ve bundan dolayı oksidatif strese bağlı olarak meydana gelen Alzheimer, diyabet, kanser, hipertansiyon ve arterioskleroz gibi hastalıkların önlenmesinde ve tedavi



edilmesinde yararlı bir maddedir. Ayrıca ferulik asidin UV ışığı absorplama yeteneğinden dolayı da deri koruyucu etkisi vardır [24].

Kafeik asit miktarı en yüksek kantaron (*Hypericum perforatum*) bulunmuştur (Tablo 1).

Kantaron son yıllarda antidepresan etkilerinden dolayı popülerite kazanmıştır. Bu bitkiden hazırlanan yağlı maseratin yara iyileştirici etkisi çok uzun zamandır bilinmektedir. Haricen ve dahilen kullanılan bu kırmızı yağın yangıları önleyici ve iyileştirici etkisi vardır. Almanya'da sarı kantaron ruhsatlı ilaç ve tıbbi çay olarak piyasada bulunur. Muhtelif dozaj formlarında hafif depresyonun tedavisinde kullanılır. ABD'de tentür ve sulu ekstre halinde gıda bütünleyici olarak, yağlı maserati haricen, kuru ekstresi ise kapsül ve tablet halinde kullanılmaktadır [25]. Bununla birlikte kantaron ekstraktlarında yoğun olarak bulunan hiperisinin anti tümör etki göstermektedir [26].

*Sideritis* türleri genelde dağ çayı olarak ifade edilir ve özellikle antiinflamatuvar ve diüretik olarak soğuk algınlığının tedavisinde yararlanılır [27].

Kandil çayının (*Sideritis athena*) fenolik asit kompozisyonu bakımından incelenen diğer bitkilerden farklılık gösterdiği ve düşük miktarlarda nadiren bulunan vanilik asit ve trans sinamik asit bakımından en yüksek içeriğe sahip olduğu gözlenmiştir (Tablo 1).

Adını "iyi" ve "güvenli" manasına gelen Latince bir kelime olan "Salvus" tan alan *Salvia* türleri türkiye florasında 88 tür ve 45'i endemik olan 93 takson ile temsil edilmekte olup, çok eski çağlardan beri diare, hemaroid ve göz hastalıklarının tedavisinde kullanılmaktadır [28].

Gallik asit sadece Kaz Dağı göknarı kozalağı, adaçayı ve nandede tespit edilmiş olup, oldukça düşük miktarlarda bulunmuştur. Gallik asit özellikle emülsiyon ve lipid sistemlerinde güçlü bir antioksidandır. Antioksidan etkisi neredeyse tokoferollerinki kadar yüksek olup, askorbik asit gibi suda çözünen antioksidanlardan daha yüksektir. Gıda sanayinde işlenmiş gıdalarda ve lipid peroksidasyonu ve bozunma sonucu meydana gelen ransiditenin önlenmesi için gıda ambalaj materyallerinde kullanılmaktadır [29].

## SONUÇ

İncelenen bitkilerde gallik asit, *p*-hidroksi benzoik asit ve *trans*-sinamik asit oldukça nadir olarak tespit edilmiştir. *O*-kumarik asit; kantaron, kandil çayı ve Kaz Dağı çayında önemli miktarda tespit edilmiştir. Sirinjik asit ise tüm bitkilerde çok düşük miktarlarda bulunmuştur.

Sonuç olarak, incelenen bitkiler arasında günlük hayatta oldukça sık kullandığımız kekik, nane ve adaçayı bitkilerinin toplam fenolik asit içeriği diğer bitkilere nispeten daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca literatürde yaygın olarak spektrofotometrik metotlar ile belirlenen total fenolik miktarına ilişkin bazı bulgular detaylandırılmış ve daha önce hiç incelenmemiş olan

bazı endemik türlerin fenolik asit kompozisyonları belirlenmiştir. Kaz Dağları'na özgü endemik bitkilerden Kaz Dağı çayı (*Sideritis trojana*) ve özellikle Kaz Dağı göknarı kozalağının (*Abies nordmanniana* spp. *equi-trojani*) fenolik asit içeriği bakımından incelenen diğer bitkilere nispeten daha fakir olduğu belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Kaz Dağları bitkilerinin taksonomik sınıflandırmasını yapan Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü öğretim elemanı Dr. Ersin Karabacak'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] Mattila, P., Kumpulainen, J., 2002. Determination of free and total phenolic acids in plant-derived foods by HPLC with diode-array detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 3660-3667.
- [2] Balasundram, N., Sundram, K., Samman, S., 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry* 99:191-203.
- [3] Andarwulan, N., Fardiaz, D., Wattimena, G. A., Shetty, K., 1999. Antioxidant activity associated with lipid and phenolic mobilization during seed germination of *Pangium edule* Reinw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 3158-3163.
- [4] Tsaliki, E., Lagouri, V., Doxastakis, G., 1999. Evaluation of the antioxidant activity of lupin seed flour and derivatives (*Lupinus albus* ssp. *Graecus*). *Food Chemistry* 65: 71-75.
- [5] Maillard, M. N., Berset, C., 1995. Evolution of antioxidant activity during kilning, role of insoluble bound phenolic acids of barley and malt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43: 1789-1793.
- [6] Bocco, A., Cuvelier, M. E., Richard, H., Berset, C., 1998. Antioxidant activity and phenolic composition of citrus peel and seed extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 2123-2129.
- [7] Nacz, M., Shahidi, F., 2006 Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 41: 1523-1542.
- [8] Saad, B., Sing, Y.Y., Nawi, M. A., Hashim, N., Mohamed Ali, A. S., Saleh, M.I., Sulaiman, S. F., Talib, K. M., Ahmad, K., 2007. Determination of synthetic phenolic antioxidants in food items using reversed-phase HPLC. *Food Chemistry* 105: 389-394.
- [9] Rodrigez-Delgado, M.A., Malovana, S., Perez, J. P., Borges, T., Garcia Montelongo, F. J., 2001. Separation of phenolic compounds by high-performance liquid chromatography with absorbance and fluorimetric detection. *Journal of Chromatography A* 912: 249-257.
- [10] Perez-Magarino, S., Revilla, I., Gonzalez-SanJose, M. L., Beltran, S., 1999. Various applications of liquid chromatography-mass spectrometry to the analysis of phenolic compounds. *Journal of Chromatography A* 847: 75-81.
- [11] Fiamegos, Y. C., Nanos, C. G., Vervoort, J., Stalikas, C. D., 2004. Analytical procedure for the

- in-vial derivatization-extraction for phenolic acids and flavonoids in methanolic and aqueous plant extracts followed by gas chromatography with mass-selective detection. *Journal of Chromatography A* 1041: 11-18.
- [12] Schmidlein, H., Hermann, K., 1975. Quantitative analysis for phenolic acids by thin layer chromatography. *Journal of Chromatography A* 115: 123-128.
- [13] Cartoni, G., Cocciol, F., Jasionowska, R., 1995. Capillary electrophoretic separation of phenolic acids. *Journal of Chromatography A* 709: 209-214.
- [14] Robbins, R.J., Bean, S. R., 2004. Development of a quantitative high-performance liquid chromatography-photodiode array detection measurement system for phenolic acids. *Journal of Chromatography A* 1038: 97-105.
- [15] Tsao, R., Deng, Z. 2004. Separation procedures for naturally occurring antioxidant phytochemicals. *Journal of Chromatography B* 812: 85-99.
- [16] Escarpa, A., Gonzalez, M. C., 2000. Evaluation of high-performance liquid chromatography for determination of phenolic compounds in pear horticultural cultivars. *Chromatographia* 51: 37-43.
- [17] Öztürk, N., Tunçel, M., Tuncel, N. B., 2007. Determination of phenolic acids by a modified HPLC: Its application to various plant materials. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies* 30: 587-596.
- [18] Anonim.  
<http://www.phytochemicals.info/phytochemicals/rosmarinic-acid.php> Erişim tarihi: 01.11.09
- [19] Zheng, W., Wang, S.Y., 2001. Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 5165-5170.
- [20] Chen, J.H., Ho, C.T., 1997. Antioxidant activities of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 45: 2374-2378.
- [21] Başer K.H.C., 2001. Her derde deva bir bitki kekik. *Bilim ve Teknik* Mayıs 74-77.
- [22] Ofıaz, S., Kürkçüoğlu, M., Başer, K.H.C., 2002. *Origanum Onites* ve *Origanum vulgare subsp. hirtum* üzerinde farmakognozik araştırmalar. 14. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı, Bildiriler, 29-31 Mayıs 2002, Eskişehir, ISBN 975-94077-2-8.
- [23] Erdemir, D.A., 2000. Şifalı Bitkiler, Nobel Tıp Kitabevleri. p.29-51.
- [24] Zhao, Z., Moghadasian, M.H., 2008. Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: A review. *Food Chemistry* 109 : 691-702.
- [25] Başer, K.H.C., 2002. Fonksiyonel gıdalar ve nutrasötikler, 14. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı, Bildiriler, 29-31 Mayıs 2002, Eskişehir, ISBN 975-94077-2-8
- [26] Hışıl, Y., Şahin, F., Omay, S.B., 2005. Kantaronun (*Hypericum perforatum* L.) bileşimi ve tıbbi önemi. *International Journal of Hematology and Oncology* 4 (15) : 212-218.
- [27] Özcan, M., Chalchat, J.C., Akgül, A., 2001. Essential oil composition of Turkish mountain tea (*Sideritis* spp.) *Food Chemistry* 75: 459-463.
- [28] Kelen, M., Tepe, B., 2008. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of the essential oils of three *Salvia* species from Turkish flora. *Biosource Technology* 99: 4096-4104.
- [29] Yen, G.C., Duh, P.D., Tsai, H.L., 2002. Antioxidant and pro-oxidant properties of ascorbic acid and gallic acid. *Food Chemistry* 79: 307-313.
- 
-

## Kuru İncir, Üzüm ve Kırmızıbiberlerde Mikotoksin Varlığı

Levent Şen<sup>1</sup>, Sebahattin Nas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sultandağı Meslek Yüksekokulu, Sultandağı, Afyonkarahisar

<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Denizli  
E-posta: lsen@aku.edu.tr

### ÖZET

Mikotoksinler funguslar tarafından üretilen ve çeşitli tarımsal ürünlerde hasat öncesinde ya da hasattan sonraki herhangi bir aşamada oluşabilen toksik metabolitlerdir. Küfler tarafından üretilen birçok mikotoksin olmasına rağmen gıdalarda en sık rastlananlar aflatoksin (AF), okratoksin (OT), patulin, fumonisinler, zearalenon ve trikotesenler olarak sıralanabilir. Bu çalışmada ülkemizde büyük ekonomik önemi olan kuru incir, üzüm ve kırmızıbiberde aflatoksin ve okratoksin A potansiyeli, bu toksinlerin oluşum şartları ve olası giderme yöntemleri derlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aflatoksin, Okratoksin A, Kuru incir, Kuru üzüm, Kırmızıbiber

### Occurrence of Mycotoxins in Dried Figs, Raisins and Paprika

### ABSTRACT

Mycotoxins are produced by fungi and may form in various agricultural commodities under pre- or post-harvest conditions. Although various kinds of mycotoxins can be produced by molds, only some of these metabolites, mainly aflatoxins, ochratoxins, patulin, fumonisins, zearalenone and trichothecenes, are most frequently encountered in foods. This review is focused on the occurrence potential of aflatoxin and ochratoxin A, their formation conditions and possible decomposition methods for dried figs, raisins and paprika.

**Keywords:** Aflatoxin, Ochratoxin A, Dried figs, Raisins, Paprika

### GİRİŞ

Günlük yaşamda insanların tükettikleri gıda maddelerinin içerdiği besin öğelerinin yanı sıra bunlarda sağlığa zararlı olan bileşiklerin bulunup bulunmadığına da önem verilmektedir. Gıdaların bileşiminde bulunabilecek herhangi bir zararlı bileşik insan ve toplum sağlığını doğrudan etkilemektedir [1].

Mikotoksinler funguslar tarafından üretilen ve çeşitli tarımsal ürünlerde hasat öncesinde ya da hasattan sonraki herhangi bir aşamada oluşabilen toksik metabolitlerdir [2]. Olumsuz şartlara maruz kalmış ve toksijenik küf gelişimi sonucu mikotoksin oluşumu gerçekleşmiş tarımsal ürünler tüketildiğinde insan ve hayvanlarda toksik etkiler oluşturmaktadır. "Mikotoksikozis" ise mikotoksin oluşmuş gıda ve yemlerin tüketilmesiyle ortaya çıkan hastalıklardır [3]. Gıda ve yem maddelerindeki mikotoksin oluşumu hem hayvan hem de insan sağlığını tehdit etmektedir [4]. Birleşmiş Milletler Gıda ve Ziraat Örgütü (FAO) dünya

gıda ürünlerinin her yıl en az %25' inin mikotoksinler tarafından etkilendiğini rapor etmiştir [5,6].

Bu derlemede ülkemizde büyük ekonomik önemi olan incir, kuru üzüm ve kırmızıbiberde aflatoksin ve okratoksin A potansiyeli, bu toksinlerin oluşum şartları ve olası giderme metotları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

### KURU MEYVE ve SEBZELERDE SIKLIKLA RASTLANAN KÜF ve MİKOTOKSİNLER

Mikotoksinler *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* ve *Fusarium* cinslerine mensup funguslar tarafından üretilen bir grup sekonder metabolitlerdir [7]. Bu fungus cinslerinden ilk üçü meyvelerde mikotoksin oluşumuna önemli oranda neden olan küflerdir [8]. Küfler tarafından üretilen birçok mikotoksin olmasına rağmen gıdalarda en sık rastlananlar; aflatoksin, okratoksin, patulin, fumonisinler, zearalenone ve trikotesenler olarak sıralanabilir [9]. Bununla birlikte, meyve ve sebzelerde,

bunlardan elde edilen ürünlerde sıklıkla rastlanılan mikotoksinler aflatoksinler, okratoksin A (OTA), patulin ve *Alternaria* toksinleridir [10].

AF'ler, *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius* ve *A. niger* gibi *Aspergillus* türleri tarafından üretilen toksik metabolitler grubudur [11]. 20 farklı aflatoksin tanımlanmış olmasına rağmen [12], tarımsal ürünlerde en sık rastlanan aflatoksinler AFB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> ve G<sub>2</sub> dir [13,14]. AF' ler çekirdek molekül olarak kumarin, buna kaynaşmış halde bulunan bifuran veya bir pentanon (AFB<sub>1</sub> ve AFB<sub>2</sub>) ya da altı üyeli bir lakton (AFG<sub>1</sub> ve AFG<sub>2</sub>) içermektedir [15]. Ultraviyole ışık altında mavi floresans verenler AFB<sub>1</sub> ve AFB<sub>2</sub>, yeşil floresans verenler ise AFG<sub>1</sub> ve AFG<sub>2</sub>'dir [16].

AF'lerin hayvanlar üzerinde kanserojenik, mutajenik ve immuno-supresif etkileri olduğu birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuş, epidemiyolojik çalışmalar ise insanların günlük diyetlerindeki AF seviyesi ile karaciğer kanseri görülme sıklığı arasında yakın bir ilişki olduğunu göstermiştir [17]. Bunun yanı sıra AF'lerin immün sistemi baskılama, protein metabolizmasında bozulmaya yol açma gibi birçok önemli zehirli etkileri de bulunmaktadır [18]. AF'ler içerisinde en toksik olan bileşik AFB<sub>1</sub>'dir [19]. AFB<sub>1</sub>, Dünya Sağlık Örgütü Uluslararası Kanser Araştırma Enstitüsü (WHO/IARC)'ne göre "Grup I" karsinojen olarak sınıflandırılmıştır [12, 20]. Oluşturdukları toksik etki gücüne göre AF'ler AFB<sub>1</sub> > AFG<sub>1</sub> > AFB<sub>2</sub> > AFG<sub>2</sub> şeklinde sıralanmaktadır [16].

Gıdalarda ve yemlerdeki AF miktarları ülkeler tarafından sıkı bir şekilde kontrol edilmektedir. Örneğin, ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), gıda maddelerinde bulunabilecek maksimum AF miktarını 20 ng/g olarak belirlemiştir. Avrupa birliği ülkeleri birçok baharatta aflatoksin kalıntı miktarını AFB<sub>1</sub> için maksimum 5 ng/g, toplam AF miktarını ise 10 ng/g olarak belirlemiştir [21]. 2010 yılına kadar yerfıstığı, fındık, kurutulmuş meyveler, tahıllar ve direkt tüketim için işlem görmüş ürünlerde AFB<sub>1</sub> için maksimum seviye 2 ng/g, toplam AF için ise 4 ng/g olarak belirlenmiştir [21]. Ancak, gıda maddelerindeki AF limitlerini belirleyen 165/2010 EC Avrupa Birliği (AB) komisyon yönetmeliği 27 Şubat 2010 tarihli AB resmi gazetesinde yayınlanmış olup, bazı ürünler için yeni AF limitleri 8 Mart 2010 tarihi itibarıyla yürürlüğe girmiştir. Yeni yönetmeliğe göre, doğrudan tüketime sunulan ve gıda bileşeni olarak kullanılan antepfıstıkları için AFB<sub>1</sub> ve toplam AF limitleri sırasıyla 12 ve 15, fındık için 5 ve 10 değerlerine yükseltilmiş, ancak kurutulmuş meyvelerde uygulanan limitlerde herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir [22].

OT'ler 1960'lı yılların ortalarında Güney Afrika'da, küflerin oluşturduğu yeni toksik metabolitlerin belirlenmesi için yapılan bir araştırmada, laboratuvar çalışması sırasında ortaya çıkmıştır. İlk olarak 1965' de *Aspergillus ochraceus*'dan izole edilmiştir ve "okratoksin" adı verilmiştir [1]. OT'ler, L-fenilalanin'e bağlı izokumarin

derivatıyla yakın ilişkili olan ve biyosentetik orijinli poliketid olarak isimlendirilen pentaketidlerden oluşmaktadır [23]. OT'ler kimyasal yapısı birbirine yakın yedi farklı tipi olan fungal metabolitlerdir [15]. Gıdalarda en sık görülen ve en toksik tipi OTA'dır [24]. Okratoksin A nefrotoksik, immunotoksik, teratojenik ve genotoksik özelliklere sahip kanserojen bir bileşiktir [8]. OTA, 1993 yılında IARC tarafından olası insan karsinojeni "Grup 2B" sınıfına alınmıştır [25, 26]. Ayrıca bileşiğin Balkan yarımadasının merkezindeki kırsal bölgelerde rastlanan, öldürücü bir böbrek hastalığı olan Balkan Endemik Nefropati'sinden [8] ve üriner bölge tümörlerinden sorumlu olduğu ifade edilmektedir [27]. OTA üreten en önemli küf türlerinin başında *Aspergillus ochraceus*, *A. carbonarius* ve *Penicillium verrucosum* gelmektedir [28].

OTA varlığı belirlenen başlıca gıdalar hububat ve ürünleri, bira, şarap, üzüm, kahve çekirdekleri, kurutulmuş meyveler, kabuklu yemişler [29], domuz eti ve et ürünleri, süt ve süt ürünleri ve yumurtadır [30]. OTA belirlenen meyve ve sebzeler ile meyve ve sebze ürünleri ise; incir, kuru üzüm, kuru kayısı, kuru erik, şarap, pekmez, sirke, frenk üzümü, domates, havuç ve elma gibi meyve suları şeklinde özetlenebilir [10]. OTA içeren gıdaların tüketilmesinin muhtemel sağlık problemlerine neden olacağına düşünülmesi üzerine, Avrupa Birliği ülkeleri kavrulmuş kahve (5 µg/kg), instant kahve (10 µg/kg), işlenmemiş tahıllar (5 µg/kg), işlenmiş tahıl ürünleri (3 µg/kg), bebek mamaları ve işlem görmüş tahıl kaynaklı bebek ve çocuk gıdaları (0,5 µg/kg), üzümden yapılan şaraplar (2 µg/kg), üzüm suları (2 µg/kg) ve kurutulmuş üzümler (10 µg/kg) gibi gıda maddelerinde OTA için maksimum miktarlar tespit etmişlerdir [21].

Gıdaların kurutulmasıyla dayandırılmaları yöntemi, insanın doğadan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemidir [31]. Kurutma olarak tanımlanan işlem nem çıkarılması nedeniyle aynı zamanda ısı ve kütle transferidir [32]. Bu işlemin en önemli amacı ürünlerin besin değerinde en az kayıpla bozulmadan uzun süre dayanmalarını sağlamaktır. Kurutulmuş meyve ve sebzelerin önemli besin değerlerinin yanı sıra üretici ülkeler açısından önemli birer ihracat kalemi olmaları bu ürünlerin ekonomik değerini bir kat daha arttırmaktadır. Ancak, kurutulmuş meyve ve sebzelerde ortaya çıkan mikotoksin problemi sadece üretici ülkeler açısından bir ekonomik problem olarak algılanmamalı, aynı zamanda insan sağlığını tehdit eden bir risk faktörü olarak da göz önünde bulundurulmalıdır.

Avrupa Birliği Gıda ve Yem için Hızlı Alarm Sistemi (RASFF) raporuna göre 2008 yılında mikotoksinler ile ilgili toplam 931 "Hızlı Uyarı Alarmı" bildirilmiş, bunların 902 adedinin AF ve 20 adedinin ise OTA için olduğu belirtilmiştir. AF ve OTA için belirtilen hızlı uyarı alarmlarının hangi gıda maddeleri için verildiği Tablo 1'de gösterilmiştir [40].

Tablo 1. Avrupa Birliği Gıda Ve Yem İçin Hızlı Alarm Sistemi (RASFF) Raporuna Göre 2008 Yılı AF' ler ve OTA İçin Gıda Maddelerine Gönderilen Alarm Sayısı

Ürün	Mikotoksin Cinsi	
	AF'ler	OTA
Tahıl ürünleri	46	3
Kakao, kahve ve çay	-	6
Diyabetik ve takviye gıdalar	-	2
Yem maddeleri	11	-
Meyve ve sebzeler	103	5
Şifalı bitki ve baharatlar	26	3
Fındık, fındık ürünleri ve tohumlar	710	-
Karışık tip diğer gıda ürünleri	3	-
Hayvan yiyecekleri	3	-
Şarap	-	1
Toplam alarm sayısı	902	20

Birçok gıdanın kimyasal ve/ veya fiziksel özellikleri mikrobiyal ve fungal bozulmaya olanak sağlamasına rağmen, meyveler yüksek su aktivitesi, şeker içeriği ve meyve etinin organik asitler varlığında düşük bir pH'a sahip olması nedeniyle fungal bozulmaya mikrobiyal bozulmaya göre daha fazla hassasiyet göstermektedir [8]. Kurutulmuş meyve ve sebzelerden küf bulaşmasına ve mikotoksin oluşumuna en fazla hassasiyet gösteren ürünlerin başında kuru incir, kuru üzüm ve kırmızıbiber gelmektedir.

## KURU İNCİR

İncir (*Ficus carica*) Akdeniz kıyılarının tipik bir meyvesidir. Türkiye' de özellikle İzmir ve Aydın en önemli üretim bölgesidir. Dünya kuru incir üretimine bakıldığında Türkiye birinci üretici olup bunu sırasıyla İran, ABD, Yunanistan, İspanya ve İtalya takip etmektedir. Dünya kuru incir ihracatında Türkiye % 55.2'lik payıyla en önemli ihracatçı ülke olarak güçlü bir konuma sahiptir. Ülkemizi, sırasıyla, ABD, İran, Almanya ve Yunanistan izlemektedir [33]. Kuru incir, oldukça besleyici ve sağlıklı bir gıda olmasının yanı sıra, dünyada üretimi en çok yapılan meyvelerden biridir. Kuru incir direkt olarak tüketilebilmekte veya incir ezmesi olarak çeşitli tatlıların ve şekerlerin üretiminde kullanılabilir. Kuru incir ağaçta tamamen olgunlaştırılan ve kısmen kurumasına izin verilen dünyadaki yegâne meyvedir [34].

Kuru incir mikotoksin problemi açısından yüksek risk grubunda yer alan meyve ürünlerinden biridir. Kuru incirde bu zamana kadar yapılan çalışmalarda en çok tespit edilen mikotoksinler AF'ler ve OTA'dır. Diğer meyveler ile kıyaslandığında, incirler daha yüksek miktarda AFB<sub>1</sub> içermektedir [35]. Kuru incirde AF'ler ve OTA'nın yanı sıra fumonisin [34] ve patulin [36] gibi mikotoksinlerin varlığını ortaya koyan çalışmalar da yapılmıştır. Avrupa Birliği ülkeleri kurutulmuş meyvelerde AFB<sub>1</sub> ve toplam AF için limit değer olarak sırasıyla 2 ve 4 ng/g değerlerini benimsemiştir [21]. Buna karşın "Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğ"e göre kurutulmuş meyvelerde AFB<sub>1</sub> için bir limit belirtilmemiş ancak toplam AF miktarı sınır değeri 10 µg/kg olarak belirtilmiştir [37].

Kuru incirlerimizde ilk AF sorunu, Danimarka' ya yapılan ihracat sonrasında ortaya çıkmıştır. 1972 yılında Danimarka'ya ihraç edilen kuru incirlerde oldukça yüksek miktarda AF saptanmıştır [38]. Yine 1972'de, ABD'ye ihraç edilen 48 parti incirden 38'i AF ile bulaşık olduğu gerekçesi ile geri gönderilmiştir [39]. Daha sonraki yıllarda, 1987'de kuru incir ve 1994 yılında kuru kırmızı pul biber ihracatında AF nedeniyle büyük sorunlar yaşanmıştır. Günümüzde de çeşitli ihraç ürünlerinde, yüksek oranda AF varlığıyla ilgili uyarılar zaman zaman gündemde yer almaktadır [38]. 2008 yılı Türkiye menşeli kuru incir ve incir ürünleri için Avrupa Birliği RASFF'nin kayıtlarına göre "Hızlı Alarm" sayısı 111, 2009 Ağustos ayına kadar ise 27'dir [40].

Kurutulan incirler incir işletmelerine gönderilirler ve öncelikle depo zararlılarını önlemek amacı ile fümigasyona tabi tutulurlar. Burada kullanılan fumigant genellikle metil bromid (MeBr)'dir. Ancak, 1987 yılında Montreal'de 24 ülkenin imzaladığı, ozon tabakasını incelten maddelerin üretim ve tüketiminin azaltılması ve kontrol altına alınmasıyla ilgili önlemleri kapsayan protokole, Türkiye 1991 yılında dahil olmuştur. Montreal Protokolü çerçevesinde MeBr kullanımı gelişmiş ülkelerde 2005, Türkiye'de 2007 yılından itibaren yasaklanmış, gelişmekte olan ülkelere ise 2015 yılından itibaren uygulamanın başlaması beklenmektedir. MeBr kullanımına getirilen kısıtlamalar ve çevreye olan etkisi nedeni ile MeBr'ün yerini alacak alternatif yöntemler giderek önem kazanmaya başlamıştır. Bu kapsamda kimyasal (fosfin, karbonil sülfid, sülfürlü florit, karbon disülfid, ozon, etil format, metil iyodit vb.) ve kimyasal olmayan (değiştirilmiş atmosfer, yüksek basınç, sıcak/soğuk uygulamaları, radyo frekansı, uzun dalga enerjisi, radyasyon, vb.) birçok yöntem denenmiş veya denenmektedir [41]. Fümigasyondan sonra boylama, bunu takiben AF'li incirlerin belirlenmesi amacı ile içerisinde UV lamba bulunan mikotoksin çadırlarda ayıklama işlemine tabi tutulurlar [42]. UV ışık altında kuru incirin parlak yeşilimsi sarı bir floresan vermesi aflatoksin varlığının güçlü bir emaresidir. Bu parlak renkli floresana incirde *A. flavus* grubu küflerin oluşturduğu AF'in dışındaki bir metabolit olan kojik asit neden olmaktadır [55] Endüstriyel uygulamada incir partilerinden aflatoksin içeren incirleri sağımlardan ayıklamak için UV ışık kullanımı etkili bir metot olarak görülmektedir. Bu yöntem ürün yüzeyinde

oluşan aflatoksini belirlemede ve bu meyveleri ayıklamada etkili olurken, meyve içi oluşumunu belirlemede etkisiz kalabilmektedir [8]. UV lamba altında renk vermeyen incirlerden fiziksel hasarlı olanlar (hurdalık incir) ayrılarak, kusur bulunmayan ürün yıkama bölümüne gönderilir. Yıkama aşamasında incir üzerinde bulunabilecek toz, toprak ve çamur artıkları üründen uzaklaştırılır, aynı zamanda mikroorganizma yükü de düşürülmüş olur. Yıkamadan çıkan ürün kurutma tüneline gönderilir. Burada ürünün nem içeriği %18-20 düzeyine indirilmeye çalışılır. Kurutma işleminden sonra ürüne müşteri isteği doğrultusunda şekil verilerek (layer, protoben, garland v.b.) paketlenir ve ya oda sıcaklığında ya da soğukta depolanır [42].

İncirlerde AF oluşumunu etkileyen faktörler ile ilgili birtakım araştırmalar yapılmıştır. İncir yüksek karbonhidrat içeriği nedeniyle aflatoksijenik funguslar için oldukça çekici bir substrattır. İncirin *A. flavus* enfeksiyonuna karşı hassasiyeti, bu patojenin meyve iç boşluğuna nüfuz edebilme yeteneği ile ilişkilidir. Aynı zamanda, meyve yüzeyinde bulunan meyve suyunun *A. flavus* çimlenmesini teşvik ettiği, meyve içine nüfuz etmeyi ve kolonileşmeyi kolaylaştırdığı belirtilmektedir [56]. Karaca ve Nas [36] AF'lerin incirde yüksek bağıl nem koşullarında veya yağmurlu havada hasat edilmesi sonucunda biriktiğini belirtmişlerdir.

Kuru incirlerde aflatoksin varlığı ile ilgili çeşitli araştırmacılar tarafından birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Kuru incirlerde AF'lerin varlığı ile ilgili yapılan çalışmalar

Örnek Tipi	Örnek Sayısı	Mikotoksin Tipi	Pozitif Örnek Sayısı ve %'si	Örnek Sayısı ve %'si (Oluşum Seviyesi < 2ppb/ 4ppb)	Örnek Sayısı ve %'si (Oluşum Seviyesi >2ppb/ 4ppb)	Kullanılan Metot	Kaynak
Kuru İncir	20	AFB <sub>1</sub>	1 (% 5)	1 (%5)	0	HPLC	[13]
		Toplam AF	6 (%30)	3 (%15)	3 (%15)		
Kuru incir	54	AFB <sub>1</sub>	6 (11.1%)	0	6 (11.1%)	TLC	[43]
		AFB <sub>2</sub>	2 (3.7%)	0	2 (3.7%)		
		AFG <sub>1</sub>	2 (3.7%)	0	2 (3.7%)		
		AFG <sub>2</sub>	2 (3.7%)	0	2 (3.7%)		
Kuru İncir (UV lambada Floresans veren)	50	AFB <sub>1</sub>	49 (%98)	17 (%34)	32 (%64)	HPLC	[44]
		AFB <sub>2</sub>	49 (%98)	42 (%84)	6 (%12)		
		AFG <sub>1</sub>	49 (%98)	39 (%78)	10 (%20)		
		AFG <sub>2</sub>	49 (%98)	47 (%94)	2 (%4)		
Kuru İncir	19	AFB <sub>1</sub> +AFB <sub>2</sub>	11 (%58)	10 (%53)	1 (%5)	HPLC	[45]
Kuru İncir	20	Toplam AF	20 (%100)	14 (%70)	6 (%30)	HPLC	[46]
İncir Ezmesi	10	Toplam AF	10 (%100)	4 (%40)	6 (%60)		
Kuru İncir	29	Toplam AF	29 (%100)	29 (%100)	0		
Kuru İncir	98	Toplam AF	7 (%7.14)	YVY**	YVY**	HPLC	[47]
Kuru İncir	20	AFB <sub>1</sub>	2 (%10)	0	2 (%100)	TLC	[51]
Kuru İncir	2643	Toplam AF	313(%11.8)	257 (%9.7)	56 (%2.1)	HPLC	[52]
Kuru İncir	4917	Toplam AF	1575 (%32)	1095 (%22.2)	480 (%9.8)	HPLC	[53]

Oluşum Seviyesi: Avrupa Birliği Ülkelerinin Direkt İnsan Tüketimi İçin Kuru İncirde Belirlediği Limit Değerler); AFB<sub>1</sub> için< 2ppb, Toplam AF için>4 ppb, YVY: Yeterli Veri Yok; Yazar kontaminasyon seviyesini 0.70- 11.8 ppb aralığı şeklinde vermiş ancak % değer belirtmemiştir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, kuru incirlerin OTA oluşumuna karşı da hassas bir ürün olduğunu da ortaya koymaktadır. Avrupa Birliği tarafından birçok gıda maddesi için OTA limit değeri belirtilmişken, kuru incir

için henüz böyle bir limit değer belirlenmemiştir. Ancak, Almanya kuru incir için OTA limit değerini 8 µg/ kg olarak belirlemiştir [44]. Kuru incirde OTA varlığı ile ilgili yapılan çalışmaların bazıları Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Kuru incirlerde OTA varlığı ile ilgili yapılan çalışmalar

Örnek Sayısı	Pozitif Örnek Sayısı ve %'si	Oluşum Aralığı (ppb)	Kullanılan Metot	Kaynak
98	18 (%18.4)	0.87- 24.37	HPLC	[47]
115	55 (%47.8)	0.12- 15.31	HPLC	[34]
54	11(%20.3)	19- 390	TLC	[43]
50	32 (%64)	0.4- 1710	HPLC	[44]
6	0	0	HPLC	[48]
20	13 (%65)	0.03- 1.42	HPLC	[13]
15	6 (%40)	0- 9600	HPLC	[49]
20	2 (%10)	0.2- 0.8	HPLC	[50]
20	2 (%10)	70- 160	TLC	[51]

Kuru incirlerde AF'ler ve OTA oluşumunun yanısıra diğer mikotoksinlerin varlığı ile ilgili de birçok çalışma yapılmıştır. Karbancıoğlu-Güler ve Heperkan [34], 115 kuru incir örneğinin 86'sında ortalama 0.315 µg/g düzeyinde Fumonisin B<sub>1</sub> belirlemişlerdir. Karaca ve Nas [36], kuru incir örneklerinde 39.3-151.6 ppb düzeylerinde patulin belirlemişler, Aziz ve Moussa [54] ise analiz

ettikleri örneklerde 60 ppb' nin üzerinde sitrinen belirlediklerini ifade etmişlerdir.

İncirde mikotoksin oluşumu ağaçta başlayabilmekte, bunu takiben hasat ve depolama süresince de devam edebilmektedir. İncirler genellikle tamamen olgunlaşana kadar dalında bırakılmakta ve daha sonra meyve

buruşmakta ve kendiliğinden düşmektedir. Yere düşen incirler toplanarak nem içeriklerinin düşürülmesi amacıyla 5 günden fazla bir süre güneşte kurutulmaktadır [8]. İncirin yetiştiği bölgelerdeki sıcaklık aralığı (27-30 °C) küf gelişimi için gerekli olan optimum sıcaklık aralığı ile çakışmakta [8], dolayısıyla da mikotoksin oluşumuna olanak sağlamaktadır. Hasat ve güneşte kurutma işlemleri de ayrıca mikotoksin oluşumuna katkıda bulunmaktadır. İncirin depolama aşamasında mikotoksin oluşumunu etkileyen faktörlerin başında nem içeriği, depo şartları ve meyvelerin nem içeriğinin heterojen olması gelmektedir [34].

## KURU ÜZÜM

Üzüm (*Vitis vinifera*), iklim ve toprak istekleri yönünden çok seçici olmayışı, çoğalma yöntemlerinin kolay oluşu ve çok çeşitli şekillerde tüketilebilmesi gibi sebeplerden dünyadaki en yaygın kültür bitkilerinden birisidir. Dünyada üretilen üzümlerin her yıl yaklaşık 700-1,200 bin ton arasındaki bir miktarı kurutulmuş olarak değerlendirilmektedir. Türkiye, ABD, Şili, İran, Güney Afrika Cumhuriyeti ve Yunanistan dünyanın en önemli çekirdeksiz kuru üzüm üreticisi ülkelerdir [57].

Üzüm fungal gelişmeye hassas olan meyvelerden biridir ve bu zamana kadar yapılan çalışmalar üzüm ve üzüm ürünlerinde en sık rastlanan mikotoksinin OTA olduğunu ortaya koymuştur. Kurutulmuş üzüm çeşitleri sağlıklı gıdalar olarak bilinmekte ve aynı zamanda müsli, bisküvi, kek ve diğer gıda maddelerinde bileşen olarak yer almaktadırlar. Avrupa ülkelerinde diyetle bağlı OTA alımının %50'sinin tahıllardan alındığı tahmin edilmekle birlikte, insanların, özellikle çocukların, bu ürünleri büyük miktarlarda tüketmesinden dolayı kurutulmuş

üzüm çeşitlerinin de ayrıca önemli bir OTA alım kaynağı olduğu düşünülmektedir [56].

1996 yılına kadar *A. niger var. niger*' in OTA üretilmediği rapor edilmesine rağmen, üzümlerde yalnızca *A. ochraceus*' un OTA oluşturduğu düşünülüyordu. Zimmer ve Dick [10] tarafından belirlenen OTA kaynağının siyah sporlu iki *Aspergillus* türü olan *A. carbonarius* ve *A. niger* olduğu belirtilmiştir. Üzümlerin fungal kökenli bozulmalarında daha çok *Botrytis cinerea* rol oynamasına karşın, *Aspergillus carbonarius* üzümlerde ve şaraplarda OTA oluşumuna neden olan en önemli küf türüdür [58]. Avrupa'da yapılan geniş çaplı araştırmaların sonucunda *A. carbonarius*' un büyük ölçüde üzüm, şarap ve şarap meyvelerinde OTA oluşumundan sorumlu küf türü olduğu belirlenmiştir [59].

Ülkemizde çekirdeksiz üzümler hasattan sonra büyük bandırma kazanlarında 100 L suya, 5 kg potasyum karbonat ve 1-1.5 L zeytinyağı dozu ile hazırlanan bandırma eriyiğine (potasa), plastik sepetler içinde 5-10 kez bandırılmakta, daha sonra bandırılan üzümler sergi yerlerindeki polipropilen kanaviçeler üzerinde 5-7 günde güneşte kurutulmaktadır [60]. Kuru üzüm çeşitleri şaraplık üzümlere göre OTA oluşumu açısından daha büyük risk altındadır. Çünkü kurutma işlemi süresince *A. carbonarius*' un *A. niger*' e oranı artmaktadır. Hasattan önce *A. niger* dominant türdür ve bu tür nadiren OTA üretmektedir. Bununla birlikte kurutma işlemi *A. carbonarius* gelişimini desteklemekte ve bu türün hemen hemen tüm suşları genelde 0.92 a<sub>w</sub> değerinde OTA oluşturabilmektedir [61]. Kurutma prosesi süresince havanın nem miktarında kısa süreli artış bile üründe OTA üretimini arttırabilmektedir [62]. Kuru üzümde OTA varlığı ile ilgili yapılan bazı çalışmalar Tablo 4' de belirtilmiştir.

Tablo 4. Kuru üzümde OTA varlığı ile ilgili çalışmalar (belirtilmediği sürece analizde kullanılan yöntem HPLC'dir).

Açıklama	Örnek Sayısı	Pozitif Örnek Sayısı ve %' si	Örnek Sayısı ve %' si (Oluşum Seviyesi >10 µg/kg)	Ortalama Oluşum Seviyesi (µg/kg)	Maksimum Oluşum Seviyesi (µg/kg)	Kaynak
-	36	36 (%100)	4 (%11.2)	4.6	63.6	[62]**
Çekirdeksiz, İşlenmemiş (Sultani)	264	179 (%67.8)	26 (%9.8)	3.4	54	[63]
Kuru Üzüm ve Kuş Üzümlü	118	96 (%84)	5 (%4)	2.32	34.6	[64]
Kuru Üzüm ve Kuş Üzümlü	60	53 (%88)	10 (%16)	5.6	53.6	[65]
Çekirdeksiz ve Kuş Üzümlü	81	60 (%74)	-	2.6	13.8	[66]
İşlenmiş (Sultani)	1885	1710 (% 91)	11 (%0.6)	1.36	100	[67]
-	7	2	0	1.1	1.2	[48]
Sultani	53	28 (%53)	2 (%3.8)	5.15	58.04	[47]
Kuru Üzüm ve Kuş Üzümlü	301	286 (%95)	28 (%9)	3.8	40.8	[50]
-	85	67 (%79)	3 (%4)	2.29	26.6	[68]
Sultani	66	39 (%59)	3 (%5)	3.11	26	[68]

\*Oluşum Seviyesi; Avrupa Birliği Ülkelerinin Direkt İnsan Tüketimi İçin Kuru Üzümde Belirlendiği Limit Değer 10 µg/kg olarak belirlenmiştir.

\*\* HPTLC

Üzüm ve üzümde elde edilen ürünlerde OTA varlığını hasat öncesi ve hasat sonrası koşullar etkilemektedir. Bağın yeri, hava şartları, üzüm çeşidi ve bağ işletmeciliği gibi hasat öncesi koşulların üzüm ve üzümde elde edilen ürünlerde OTA miktarını etkilemektedir [8]. OTA tanenin olgunlaşma aşamasının başlangıcında bile üretilebilmektedir. Üzümlerdeki OTA miktarının üzüm olgunlaştıkça arttığı belirlenmiştir. Ürün ne kadar uzun süre bağda kalırsa, o kadar fazla

okratoksijenik aspergilli görülmekte ve hasat zamanında üzümlerin tamamı enfekte olabilmektedir [10]. Fungusit ve pestisit uygulamaları, zarar görmüş ve küflenmiş üzümlerin kurutmadan önce ayıklanması son üründe OTA miktarının azaltılması açısından etkili olabilecek uygulamalardandır.

## KIRMIZIBİBER

Kırmızıbiber, *Solanaceae* familyasına ait olan *Capsicum annuum* L. türüne dahil bir sebzedir. Kırmızı toz-pulbiber ise bu sebzenin kurutulmuş öğütülmesi sonucu elde edilen, yemeklere lezzet ve acılık vermek amacıyla kullanılan bir baharattır [69]. Dünya biber üretiminde en büyük ülke Çin'dir, bu ülkeyi sırasıyla Meksika ve Türkiye izlemektedir. Türkiye tek başına dünya biber üretiminde %8, dünya işlenmiş biber ticaretinde ise %3'lük bir paya sahip olması nedeniyle biber, ülke ekonomisi açısından önem taşıyan bir ürün konumundadır [70]. Yapılan çalışmalar kırmızıbiberde en sık rastlanan mikotoksinin AF'ler olduğunu ortaya koymuştur.

Kırmızıbiber üretimi oldukça ilkel şartlarda yapılmaktadır. Tarladan toplanan kırmızıbiberler küçük parçalara ayrıldıktan sonra toprak üzerinde güneşte kurutulmakta ve daha sonra değirmenlerde toz haline getirilmekte ve daha sonra da naylon ve bez çuvalarda toptancılara satılmaktadır. Bu nedenle de, kırmızıbiberlere toprak kökenli toksikojenik küf bulaşmasına ve toksin oluşumuna çok sık rastlanmaktadır [71]. Ülkemizde kırmızıbiberde AF oluşumu son 10-12 yıldır ihraç edilen biberlerin Avrupa ülkelerinden geri gönderilmesi ile dikkati çekmiştir [70].

Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği'ne göre baharatlarda bulunmasına izin verilen AFB<sub>1</sub> miktarı 5 ppb, toplam AF miktarı ise 10 ppb olarak belirlenmiştir [37]. Avrupa Birliği ülkeleri de kırmızıbiber için aynı limit değerleri kabul etmiştir [21]. Kırmızıbiberde AF varlığı ile ilgili yapılan çalışmalar Tablo 5' de özetlenmiştir.

Tablo 5. Kırmızıbiberde AF varlığı ile ilgili yapılan çalışmalar

Örnek Sayısı	Mikotoksin Tipi	Pozitif Örnek Sayısı ve %' si	Oluşum seviyesi (ppb)	AB Limit Değerlerini Aşan Örnek Sayısı ve %' si	Kullanılan Metot	Kaynak
23	AFB <sub>1</sub>	16 (%69.5)	0.38- 3.68	0	HPLC	[52]
	Toplam AF	19 (%83)	0.38- 15.84	3(%13)		
75	AFB <sub>1</sub>	72 (%96)	0.11- 24.7	11(%14.7)	ELISA	[72]
13	Toplam AF	100 (%100)	0.1- 96.2	8 (%61.5)	HPLC	[73]
12	AFB <sub>1</sub>	8 (%66.6)	1.0- 18.2	3 (%25)	HPLC	[74]
30	Toplam AF	27 (%90)	0.5- 124.6	19 (%63)	HPLC	[75]
40	AFB <sub>1</sub>	40	1.10- 44.0	23 (%57.5)	TLC	[76]
70	AFB <sub>1</sub>	43 (%61.4)	0.5- 7.3	13 (%18.6)	HPLC	[19]

AB Limit Değerleri ; AFB<sub>1</sub> > 5 ppb, toplam AF > 10 ppb

Gerek Türkiye, gerekse kırmızıbiber ihraç eden ülkelerde kırmızıbiberin geleneksel olarak toprak üzerinde kurutulması yüksek bulaşma nedeni olarak görülmektedir [77]. Bu nedenle mikotoksin problemi açısından kırmızıbiberin kurutulması işleminin daha sağlıklı koşullarda yapılmasının sağlanması ve iyi tarım uygulamalarının hayata geçirilmesi ile bulaşma riskinin mümkün olduğu kadar azaltılması gerekmektedir.

## SONUÇ

Mikotoksinler tarımsal ürünlerde yalnızca ekonomik sorunlara neden olmamakta, aynı zamanda önemli sağlık riski de oluşturmaktadır. Mikotoksin oluşumu kurutulmuş meyve ve sebze ürünlerinin yetiştirme, hasat, taşıma, kurutma ve depolama aşamalarının herhangi birinde ortaya çıkan bir problemdir. Ancak özellikle kurutma aşaması son ürünlerdeki mikotoksin miktarını etkileyen en önemli işlem basamağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Kurutulmuş meyve ve sebzelerden incir AF'ler ve OTA, üzüm OTA ve kırmızıbiber ise yine AF'ler açısından riskli mamullerdir. Bu ürünlerde küf bulaşmasının daha bahçede/tarlada önlenmesi mikotoksin probleminin önüne geçilmesinde hayati bir öneme sahip olsa da bu her zaman gerçekleştirilememektedir. Mikotoksin içerdiği belirlenen ürünlerin fiziksel yöntemler ile detoksifikasyonu, kimyasal ve mikrobiyolojik yöntemlerin üründe oluşturabileceği bazı problemler nedeni ile kurutulmuş ürünler için daha fazla kullanılan bir yöntemdir. Kurutulmuş ürünlerde fiziksel detoksifikasyonun

yanında, son yıllarda üzerinde en çok durulan metotlardan birisi de ozon uygulamasıdır. Ozon uygulamasının tarımsal ürünlerde fungal çürümeye engel olduğu, bakteriyel çoğalmayı engellediği, pestisit ve kimyasal ilaç kalıntılarını giderdiği ve AF içeriğini önemli ölçüde azalttığı yönünde çalışmalar mevcuttur. Kurutulmuş ürünlerde mikotoksin üreten küflerin kontaminasyonunu engellemek için iyi tarım uygulamaları (GAP) ve HACCP uygulamalarının entegre şekilde kullanımı mikotoksin oluşumunu önemli ölçüde engelleyecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] Artık, N. 2007. Gıda Mikotoksinleri ve İnsan Sağlığı Açısından Önemi, T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayın Dairesi Başkanlığı, Gıda Serisi No: 6, Ankara, s9- 57.
- [2] Sherif, S.O., Salama, E.E., Abdel- Wahhab M.A., 2009. Mycotoxins and child health: The need for health risk assessment. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 21(4): 347- 68.
- [3] Seo, J.A., Yu, J.H., 2005. Toxigenic Fungi and Mycotoxins. In *Handbook of Industrial Mycology*, Edited by Z. An., Marcell Dekker Inc, 270 Madison Avenue, New York, NY 10016, 749p.
- [4] Narayanasamy, P., 2006. *Postharvest Pathogens and Disease Management*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 582p.



- [5] Breyden, W.L., 2007. Mycotoxins in the food chain: human health implications. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 16: 95- 101.
- [6] Park, D.L., Ayala, C.E., Guzman-Perez, S.E., Lopez-Garcia, E., Trujillo, S., 2001. Microbial Toxins in Foods: Algal, Fungal and Bacterial. In Food Toxicology, Edited by W. Helferich, C. K. Winter, CRC Press, N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431. USA, 219p.
- [7] Logrieco, A., Bottalico, A., Mulé, G., Moretti, A., Giancarlo, P., 2003. Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some mediterranean crops. *European Journal of Plant Pathology* 109: 645-667.
- [8] Jackson, L. S., Al-TaHER, F. 2008. Factors Affecting Mycotoxin Productions in Fruits, In Mycotoxins in Fruits and Vegetables, Edited by Barkai- Golan, R., Paster, N., 525 B Street, Suite 1900, San Diego, CA 92101-4495, USA, 395p.
- [9] CAST, 2003. Mycotoxins: Risks in Plant, Animal, and Human Systems. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, Iowa, USA (Printed in the US), Task Force Report, ISSN 0194-4088; no: 39 (January, 2003).
- [10] Barkai-Golan, R., Paster, N., 2008. Mouldy fruits and vegetables as a source of mycotoxins: Part 1. *World Mycotoxin Journal* 1(2): 147-159.
- [11] Maraqa, A., Al-Shora, N., Farah. H., Elbjeirami, W.E., Shakya, A.K., Sallal, A.K., 2007. Effect of *Nigella sativa* extract and oil on aflatoxin production by *Aspergillus flavus*. *Turkish Journal of Biology* 31: 55-159.
- [12] Sherif, S.O., Salama, E. E., Abdel-Wahhab M. A. 2009. Mycotoxins and child health: the need for health risk assessment. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 212(4): 347-68.
- [13] Juan, C., Zinedine, A., Moltó, J.C., Idrissi, L., Mañes, J., 2008. Aflatoxins levels in dried fruits and nuts from Rabat- Salé area, Morocco. *Food Control* 19: 849-853.
- [14] Ariño, A., Herrera, M., Estopañan, G., Rota, M.C., Carramiñana, J.J., Juan, T., Herrera, A., 2009. Aflatoxins in bulk and pre- packed pistachios sold in Spain and effect of roasting. *Food Control* 20: 811-814.
- [15] Desphande, S.S., 2002. Handbook of Food Toxicology, Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York, NY, USA, s387-457.
- [16] Sabuncuoğlu, S.A., Baydar, T., Giray, B., Şahin, G., 2008. Mikotoksinler: toksik etkileri, degradasyonları, oluşumlarının önlenmesi ve zararlı etkilerinin azaltılması. *Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi* 28(1): 63-92.
- [17] Romagnoli, B., Menna, V., Gruppioni, N., Bergamini, C., 2009. Aflatoxins in spices, aromatic herbs, herb- teas and medicinal plants marketed in Italy. *Food Control* 18: 697-701.
- [18] Kanbur, M., Liman B.C., Eraslan, G., Altınordulu, Ş., 2006. Kayseri' de tüketime sunulan kırmızı biberlerde enzim İmmunoassay (EIA) ile kantitatif analizi. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 3(1): 21-24.
- [19] Shundo, L., Almeida, P.D., Alaburda, J., Lamardo, L.C.A., Navas, S.A., Ruvieri, V., Sabino, M., 2009. Aflatoxins and ochratoxin A in Brazilian paprika. *Food Control* 20: 1099-1102.
- [20] Özkaya, Ş., Temiz, A., 2003. Aflatoksinler: kimyasal yapıları ve toksisisteleri ve detoksifikasyonları. *Or-Lab Online Mikrobiyoloji Dergisi* 1(1): 1-21.
- [21] Anonymous 2007, EC Comission of Regulation No: 1881/2006 (Ammended by 1126/ 2007).
- [22] Anonymous 2010, EC Comission of Regulation No: 165/ 2010 (Ammended by 1881/ 2006).
- [23] Şevitürk, M.İ., Gönülalan, Z., 2007. Kayseri' de tüketime sunulan bazı tahıl ürünlerinde okratoksin A miktarları. *Sağlık Bilimleri Dergisi* 16(2): 86-90.
- [24] Tosun, H., Demirel, N.N., Çoban, H., 2006. Üzüm ve üzüm ürünlerinde Okratoksin A sorunu. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* 2(2): 141-145.
- [25] Onan, E., Çoban, H., 2006. Üzüm ve şarapta olası bir tehlike: Okratoksin A. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 20(39): 53-57.
- [26] Var, I., Kabak, B., 2007. Occurence of Ochratoxin A in Turkish wines. *Microchemical Journal* 86: 241-247.
- [27] Battilani, P., Giorni, P., Pietri, A., 2003. Epidemiology of toxin-producing fungi and Ochratoxin A occurrence in grape. *European Journal of Plant Pathology* 109: 715-722.
- [28] Var, I., Kabak, B., Erginkaya, Z., 2008. Reduction in Ochratoxin A levels in white wine: following treatment with activated carbon and sodium bentonite. *Food Control* 19: 592-598.
- [29] Palumbo, J.D., O'Keefe D.L., Mahoney, N.E., 2007. Inhibition of Ochratoxin A production and growth of *Aspergillus* species by phenolic antioxidant compounds. *Mycopathologia* 164: 241-248.
- [30] Flajs, D., Domijan, A. M., Ivić, D., Cvjetković, B., Peraica, M., 2009. ELISA and HPLC analysis of Ochratoxin A in red wines of Croatia. *Food Control* 20: 590-592.
- [31] Cemerioğlu B, Özkan M., 2004. Kurutma teknolojisi. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Cilt II, B. Cemerioğlu (ed.), s. 479-618, Başkent Klİşe Matbaacılık, Ankara.
- [32] Okos, M.R., Campanella, O., Narsimhan, G., Singh, R.K., Weitnauer, A.C., 2006. Food Dehidration. In Handbook of Food Engineering Second Edition, Edited by D. R. Heldman, D. B. Lund, CRC Pres, USA, 1023p.
- [33] Akova, Y., 2009. Kuru İncir. T. C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi Sektör Raporu, [http://www.igeme.org.tr/Arastirmalar/ulke\\_sek/sekto r.cfm?sec=ara](http://www.igeme.org.tr/Arastirmalar/ulke_sek/sekto r.cfm?sec=ara)
- [34] Karbancıoğlu-Güler, F., Heperkan, D., 2008. Natural occurrence of Ochratoxin A in dried figs. *Analytica Chimica Acta* 617: 32-36.
- [35] Heperkan, D. 2006. The importance of mycotoxins and a brief history of mycotoxin studies in Turkey. *ARI Bulletin of Istanbul Technical University* 54: 18-27.
- [36] Karaca, H., Nas, S., 2006. Aflatoxins, patulin and ergosterol contents of dried figs in Turkey. *Food Additives and Contaminants* 23(5): 502-508.

- [37] Anonim, 2008. Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğ, Ankara.
- [38] Kabak, B., Var, I., 2006. Ülkemiz açısından sorun olan mikotoksinler ve riskli gıda maddeleri. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24- 26 Mayıs 2006, Bolu, Türkiye, Bildiriler Kitabı Sayfa: 681- 684.
- [39] Kaya, S., 1989. Yem ve besinlerdeki mikotoksinler: insan sağlığı açısından önemleri. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 36(1): 226-253.
- [40] Anonymous, 2009. RASSF Portal Database, [https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/portal/\(10/08/09\)](https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/portal/(10/08/09)).
- [41] Meyvacı, K.B., Şen F., 2007. Magnezyum fosfit uygulamalarının kuru incir meyve kalitesine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 44(1): 29-40.
- [42] Karaca, H., 2006. Kuru İncirlerin Aflatoxin, Patulin, Ergosterol İçeriği ve Farklı Koşullarda Aflatoxinlerin Parçalanma Düzeyleri. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Müh. Anabilim Dalı, Denizli, 103s.
- [43] Şanlı, Y., Yavuz, H., Akar, F., 1990. Kuru incir örneklerinde mikotoksin kirlilikleri. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 37(2): 293-308.
- [44] Şenyuva, H.D., Gilbert, J., Samson, R.A., Özcan, S., Öztürkçüoğlu, Ş., Önal, D., 2008. Occurance of fungi and their mycotoxins in individual Turkish dried figs. *World Mycotoxin Journal* 1(1): 79-86.
- [45] Iamanaka, B.T., Menezers, H.C., Vicente, E., Leite, R.S.F., Taniwaki, M.H., 2007. Aflatoxicogenic fungi and aflatoxins occurrence in sultanas and dried figs commercialized in Brazil. *Food Control* 18: 454-457.
- [46] Anonymous, 1996. Aflatoxin surveillance of retail and imported nuts, nut products, dried figs and fig products. Joint Food Safety and Standard Group, Food Surveillance Information Sheet, No: 81. <http://archive.food.gov.uk/maff/archive/food/infsheet/1996/no81/81nutfig.htm> (16/08/09).
- [47] Bircan, C., 2009. Incidence of Ochratoxin A in dried furits and co-occurrence with aflatoxins in dried figs. *Food and Chemical Toxicology* 47(8): 1996-2001.
- [48] Abdulkadar, A.H.W., Abdulla, A.A.A., Afrah, M.A., Jassim, H.A., 2004. Mycotoxins in food products available in Qatar. *Food Control* 15: 543-548.
- [49] Doster, M.A., Michailides, T.J., and Morgan, D.P., 1996. *Aspergillus* species and mycotoxins in figs from California orchards. *Plant Dis.* 80(5): 484-489.
- [50] Anonymous, 1999. Survey of retail products for ochratoxin A. Joint Food Safety and Standard Group, Food Surveillance Information Sheet, No: 185. <http://archive.food.gov.uk/maff/archive/food/infsheet/1999/no185/185ochra.htm#Table1> (20/08/09)
- [51] Alghalibi, S.M.S., Shater A.R.M., 2004. Microflora and mycotoxin contamination of some dried fruits in Yemen Republic. *Ass. Univ. Bull. Environ. Res.* 7(2): 19-27.
- [52] Bircan, C., Barringer, S.A., Ulken, U., Pehlivan, R., 2008. Aflatoxin levels in dried figs, nuts and paprika for export from Turkey. *International Journal of Food Science and Technology* 43: 1492-1498.
- [53] Bircan, C., Barringer, S.A., Ulken, U., Pehlivan, R., 2008. Increased aflatoxin contamination of dried figs in a drought year. *Food Additives & Contaminants: Part A* 25(11): 1400-1408.
- [54] Aziz, N.H. and Moussa, L.A.A., 2002. Influence of gamma-radiation on mycotoxin producing moulds and mycotoxins in fruits. *Food Control* 13: 281-288.
- [55] Anonim, 2000. Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yayını, Ankara. Genişletilmiş 2. baskı, 522 s.
- [56] Barkai-Golan, R., 2008. *Aspergillus* Mycotoxins, In Mycotoxins in Fruits and Vegetables. Edited by Barkai-Golan, R., Paster. Academic Pres, UK, s115- 152.
- [57] Akova, Y., 2009. Kuru Üzüm. T. C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi Sektör Raporu, [http://www.igeme.org.tr/Arastirmalar/ulke\\_sek/sekto r.cfm?sec=ara](http://www.igeme.org.tr/Arastirmalar/ulke_sek/sekto r.cfm?sec=ara) (16/08/09)
- [58] Kabak, B., Var, I., 200. Üzüm, üzüm suyu ve şarapta okratoksin A sorunu. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs 2006, Bolu, Türkiye, Bildiriler Kitabı Sayfa: 421-424.
- [59] Battilani, P., Magan, N., Logrieco, A., 2006. European research on ochratoxin A in grapes and wine. *International Journal of Food Microbiology* 111: 2-4.
- [60] Altındışli, A., İşçi, B., 2005. Kuru üzüm elde edilmesinde kullanılan bandırma eriyiğindeki yağ miktarının tespiti için yeni bir analiz yönteminin kullanılabilirliği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 42(3): 13-19.
- [61] Hocking, A.D., Leong, S.L., Kazi, B.A., Emmet, R.W., Scott, E., 2007. Fungi and mycotoxins in vineyards and grape products. *International Journal of Food Microbiology* 119: 84-88.
- [62] Ostry, V., Ruprich, J., Skarkova, J., 2002. Raisins, ochratoxin A and human health. *Mycotoxin Research* 18(2): 178-182.
- [63] Meyvacı, K.B., Altındışli, A., Aksoy, U., Eltem, R., Turgut, H., Araslier, Z., Kartal, N., 2005. Ochratoxin A in sultanas from Turkey I: survey of unprocessed sultanas from vineyards and packing-houses. *Food Additives and Contaminants* 22(11): 1138-1143.
- [64] Möller, T.E., Nyberg, M., 2003. Ochratoxin A in raisins and currants: basic extraction procedure used in two small marketing surveys of the occurrence and control of the heterogeneity of the toxins in samples. *Food Additives & Contaminants: Part A* 20(11): 1072-1076.
- [65] MacDonald, S., Wilson, P., Barnes, K., Damant, A., Massey, R., Mortby, E., and Shepherd, M.J., 1999. Ochratoxin A in dried vine fruits. *Food Additives and Contaminants* 16(6): 253-263.
- [66] Stefanaki, I., Foufa, E., Tsatsou-Dritsa, A., Photis, D., 2003. Ochratoxin A concentrations in Greek domestic wines and dried vine fruits. *Food Additives & Contaminants: Part A* (20):174-83.
- [67] Aksoy, U., Eltem, R., Meyvacı, K. B., Altındışli, A., Karabat, S., 2007. Five-year survey of Ochratoxin A in processed sultanas from Turkey. *Food Additives and Contaminants* 24(3): 292-296.

- [68] Lombaert, G.A., Pellaers, P., Neumann, G., Kitchen, D., Huzel, V., Trelka, R., Kotello, S., Scott, P.M., 2004. Ochratoxin A in dried vine fruits on the Canadian retail market. *Food Additives and Contaminants* 21(6): 578-585.
- [69] Duman, A.D., Zorlugenç, B., Evliya, B., 2003. Kahramanmaraş' ta kırmızı biberin önemi ve sorunları. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi* 5(1): 111-117.
- [70] Kanbur, M., Liman B.C., Eraslan, G., Altınordulu, Ş., 2006. Kayseri' de tüketime sunulan kırmızı biberlerde enzim immunoassay (EIA) ile kantitatif analizi. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 3(1): 21-24.
- [71] Dokuzlu, C., 2001. Kırmızı toz biberlerde aflatoksin. *J. Fac. Vet. Med.* 20: 19-23.
- [72] Ardic, M., Karakaya, Y., Atasever, M., Durmaz, H., 2008. Determination of Aflatoxin B1 levels in deep-red ground pepper (isot) using immunoaffinity column combined with ELISA. *Food and Chemical Toxicology* 46: 1596-1599.
- [73] Paeterson, M.R.R., 2007. Aflatoxin contamination in chilli samples from Pakistan. *Food Control* 18: 817-820.
- [74] Martins, M.L., Martins, H.M., Bernardo, F., 2001. Aflatoxins in marketed in Portugal. *Food Additives and Contaminants* 18(4): 315-319.
- [75] Bircan, C., 2005. The determination of Aflatoxins in spices by immunoaffinity column extraction using HPLC. *International Journal of Food Science and Technology* 40: 929-934.
- [76] Ağaoğlu, S., 1999. Van ilinde açıkta satılan kırmızı pul biberlerde aflatoksin B<sub>1</sub> varlığının araştırılması. *Van Tıp Dergisi* 6(4): 28-30.
- [77] Anonim, 2000. Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yayını, Ankara. Genişletilmiş 2. Baskı, 522s.
-

## Vurgulu Elektrik Alan (PEF) Teknolojisi

Seda Ersus Bilek

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir  
E-posta: seda.ersus@ege.edu.tr

### ÖZET

Geleneksel ısı işlem yerine geçebilecek ısı olmayan yeni teknolojilerin gıda sanayinde kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Bu tekniklerin, gıdaların güvenli hale getirilmesinde kalite kayıplarının azaltılması ve daha verimli üretim olanağı sağlaması gibi avantajları vardır. Isıl olmayan işlemler kapsamında ele alınan PEF uygulamaları son yıllarda üzerinde çok fazla çalışılan bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. 1990 yılından itibaren yoğun olarak üzerinde çalışılan PEF'nin gıdalar üzerindeki etkileri ile ilgili çalışmaların sayısı Food Science and Technology Abstracts'a (FSTA) göre 2000 yılında yaklaşık 150 iken 2009 yılında 5949'a çıkmıştır. Bu derleme kapsamında PEF hakkında temel bilgiler, gıda sanayindeki uygulamaları ve dünyadaki endüstriyel durumu hakkında bilgi verilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Vurgulu elektrik alan, Isısal olmayan işlemler, Elektroporasyon

### Pulsed Electric Field (PEF) Technology

#### ABSTRACT

Importance in non-thermal food processing is increasing in food industry. This new technology has advantages like reduction in quality losses during food processing and increased efficiency of food processes in comparison to conventional thermal food processing technologies. Studies on the effect of PEF on foods have significantly increased after 1990s, and according to Food Science and Technology Abstracts (FSTA), the number of research studies on PEF application in foods increased from 150 in 2000 to 5949 in 2009. In this present study, principles of PEF, its application in food processing and some PEF systems on an industrial scale were reviewed.

**Key Words:** Pulsed electric field, Non-thermal processes, Electroporation

#### GİRİŞ

Vurgulu elektrik alan teknolojisi son yıllarda üzerinde önemle durulan bir yöntem olmakla birlikte sıvı ve katı gıdalarda değişen amaçlarla kullanımının optimize edilmesi üzerinde çalışmalar çoğunluktadır. Geleneksel ısı işlem yerine sıvı gıdaların pastörizasyonunda kullanılabilecek en umut verici teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır [1]. Bu nedenle meyve sularında PEF uygulamaları mezofilik bakteri, maya ve küf gibi mikroflorayı oluşturan mikroorganizmaların inaktivasyonu konusunda yoğunlaşmıştır. Günümüze kadar sıvı gıdaların pastörizasyonu üzerinde çok sayıda çalışma yapılmış olup endüstriyel olarak da meyve suyu gibi ticari ürünler piyasada satışa sunulmuştur. İlk ticari tesis Genesis tarafından meyve sularının pastörizasyonu amacıyla

ABD'de 2005 yılında kurulmuştur. Ekipman kapasitesi 200 L/h'tir. Vurgulu elektrik alan uygulaması ile pastörize edilen meyve sularının raf ömrünün 4 hafta olduğunun belirlenmesi ile tekniğin güvenli olduğu belirlenmiştir [21]. Vurgulu elektrik alan uygulamaları ABD'de Gıda ve İlaç İdaresi tarafından (FDA) tarafından 1996 yılında sıvı yumurta pastörizasyonu işlemi için onaylanmış olup Avrupa'da ise halen onay beklemektedir. Avrupa Birliği'nde (Novel Foods Regulation (EC) No 258/97 kapsamında) PEF uygulanmış ürünlerin daha detaylı olarak araştırılması gereklidir.

Vurgulu elektrik alan uygulamasının, katı gıdalarda ekstraksiyon, kurutma gibi gıda prosesleri öncesinde bir ön işlem basamağı olarak kullanımının proseslerin verimini, hızını ve ürün kalitesini arttırdığı belirlenmiş bu

konu üzerine araştırmalar en fazla Almanya ve Fransa'da gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel anlamda bu teknolojinin katı ürünlere uygulanmasında karşılaşılan zorlukların yanı sıra yüksek kapasitede ekipman geliştirilmesi ve bu teknolojinin var olan endüstriyel sistemlere adapte edilmesi konusunda zorluklar bulunduğu karşımıza çıkmaktadır.

Elektriksel olarak uyarılan hücre zarlarının elektriksel yıkıma uğradığı 1958 yılından itibaren bilinmekle birlikte [2] bu tarihten yaklaşık 10 yıl sonra yüksek voltajda PEF'e maruz kalan mikroorganizmaların inaktive olduğu belirlenmiştir [3]. Bunun yanı sıra, 1972 yılında elektrik uygulaması sonucunda hücrelerde kısa süreli porların açıldığı keşfedilmiş [4] ve bu kapsamda ilk kez molekülün kırmızı kan hücreleri içerisine transferi ile ilgili çalışmalar başlatılmıştır [5]. Vurgulu elektrik alan uygulamalarının biyolojik materyallerde hücre zarı geçirgenliğini arttırdığı bilinmektedir [6, 7, 8, 9]. Düşük elektriksel alan şiddetlerinde çalışıldığı durumlarda hücre yaralanmalarının iyileştiği, hücre büyümesi olduğu, hücre içine dışarıdan molekül transferinin kolaylaştığı belirtilirken yüksek şiddette elektrik alan uygulamalarında ise hücre zarı bütünlüğünün bozulduğu tespit edilmiştir [6, 10, 11]. Canlı bir hücre dışarıdan vurgulu elektriksel bir alana maruz bırakılırsa, hücre zarında geçirgenlik artar veya hücre zarı mekaniksel olarak parçalanır. Bu olaya "elektroporasyon" denir. Belli bir kritik seviyeye kadar PEF uygulaması sonucunda hücre zarında porların açılıp kapanması geri dönüşümlü elektroporasyon, kritik seviye üzerindeki uygulamalarda ise hücre zarının parçalanması geri dönüşümsüz elektroporasyon olarak adlandırılır [9, 11]. Bu durum temelde uygulanan elektrik alan şiddeti, vurgu süresi ve uygulama sıcaklığı ile ilişkilidir.

Her hücre zarı kendine özgü transmembran potansiyeline sahiptir. Yüklü moleküllerin oluşturduğu bu potansiyelin belli bir seviyeye kadar arttırılması sırasında, hücre zarını oluşturan fosfolipit tabakası bütünlüğünü koruyabilmektedir. Fosfolipidlerin hidrofilik grupları hücre zarının yüzey tarafını oluştururken, hidrofobik gruplar ise hücre zarının içindeki bölgede bulunmakta ve akışkan yapıdaki hücre zarını oluşturmakta ve bu hücre zarı içerisinde ise proteinler yer almaktadır. Proteinler zarın hem iç, hem dış yüzeyinde mozaik şekilde dağılırlar. Değişen elektriksel alan şiddeti uygulamalarında, hücre zarındaki elektriksel potansiyel 0.7-2.2 V gibi kritik bir değere ulaşmakta ve iletim kanalları olarak işlev gören porların oluşumu nanosaniyeler gibi kısa bir sürede başlamakta, yüksek iletim gücüne sahip porların oluşması ise birkaç mikro saniyede gerçekleşmektedir [10]. Vurgulu elektrik alan tekniğinin hücre zarının bütünlüğünü bozucu etkisinden yararlanılarak bu teknik gıda proseslerinde kütle transferini arttırmak, kurutma ve ekstraksiyon işlemlerinde verimi ve işlem hızını arttırmak amacıyla kullanılmakta [8, 12, 13, 14, 15] ayrıca özellikle sıvı gıdaların bu teknikle mikrobiyal inaktivasyonu üzerine çalışmalar yapılmaktadır [16, 17, 18, 19, 20].

Isıl işlem gerektirmeyen ve düşük enerji ile bitki ve hayvan hücrelerinin parçalanması için yüksek bir potansiyele sahip bu tekniğin araştırmadan uygulamaya geçmesinde sınırlandırmalar bulunmaktadır. En büyük eksik ise endüstriyel boyutta uygulama sistemlerinin bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle gıda üreticilerinden yenilikçi motivasyona gereksinim duyulmaktadır [21].

Bu derleme kapsamında PEF hakkında temel bilgiler, gıda sanayindeki uygulamaları ve dünyadaki endüstriyel durumu hakkında bilgi verilmektedir.

## VURGULU ELEKTRİK ALANIN TEMELLERİ

Elektroporasyon günümüzde biyoteknolojik ve tıbbi uygulamalarda dışarıdan canlı hücre içerisine ilaç ya da gen transferinde kullanılan bir yöntemdir [22, 23]. Bu oluşum, kısa ve yoğun elektrik vurgusu uygulaması sonucu hücre zarında geçirgenliğin artması olarak tanımlanabilir. Elektroporasyon ile hücre içine DNA transferinin yanı sıra araştırma amaçlı enzim ve antikörlerin transferi veya ilaçların hücre içine alımı amaçlı molekül transferleri uygulamaları bulunmaktadır [6]. Elektroporasyonla ilgili hücre transmembran voltajı  $[U(t)]$  ve transmembran akımı  $[I(t)]$  ölçüldüğu çalışmaların [24, 25] yanı sıra farklı büyüklüklerde, şekillerde ve farklı yüklerde moleküllerin hücre içine transferinin açıklandığı çalışmalar da bulunmaktadır [26, 27]. Ancak hala elektroporasyon konusunda hücre zarında gerçekleşen uyarılmaların hidrofobik porların oluşumuna neden olması, bunu takiben hidrofilik veya daha kompleks porlara dönüşmesi gibi mikroskobik yapısal düzenlemelerle ilgili bilgiler tam olarak açıklanamamış değildir [6].

Dielektrik parçalanma teorisi ilk kez Zimmermann ve ark. [28] ve Neumann ve Rosenheck [4] tarafından açıklanmaya çalışılmıştır. Bu teoriye göre elektrostatik sıkıştırma kuvveti ile hücre zarının elastik ters kuvveti arasındaki dengenin bozulması sonucunda ortaya çıkılmaktadır. Uygulanan kuvvetin arttırılması ile hücre zarı kalınlığı azalmaktadır. Hücre zarı sıkıştırılmaz özellikte olduğundan hücre zarı alanı ile yağ tabakaları arasındaki oran artmakta bunun sonucunda hücre zarı yağlarının faz dengesi bozulmaktadır. 1-10 kV/cm kuvvetin 10-15 ms bir hücreye uygulaması sonucunda geri dönüşümsüz olarak hücre zarı parçalanmaktadır [29].

Tsong'a [30, 31] göre ise transmembran potansiyeli belli bir değere ulaştığında hücre zarı iyonlara ve küçük moleküllere karşı geçirgenlik özelliğini kaybetmekte ve sitoplazmada yer alan büyük moleküller için yarı geçirgen hale dönüşmektedir. Bu moleküllerin ozmotik basıncından dolayı hücre şişmekte ve hücre zarı parçalanmaktadır. Kırmızı kan hücrelerinin kullanıldığı çalışmada hücre zarında oluşan porların, 20 ile 120 nm çapında olduğu ve yanardağ şeklinde oluşumlar meydana geldiği hızlı donduruculu taramalı elektron mikroskobu ile belirlenmiştir [32]. Ancak teorikte 1 nm olarak tahmin edilen por

boyutuna göre çok yüksek çapa sahip olan [6] bu oluşumların ikincil yapılar olabileceği tahmin edilmektedir. Sonuç olarak PEF uygulaması sonucu oluşan porlar direkt olarak halen belirlenmemiştir [33]. Tek hücreli yapılarla yapılan çalışmalar birçok hücrenin bir araya gelerek oluşturduğu dokularda oluşan elektroporasyonun açıklanması için uygun bir yöntem olmamakla beraber temel mekanizmanın aydınlatılması için kullanılabilir bir yaklaşımdır [34]. Birbirine komşu olan hücreler direkt temas halinde bulunmasalar bile, karşılıklı elektriksel gölgeleme sonucu birbirlerini etkileyebilirler [35]. Dokular düzensiz şekle sahip, damar yapısında ve farklı hücre tiplerinden oluşmakta her bir hücrenin elektriksel özellikleri farklılık gösterebilmektedir [36]. Dolayısıyla farklı hücre yapısındaki farklı dokularla yapılan uygulamalarda farklılıkların olması kaçınılmazdır.

Bitki ve hayvan hücreleri ile yapılan çalışmalarda farklı elektriksel alan şiddetlerinde hücre zarı için transmembran potansiyeli ~0.7-2.2 V olan kritik değerlere vurgu uygulamasından 1µs'lik süre sonunda ulaşılmaktadır [37]. Bitki dokularında yer alan hücre zarının parçalanması için uygulanması gereken kritik elektriksel alan ise 150-200 V/cm olarak belirlenmiştir [37]. Mönch ve Knorr, asma hücreleriyle yaptıkları çalışmada pH değişimlerini izleyerek elektrik uygulaması sonunda önce hücre zarının daha sonra koful zarının geçirgenlik kazandığını öne sürmüşlerdir [38].

## GIDA SANAYİNDE UYGULAMALAR

Gıda sanayinde PEF uygulamalarında kritik elektrik alan parametreleri doğru olarak seçilmelidir. Sularda ve sıvı gıdalarda mikrobiyal inaktivasyonu için kullanılan elektrik alan şiddeti genellikle 10-60 kV/cm, vurgu süresi ise mikro ile milisaniye arasında değişim göstermektedir [10, 11, 19, 39]. Optimum proses koşullarının belirlenmesinde en önemli noktalardan birisi en düşük enerji tüketiminde istenilen amaca uygun proseslerin koşullarının belirlenmesidir [40]. Isıl işlem uygulamadan gıdaların korunmasında en büyük amaç yüksek kalitede ürün elde edilmesidir [39].

Enzimler gıdalarda doğal olarak bulunan proteinler olup biyolojik proseslerin düzenlenmesinde katalitik aktivitelerden sorumlu maddelerdir. Enzimlerin PEF ile inaktivasyonu konusunda yapılan çalışma bulgularında tezatlıklar söz konusudur. Bazı araştırma grupları enzimler üzerine PEF uygulamasının enzimleri inaktive ettiğini savunurken bazı gruplar hiç bir etkisinin olmadığı görüşündedirler [41]. Farklı sonuçlara ulaşılmasında çalışmalarda kullanılan hammadde farklılığı, hedef enzimin farklılığı gibi konular önemli olurken, bazı enzimlerin kimyasal yapılarına bağlı olarak PEF uygulamalarına daha duyarlı olduğu düşünülebilir. Enzimlerin kompleks yapıları nedeniyle bu konuda yapılacak çalışmaların artırılması gereklidir.

Elektrik alan şiddetine göre PEF düşük ( $E \leq 100-200$  V/cm),

orta ( $E=300-1500$  V/cm) ve yüksek ( $E > 1500$  V/cm) olarak sınıflandırılmıştır [13]. Bitki hücre zarlarının parçalanması için genellikle orta şiddette elektrik alanlar yeterli olmaktadır. Bitki hücre dokularına PEF uygulaması ile hücreden ekstrakte edilecek maddelerin kütle transferleri artmaktadır [7, 13, 42, 43, 44]. Ekstraksiyonun yanı sıra kurutma proseslerinde de PEF uygulaması ön işlem olarak kullanılabilir. Kurutma zamanında ve sıcaklığının azaltılmasında etkili olabilecek bu işlem prosesin maliyetini düşürebileceği gibi üretim kapasitesini de arttırabilecektir. Hücre zarı parçalanmasının amaçlandığı bu ön işlem uygulaması sonrasında elde edilen ekstraktların kalite açısından ısısal ve enzimatik olarak ön işleme tabi tutulmuş ürünlere göre daha iyi özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Ekstraktların daha saf ve berrak olması gıda üretiminde gereksinim duyulabilecek fazladan işlem basamaklarının gereksinimi azaltmaktadır. Meyve ve sebzelerde hücre zarının parçalanması için gereken elektrik alan şiddetinin 0.5-1 kV/cm olmasının yeterli olduğu bilinmektedir. Vurgulu elektrik alan uygulaması sonrasında şeker pancarından elde edilen ekstrakt veriminin 10 bar basınçta %62.3'e kadar arttırılabildiği belirlenmiştir [45]. Ekstrakt veriminin belirlendiği çalışmalarda havuç suyu üretiminde ekstrakt verimi hiç ön işleme tabi tutulmadan preslenen hammaddeye göre %60.1 ile 66.4 artış gösterirken üzümle yapılan çalışmada üzüm suyu verimi enzimatik maserasyon sonrası elde edilen verimle (%87) aynı bulunurken PEF ile gerçekleşen hücre parçalanmasından dolayı çözünen madde ve pigment miktarının arttığı belirlenmiştir [46].

Endüstriyel uygulamalara örnek olarak şeker pancarına PEF uygulaması ile ekstraksiyon verimini arttırmak amacıyla bir mobil sistem kurulmuştur [47, 48]. Endüstriyel bir prototip sistem ise Almanya'da kurulu bir meyve suyu fabrikasına 2006 yılında monte edilmiştir [21]. Günümüzde şeker pancarının yanı sıra bütün halde bulunan patateslere de endüstriyel olarak PEF uygulaması yapılmaktadır. Parçalama işleminden geçirildikten sonra PEF uygulamaları ise meyve suyu endüstrisinde %10-15 oranında verim artışı sağlarken, zeytinlerden yağ ekstraksiyonunda bu artış %1-2 civarında gerçekleşmektedir. Pamuk çekirdeği yağı ekstraksiyonunda ELCRACK sistemi ile 2 kV/cm PEF uygulaması sonucunda yağ ekstraksiyon veriminin %17 den %19'a çıktığı belirlenmiştir [49]. Ayrıca bebekler için hazırlanan formülasyonlarda sıcaklıkla birlikte PEF uygulanması üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

## SONUÇ

Vurgulu elektrik alan uygulamasının gıda sanayinde güvenli gıda üretimi veya gıda proseslerinde ön işlem olarak kullanımının avantajları üzerine yapılmış ve yapılmakta olan çalışmalar kapsamında gelecekte kullanım olasılığı yüksek bir proses olarak değerlendirmek mümkündür. Ancak ısı işlem yerine tek başına bu tekniğin

kullanımının günümüzde ve yakın gelecekte mümkün olmaması yeni teknikler içerisinde yer alan PEF teknolojisi için de en büyük dezavantajlardan bir tanesidir. Bu durum göz önüne alınarak ısı ileme veya diğer yeni proseslerle oluşturulabilecek kombinasyonlarla en iyi kalitede ürün eldesi için çalışılması ve PEF uygulamaları için optimizasyonların yapılması gerekmektedir.

Bugüne kadar elde edilmiş araştırma sonuçlarına göre ısıya duyarlı gıdaların dayanıklı hale getirilmesinde veya kurutma ve ekstraksiyon gibi gıda proseslerinde ön işlem olarak PEF uygulamalarının kullanılabilirliği belirlenmiştir. Mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerine PEF etkisinin incelendiği çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen uygulama parametrelerindeki farklılıktan dolayı araştırmaların karşılaştırılmasında zorluklar ortaya çıkmaktadır. Gelecekte, PEF uygulanmış ürünlerle ilgili tüketici çalışmalarının yapılması, teknolojinin çeşitli ülkelerdeki gıda veya sağlık otoriteleri tarafından onaylanması, bilimsel temellerinin geliştirilmesi ve kapasitesi yüksek ekipman tasarımı sonrasında söz konusu teknolojinin endüstriyel uygulamalarının artması beklenmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Lund, D.B., 2008. Food Engineering for the 21st Century. In J. Welti-Chanes, G.V. Barbosa-Cánovas, J.M. Aguilera (Eds.), *Engineering and food for the 21st century* (s.1-13). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [2] Stampfli, R., 1958. Die Strom-Spannungs-Charakteristik der erregbaren Membran eines einzelnen Schניirrings und ihre Abhängigkeit von der Ionenkonzentration. *Helv. Physiol. Acta* 16: 127-145.
- [3] Sale A.J.H., Hamilton, W.A., 1967. Effects of high electric fields on microorganisms I. Killing of bacteria and yeasts. *Biochim. Biophys. Acta.* 148: 781-788.
- [4] Neumann E., Rosenheck, K., 1972. Permeability changes induced by electric impulses in vesicular membranes, *J. Membr. Biol.* 10: 279-290.
- [5] Kinoshita, K. Jr., Tsong, T.Y., 1977. Formation and resealing of pores of controlled sizes in human erythrocyte membrane. *Nature* 268: 438-441.
- [6] Weaver, J.C., Chizmadzhev, Y.A., 1996. Theory of electroporation: A review. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 41(2): 135-160.
- [7] Knorr, D., Guelen, M., Grahl, T., Sitzmann, W., 1994. Food application of high electric field pulses. *Trends in Food Science and Technology* 5: 71-75.
- [8] Knorr, D., 1994b. Plant cell and tissue cultures as model systems for monitoring the impact of unit operations on plant food. *Trends in Food Science and Technology* 5: 328-331.
- [9] Zimmermann, U., 1986. Electrical breakdown, electroporation and electrofusion. *Rev Physiol. Biochem. Pharmacol.* 105: 176-256
- [10] Angersbach, A., Heinz, V., Knorr, D., 2000. Effects of pulsed electric fields on cell membranes in real food systems. *Innovative Food Science and Emerging Technology* 1: 135-149.
- [11] Lebovka, N., Praporscic, I., Vorobiev, E., 2004. Combined treatment of apples by pulsed electric fields and by heating at moderate temperature. *Journal of Food Engineering* 65: 211-217.
- [12] Angersbach, A., Heinz, V., Knorr, D., 1999. Electrophysiological model of intact and processed plant tissues: cell disintegration criteria. *Biotechnol. Prog.* 15: 753-762.
- [13] Bazhal, M.I., Vorobiev, E.I., 2000. Electrical treatment of apple slices for intensifying juice pressing. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 1668-1674.
- [14] Bazhal, M.I., Lebovka, N.I., Vorobiev, E.I., 2001. Pulsed electric field treatment of apple tissue during compression for juice extraction. *Journal of Food Engineering* 50 (3): 129-139.
- [15] Bajgai, T. R., Hashinaga, F., 2001. High electric field drying of Japanese radish. *Drying Technology* 19 (9): 2291-2302.
- [16] Zhang, Q., Chang, F.J., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G., 1994. Inactivation of microorganisms in a semisolid model food using high voltage pulsed electric fields. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 27: 538-543.
- [17] Sensoy, I., Zhang, Q.H., Sastry, S.K., 1997. Inactivation kinetics of *Salmonella Dublin* by pulsed electric field. *J. Food Process Eng.* 20: 367-381.
- [18] Qin, B., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G., Pedrow, P.D., Olsen, R.G., 1998. Inactivating Microorganisms Using a Pulsed Electric Field Continuous Treatment System. *IEEE Transactions on Industry Applications* 34(1): 43-50.
- [19] Barbosa-Canovas, G.V., Gongora-Nieto, M.M., Pothakamury, U.R., Swanson, B.G., 1999. Preservation of foods with pulsed electric fields. Academic Press San Diego, USA.
- [20] Min, Z.T. Jin, Zhang, Q.H., 2003. Commercial-scale pulsed electric field processing of tomato juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 3338-3344.
- [21] Töpfl, S., 2006. Pulsed Electric Fields (PEF) for Permeabilization of Cell Membranes in Food- and Bioprocessing – Applications, Process and Equipment Design and Cost Analysis, Technischen Universität Berlin, Doktora tezi, s. 180.
- [22] Teissie, J., 1988. Effects of electric fields and currents on living cells and their potential use in biotechnology: a survey. *Biochemistry and Bioenergetics* 20: 133-142.
- [23] Prud Homme, G.J., Glinka, Y., Khan, A.S., Draghia-Akli, R., 2006. Electroporation enhanced nonviral gene transfer for the prevention or treatment of immunological, endocrine and neoplastic diseases. *Current Gene Therapy* 6: 243-273.
- [24] Benz, R., Zimmermann, U., 1980. Relaxation studies on cell membrane and lipid bilayers in the high electric field range. *Bioelectrochem. Bioenerg.*, 7: 723-739.

- [25] Benz, R., Conti, F., 1981. Reversible electrical breakdown of squid giant axon membrane. *Biochim. Biophys. Acta* 645: 115-123.
- [26] Mir, L.M., Banoun, H., Paoletti, C., 1988. Introduction of definite amount of nonpermeant molecules into living cells after electroporation: direct access to cytosol. *Exp. Cell Res.* 175: 15-25.
- [27] Lambert, H., Pankov, R., Gauthier, J., Hancock, R., 1990. Electroporation-mediated uptake of proteins into mammalian cells. *Biochem. Cell Biol.* 68: 729-734.
- [28] Zimmermann, U., Pilwat, G., Riemann, F., 1974. Dielectric breakdown in cell membranes. *Biophysical Journal* 14: 881-899.
- [29] Zimmermann, U., 1996. The effect of high intensity electric field pulses on eucaryotic cell membranes: fundamentals and applications. *Electromanipulation of cells*. U. Zimmermann and G. A. Neil. Boca Raton, CRC Press: 1-106p.
- [30] Tsong, T.Y., 1990. Review: On electroporation of cell membranes and some related phenomena. *Bioelectrochemistry Bioenergetics* 24: 271-295.
- [31] Tsong, T.Y., 1991. Electroporation of cell membranes. *Biophysical Journal* 60: 297-306.
- [32] Chang D.C., Reese, T.S., 1990. Changes in membrane structure induced by electroporation as revealed by rapid freezing electron microscopy. *Biophysical Journal* 58: 1-12.
- [33] Rols, M.P., 2006. Electroporation, a physical method for the delivery of therapeutic molecules into cells. *Biochim Biophys Acta* 1758: 423-428.
- [34] Abidor, I.G., Li, L.H., Hui, S.W., 1994. Study of cell pellets. I. Electrical properties and porosity. *Biophys J.* 67: 418-426.
- [35] Susil, R., Semrov, D., Miklavcic, D., 1998. Electric field-induced transmembrane potential depends on cell density and organization. *Electro. Magnetobiol.* 17: 391-399
- [36] Miklavcic, D., Beravs, K., Semrov, D., Cenaar, M., Demsar, F., Sersa, G., 1998. The importance of electric field distribution for effective in vivo electroporation of tissues. *Biophysical Journal* 74: 2152-2158.
- [37] Knorr D., Heinz V., Angerbach, A., Lee, D., 2000. Membrane permeabilization and inactivation mechanisms of biological systems by emerging technologies. *Proceedings of the eighth international congress on engineering and food* (s.15). Puebla, Mexico.
- [38] Knorr, D., Angersbach, A., 1998. Impact of high-intensity electrical field pulses on plant membrane permeabilization. *Trends in Food Science and Technology* 9: 185-191.
- [39] Zhang, Q., Barbosa-Cánovas, G.V., Swanson, B.G., 1995. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *Journal of Food Engineering* 25: 261-281.
- [40] Lebovka, N.I., Bazhal, M.I., Vorobiev, E., 2002. Estimation of characteristic damage time of food materials in pulsed-electric fields. *Journal of Food Engineering* 54(4): 337-346.
- [41] Van Loey, A., Verachtert, B., Hendrickx, M., 2001. Effects of high electric field pulses on enzymes. *Trends in Food Science and Technology* 12: 94-102.
- [42] Doevenspeck, H., 1960. Verfahren und Vorrichtung zur Gewinnung der einzelnen Phasen aus dispersen Systemen. German Patent, DE 1237541
- [43] Flaumenbaum, B.L., 1968. Anwendung der Elektroplasmolyse bei der Herstellung von Fruchtsäften. *Flüssiges Obst.* 35: 19-22.
- [44] Fincan, M., DeVito, F., Dejmek, P., 2004. Pulsed electric field treatment for solid-liquid extraction of red beetroot pigment. *Journal of Food Engineering* 64: 381-388.
- [45] Bouzrara, H., 2001. Enhancing pressing of vegetable products by pulsed electric fields: case of sugar beet. PhD thesis, Université de Technologie de Compiègne, France.
- [46] Eshtiaghi, M.N., Knorr, D., 2000. Anwendung elektrischer Hochspannungsimpulse zum Zellaufschluss beider Saftgewinnung am Beispiel von Weintrauben. *LVT* 45: 23-27.
- [47] Lebovka, N.I., Praporscic, I., Ghnimi, S., Vorobiev, E., 2005. Does electroporation occur during ohmic heating of food. *Journal of Food Science* 70(5): 308-311.
- [48] Kraus, W., 2003. The 2002 beet campaign - VDZ Zweigverein Süd. *Zuckerindustrie* 128(5): 344-354.
- [49] Toefl, S., 2010. Food Processing by pulsed electric fields-Equipment design and commercial experience, International Pulsed Power PhD Congress Karlsruhe, Almany, 16p.



## Peyniraltı Suyu Proteinlerinin Mikroenkapsülasyon Teknolojisinde Kaplama Materyali Olarak Kullanım Olanakları

Hatice Şanlıdere Aloğlu, Zübeyde Öner

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta  
E-posta: hatice@mmf.sdu.edu.tr

### ÖZET

Mikroenkapsülasyon sıvı, katı veya gaz formundaki değişik mikro boyuttaki maddeleri kapsüller içinde paketlenme teknolojisi olarak tanımlanır. Bu teknikte kaplanan materyal belirli şartlar altında kontrollü oranlarda serbest hale geçer. Aynı zamanda mikroenkapsülasyon, kaplanan materyali sıcaklık, nem ve mikroorganizma gibi faktörlerden koruyan bir yöntemdir. Mikroenkapsülasyon tekniğinin kimya, ziraat, gıda ve yem, tıp, eczacılık, veterinerlik, biyoteknoloji, çevre ve tüketici ihtiyaçları gibi çok geniş kullanım alanları vardır. Mikroenkapsülasyon teknolojisinde kullanılan kaplama materyalleri çok çeşitli olup, organik veya inorganik esaslı olabilir. Bu derlemede, mikroenkapsülasyon teknolojisinde kullanılan kaplama materyalleri ile mikroenkapsülasyon teknolojisinde peyniraltı suyu proteinlerinin kaplama materyali olarak kullanım olanakları irdelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroenkapsülasyon, Peyniraltı suyu proteinleri, Kaplama materyalleri

### Potential Use of Whey Proteins as a Coating Material in Microencapsulation Technology

#### ABSTRACT

Microencapsulation is defined as a technology of packaging solids, liquids or gaseous material in miniature, sealed capsules that can release their contents at controlled rates under specific conditions. Microencapsulation is also a method of protecting encapsulated material from factors that may cause its deterioration such as temperature, moisture and microorganisms. Microencapsulation technique has many applications in chemistry, agriculture, food and feed, medicine, pharmacy, veterinary medicine, biotechnology, environment and consumer necessities. Type of coating materials used in microencapsulation technology varies to a great extent, and could be of organic or inorganic origin. In this review, potential use of whey proteins, dairy industry by-products with biological and technological properties, as a coating material in microencapsulation technology are discussed.

**Key Words:** Microencapsulation, Whey proteins, Coating materials

#### GİRİŞ

Mikroenkapsülasyon, sıvı veya gaz formundaki zerreciklerin ince bir film tabakası ya da polimer kapsüller ile kaplanarak, kaplanan materyalin kullanılıncaya kadar korunması işlemidir. Kaplamada kullanılan materyalin özelliklerine bağlı olarak kaplanan madde (mikroorganizma veya gıda bileşeni) farklı sürelerde ve ortamlarda serbest hale geçebilir [1, 2]. Mikroenkapsülasyon enkapsüle edilen madde ile sistemin ilişkisini sınırlandırmaktır. Eğer bir bileşenin bulunduğu ortam ile ilişkisinin sınırlandırılması gerekiyorsa, bu maddenin enkapsüle edilmesi ile elde edilen mikrokapsüller sayesinde ortamdaki ayrılması daha kolay olmaktadır. Mikroenkapsülasyon, kırılğan ve çevresinden korunması gereken vitaminler, çoklu

doymamış yağ asitleri gibi gıda bileşenlerinin korunmasını sağlar. Bazı ilaçlar ve probiyotikler sindirim sisteminden geçerken zarar görebilirler. Bu maddeler mikroenkapsüle edildiklerinde fizikokimyasal, kimyasal ve çevrenin mekanik etkisinden korunabilirler [3]. Ayrıca bazı durumlarda bileşenlerin ortamda serbest halde bulunması istenmez. Buna en güzel örnek enzim ya da katalizörlerdir. Mikroenkapsülasyon bu bileşenlerin açığa çıkmasını sınırlar veya daha hızlı açığa çıkmalarını sağlayabilir. Biyoaktif maddelerin enkapsülasyonu bu maddelerin raf ömürlerini uzatır ve ağız yoluyla tüketimlerinden sonra biyo-yararlılıklarını artırır [4].

Küçük hacimdeki bir sıvı ile yüksek miktardaki toz halindeki maddeyi homojen şekilde karıştırmak zordur.

Mikroenkapsülasyon sıvının tozun içine girmesini kolaylaştırır. Mikroenkapsülasyon tekniğı, pH değışiklikleri karşısında membran geçirgenliğini kontrol ederek biyokatalizörlerin aktivitesini düzenler ve yeni işlevler kazandırır. Çeşitli fonksiyonel ürünlerin çıkmasında da etkili bir tekniktir [4, 5]. Bu çalışmada kimya, eczacılık, veterinerlik vb konularda kullanım alanı bulan mikroenkapsülasyon teknolojisinde kullanılan kaplama materyalleri ile peyniraltı suyu (PAS) proteinlerinin kaplama materyali olarak kullanım olanakları konusundaki çalışmalar derlenmiştir.

## MİKROKAPSÜLLERİN OLUŞTURULMASINDA KULLANILAN KAPLAMA MATERYALLERİ

Mikroenkapsülasyon teknolojisinde kullanılan kapsüllerin genel olarak stabiliteilerinin yüksek, geçirgenliklerinin uygun, boyutlarının istenen düzeyde ve ortamla uyumluluğunun yüksek olması istenir [6]. Bu özelliklerin oluşturulabilmesi için çok farklı kaplama materyalleri kullanılmaktadır. Bunlar; karbonhidratlar, gamlar, süt yağı, proteinler ve protein esaslı bileşenler, selülozlar (karboksimetilselüloz, metil selüloz, etilselüloz, nitroselüloz, asetilselüloz, selüloz asetat-fitalat, selüloz asetat-bütülat-fitalat), lipidler, katı ve sıvı yağlar ve inorganik maddelerdir [7-12].

**Karbonhidratlar:** Karbonhidratların özellikle gıda katkı maddelerinin püskürterek kurutma yöntemi ile enkapsüle edildiğı uygulamalarda geniş kullanım alanları vardır. Nişasta, maltodekstrin ve mısır şurubu çeşitliliğı, düşük maliyeti ve gıdalarda geniş kullanım alanları olması nedeniyle aroma maddelerinin kaplanmasında tercih edilmektedirler [10].

**Gamlar:** Gamlar ve kıvam verici maddelerin tadı genellikle çok az veya hiç yoktur. Fakat gıdaların tat ve aromalarında belirgin bir etkiye sahiptirler. Akasya gamı yüksek çözünürlüğü, düşük viskozitesi ve emülsiyon haline getirme özellikleri ile enkapsülasyon teknolojisinde aranan aroma kaplama maddelerindedir. Gıda endüstrisinde kullanımı sınırlıdır çünkü akasya gamı maltodekstrinlere göre daha pahalıdır. Akasya gamı ve maltodekstrinlerin karışım halinde kullanıldığı çalışmalarda mevcuttur [11].

**Süt Yağı:** Süt yağından elde edilen mikrokapsüller, aroma maddeleri ve enzimlerin enkapsülasyonunda kullanılmaktadır. Süt yağının peynirde iki görevi vardır. Aroma maddelerinin ön maddesi ve peynir aromasının taşıyıcısıdır. Serbest yağ asitleri ve metil ketonlar süt yağından oluşmaktadır. Süt yağı içersine enkapsüle edilmiş bileşenlerin az yağlı peynirlerde kullanılması bu peynirlere tam yağlı lezzeti vermektedir [7-9].

**Proteinler:** Gıda hidrokolloidlerinin yanı sıra sodyum kazeinat, PAS proteinleri ve soya protein izolatları gibi gıda proteinlerinin de enkapsülasyon teknolojisinde kullanım alanları vardır. Kimyasal gruplarındaki çeşitlilik, suda çözünen ve çözünmeyen grupları birlikte içermesi, kendi içinde ve çok çeşitli maddelerle etkileşime girme, büyük moleköl ağırlıkları, moleküler zincirlerinin esnekliğı gibi özelliklere sahip olmalarının yanı sıra çözünürlük, viskozite, emülsifikasyon ve film oluşturma

gibi teknolojik özelliklerinin bulunması tercih edilme sebeplerindedir. Emülsiyon oluşturma sırasında protein molekülleri yeni oluşan yağ ve su fazı arasında hızlıca adsorbe olur [11].

**Diğer Kaplama Materyalleri:** Mikroenkapsülasyon teknolojisinde selülozlar (karboksimetilselüloz, metil selüloz, etilselüloz, nitroselüloz, asetilselüloz, selüloz asetat-fitalat, selüloz asetat-bütülat-fitalat), lipidler (mumlar, parafin, tristearin, stearik asit, monogliseritler, digliseritler, balmumu, katı ve sıvı yağlar, katılaştırılmış yağlar) ve inorganik maddeler (kalsiyum sülfat, silikatlar, kil) de ve lipozomlar kaplama materyali olarak kullanılmaktadır [2].

## MİKROENKAPSÜLASYON TEKNOLOJİSİNDE PEYNİRALTI SUYU PROTEİNLERİNİN KAPLAMA MATERYALİ OLARAK KULLANILMASI

PAS proteinleri, biyolojik değeri yüksek besleyici protein kaynaklarıdır. Kandaki glutatyon miktarını artırır ve insan bağışıklık sistemi için yararlı antioksidan maddelerin kaynağıdır. Sağlık için yararlı etkilerinin bulunmasından dolayı gıdalara protein kaynağı olarak ilave edilebilmektedirler [13]. PAS proteinleri iyi emülsifikasyon, jelleşme ve film oluşturma özelliklerine sahiptirler. Özellikle emülsifikasyon ve ısı ile jelleşme özelliğinin birlikte kullanılması kullanım alanlarının gelişmesini sağlamaktadır. Bu konu ile ilgili araştırmalar özellikle proteinlerinin jelleşme özelliğı üzerine yoğunlaşmıştır [14, 15]. Ayrıca PAS proteinleri mikroenkapsülasyon teknolojisinde kaplama materyali olarak istenen fonksiyonel özellikleri göstermektedirler [16-22]. PAS proteinlerinin fiziko-kimyasal özellikleri, gıda uygulamalarında mikrokapsüllerden enkapsüle edilen maddelerin kontrollü olarak salınımında ve yeni mikrokapsüllerin oluşturulmasında mükemmel avantajlar sağlamaktadır [14, 15].

PAS proteinlerinin kullanıldığı çalışmalarda mikroenkapsülasyon tekniğı olarak özellikle püskürterek kurutma yöntemi kullanılmaktadır [14, 15]. PAS proteinlerinin kullanılması ile yapılan püskürtülerek kurutulmuş mikrokapsüller suda çözünebilirler. Bu nedenle kontrollü salınım çalışmaları için uygun değildirler. PAS proteinlerinin jelleşme özelliklerinden de yararlanılması oluşturulan kapsüllerin suda çözünürlüklerini sınırlandırmakta ve bu da yeni mikrokapsüller geliştirilmesinde fırsatlar sağlamaktadır.

Genellikle glutaraldehit gibi çapraz bağlanma reaksiyonu gösteren kimyasalların kullanılması protein esaslı mikrokapsülleri suda çözünmez hale getirmektedir. Fakat PAS protein çözeltilerinin ısıtılması ile oluşturulan geri dönüşümsüz jeller, çapraz bağlanma reaksiyonu gerçekleştiren kimyasalların kullanılmasına gerek kalmadan suda çözünmeyen kapsüller elde edilmesini sağlar,

Ticari olarak PAS proteinleri, PAS protein izolatları (%95-96 protein) ve PAS konsantratu şeklinde üretilmektedir. PAS protein konsantratları ve izolatları uçucu ve uçucu olmayan bileşenlerin kapsüllenmesinde mükemmel mikroenkapsülasyon özellikleri

göstermektedirler. Lipidlerin kapsüllenmesinde kaplama materyali olarak kullanılan PAS protein izolatları depolanmaları sırasında oksidasyona karşı etkili bir koruma sağlamaktadır [14, 15].

Yapılan bir çalışmada, PAS protein izolatları kullanılarak enkapsüle edilen portakal yağının oksidasyona karşı daha dirençli olduğu ve püskürtülerek kurutma yöntemiyle beraber uçucu bileşenlerin mikroenkapsülasyonunda etkili oldukları belirtilmiştir. Fakat soya fasulyesi yağının enkapsüle edildiği başka bir çalışmada sodyum kazeinatla karşılaştırıldığında PAS protein konsantratinin daha düşük enkapsülasyon yeteneği gösterdiği belirtilmiştir [11]. Farklı araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda da sıvı yağların enkapsülasyonunda sodyum kazeinatın PAS proteinlerine göre daha etkili olduğu belirtilmektedir [11, 23, 24].

Mikrokapsüllerin yapıldığı teknik ve kaplama materyali onun işlevini etkiler. Püskürtülerek kurutulmuş polisakkaritleri içeren bir kaplama materyalinin yüzeyi son derece girintilidir. PAS proteinleri ile yapılmış mikrokapsüller ise pürüzsüz, girintisiz bir yüzeye sahiptir. Sheu ve Rosenberg [14] yaptıkları çalışmalarında PAS proteinlerinin maltodekstrinlerle beraber kaplama materyali olarak kullanılmasının yüzeyel girintileri sınırlandıracağı veya en aza indireceğini belirtmişlerdir. Yüksek dekstroz içeren maltodekstrin veya mısır şurubu kullanımını bu amaçla önermişlerdir. Bu karbonhidratların kullanımı yüzeyel kırılmaları da sınırlandırmaktadır ve bu durumda mikrokapsüllerin çekirdek duvarının fonksiyonelliğini artırmakta ve çekirdeğin depolama esnasında bozulmasını veya kaybını önlemektedir

Peyniraltı suyu proteinlerinin karbonhidratlarla karışımı, süt yağının ve uçucu bileşenlerin enkapsülasyonunda kullanılmalarını olanaklı kılmaktadır [11, 14, 19, 20]. Burada PAS proteinleri emülsifiye edici ve film oluşturucu olarak, karbonhidratlar ise (maltodekstrinler, mısır şurubu) matriksi oluşturucu materyal olarak kullanılmaktadır [11, 14].

Süt yağının mikroenkapsülasyon tekniği ile dayanıklılığını artırmak, dolayısıyla raf ömrünü uzatma amacıyla yapılan çalışmalar olumlu sonuçlar vermektedir. Enkapsüle edilerek toz haline getirilmesi tereyağının raf ömrünü uzatmaktadır. Peyniraltı suyu proteinlerinin kaplama materyali olarak süt yağının enkapsülasyonunda kullanılması çevresel koşullardan bu ürünlerin korunmasını sağlamaktadır [18, 19, 25, 26]. Peyniraltı suyu protein izolatı, PAS protein konsantrati, PAS protein izolatı-laktöz karışımları, PAS protein izolatı-maltodekstrin karışımları süt yağının püskürtülerek kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonunda etkili kaplama materyalleridir. Kaplama materyalinde PAS proteinleri yerine kısmen laktöz kullanılmasının, antioksidatif etkiyi azalttığı ve kaplama materyalinin oksijen geçirgenliğini değiştirdiği belirtilmektedir. Süt yağının mikroenkapsülasyonu, oksidasyona olan dayanıklılığını artırır, raf ömrünü uzatır ve ambalajlama kolaylığı sağlar [16].

Chen ve Subirade [4] yaptıkları çalışmalarında %1 riboflavin ilave edilmiş PAS protein izolatı /aljinat karışımından (8:2 oranında) emülsifikasyon/soğuk jelleşme metodu kullanılarak yaklaşık 94 µm boyutunda kapsül elde edildiğini ve bu kapsüllerin iç ve dış yapısının, salınım özelliklerinin mükemmel olduğunu belirtmişlerdir. Bu kaplama maddesinin gıda bileşenlerinin veya biyoaktif maddelerin mikroenkapsülasyonunda güvenilir olarak kullanılabileceğini önermişlerdir.

Süt ürünlerinde kullanılan probiyotik mikroorganizmaların korunmasında suda çözünmeyen mikrokapsüller üretmek için yeni yollar geliştirilmektedir ve bu konuya yoğun bir ilgi duyulmaktadır. Bu açıdan, süt proteinlerinin fiziko-kimyasal özelliklerinin gıdalarda kaplama materyali olarak kullanılmaya uygun olduğu belirtilmektedir [11, 18, 19]. Buna rağmen gıda uygulamalarında mikroorganizmaların suda çözünmeyen süt kaynaklı proteinler içersinde kapsüllenmesi ile ilgili çok az sayıda araştırma mevcuttur. Bunun sebebi gıda proteinlerinin ısı uygulamalarında jelleşmesi ve canlı mikroorganizmalar gibi ısıya duyarlı çekirdek materyalleri için uygun olmamalarından kaynaklanmaktadır [27]. Heidebach ve ark. [27] yaptıkları çalışmalarında enzimatik jelleşme reaksiyonunun, süt proteinlerini probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonunda kullanılabilir duruma getirdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca proteinlerin kullanımının getirdiği önemli bir fonksiyonel özellikte kapsül büyüklüğünü kontrol etmesidir. Kapsüllerin büyüklüğü son üründe duyuşsal özelliğin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonunun amacı duyarlı olan bu hücrelerin çevre ile ilişkilerini azaltarak korumaktır. Yüksek konsantrasyonda süt proteinlerinin sulu çözeltilerinden oluşturulan mikrokapsüller yüksek yoğunlukta bir jel ağı oluşturur ve oluşan uygun çaptaki mikro kapsüller probiyotiklerin gıdalarda kullanımını daha etkili hale getirir [27].

Picot ve Lacroix [28] PAS proteinlerini kaplama materyali olarak kullanarak iki tane *Bifidobacterium* suşunun enkapsülasyon işlemine tabi tutmuşlardır. Bu suşların enkapsülasyona dayanıklılığını ve enkapsülasyon işleminden sonra yoğurt içersinde depolama sırasındaki canlılıklarını ve *in vitro* şartlarda sindirime dayanıklılıklarını incelemişlerdir. Sonuçta enkapsülasyon işlemi görmüş suşların dayanıklılığının düşük pH'ya sahip yoğurt içersinde 28 günlük depolama ve ardından insan sindirim sistemi koşullarında bekletme sonrası canlılıklarının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Peyniraltı suyu protein kaynaklı suda çözünmeyen mikrokapsüllerde tutuklanan bifidobakterlerin çevresel yüksek asit konsantrasyonuna toleranslarının arttığı ve insan sindirim sisteminde probiyotik kültürlerin kullanılmasında bu uygulamanın çok uygun olduğunu belirtmişlerdir [28].

Guerin ve ark. [29] yaptıkları çalışmalarında bifidobakterium hücrelerini aljinat, pektin ve PAS protein karışımı ile enkapsüle etmişlerdir. Araştırmacılar hücrelerin membran kaplamalı protein-polisakkarit

mikrokapsülleri şeklinde kullanılmasının probiyotik bakterilerin sindirim sisteminden geçerken canlılıklarını daha uzun süre muhafaza ettiklerini belirtmişlerdir.

## SONUÇ

Mikroenkapsülasyon teknolojisi uzun yıllardan beri birçok alanda kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde ise son yıllarda kullanılmaya başlamıştır. Bu tekniğin gıda endüstrisinde kullanılması fonksiyonel özellikleri yüksek, raf ömrü daha uzun, besleyici vb. gibi özellikler gösteren yeni ürünlerin geliştirilmesinde yeni imkanlar sunmaktadır.

Mikroenkapsülasyon teknolojisi ile elde edilen mikrokapsüllerin yapıldığı teknik ve kaplama materyali onun işlevini etkilemektedir. Bu nedenle kaplama materyali olarak kullanılacak madde ile kaplanacak materyalin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

PAS proteinleri iyi emülsifikasyon, jelleşme ve film oluşturma özelliklerine sahiptirler ve mikroenkapsülasyon teknolojisinde kaplama materyali olarak ta istenen fonksiyonel özellikleri göstermektedirler. PAS proteinlerinin fiziko-kimyasal özellikleri, gıda uygulamalarında mikrokapsüllerden enkapsüle edilen maddelerin kontrollü olarak salınımında ve yeni mikrokapsüllerin oluşturulmasında mükemmel avantajlar sağlamaktadır. Gerek biyolojik gerekse teknolojik özellikleri yüksek olan PAS proteinlerinin kapsül materyali olarak kullanım alanlarının artması bu proteinlerin değerlendirilmesi açısından da önemlidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Kınık, Ö., Kavas, G., Yılmaz, E., 2003. Mikroenkapsülasyon tekniği ve süt teknolojisindeki kullanım olanakları. *Gıda* 28 (4): 401-407.
- [2] Çakır, İ., 2007. Fonksiyonel gıda bileşenleri ve probiyotiklerde mikroenkapsülasyon uygulamaları. 5. *Gıda Mühendisliği Kongresi*, 08-10 Kasım, Ankara.
- [3] Poncelet, D., 2006. Microencapsulation: fundamentals, methods and applications. *Surface Chemistry in Biomedical and Environmental Science* 23-34.
- [4] Chen, L., Subirade, M., 2007. Effect of preparation conditions on the nutrient release properties of alginate-whey protein granular microspheres. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 65: 354-362.
- [5] <http://www.nanoparticles.org/pdf/Poncelet-Microencapsulation.pdf>.
- [6] Strand, B. L., 2005. Improved alginates for cell encapsulation by the use of enzymatic engineering. (<http://nanoparticles.org/pdf/Strand2-ppt.pdf>).
- [7] Magee, L. E., Olson, N. F., 1981a. Microencapsulation of cheese ripening systems: Formation of microcapsules. *Journal of Dairy Science* 64: 600-610.
- [8] Magee, L. E., Olson, N. F., 1981b. Microencapsulation of cheese ripening systems:

Stability of microcapsules. *Journal of Dairy Science* 64: 616-621.

- [9] Magee, L. E., Olson, N. F., Lindsay, R.C., 1981. Microencapsulation of cheese ripening systems: Production of diacetyl and acetoin in cheese by encapsulated bacterial cell-free extract. *Journal of Dairy Science* 64: 616-621.
- [10] Murano, E., 1998. Use of natural polysaccharides in the microencapsulation techniques. *Journal of Applied Ichthyology* 14: 245-249.
- [11] Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., Desobry, S., 2006. Flavour encapsulation and controlled release-A review. *International Journal of Science and Technology* 41: 1-21.
- [12] Çakır, İ., 2006. Mikroenkapsülasyon tekniğinin probiyotik gıda üretiminde kullanımı. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs, Bolu.
- [13] Gunasekaran, S., 2008. Whey processing, functionality and health benefits: Whey protein hydrogels and nanoparticles for encapsulation and controlled delivery of bioactive compounds. IFT Press, Blackwell Publishing, 227-284.
- [14] Sheu, T. Y., Rosenberg, M., 1998. Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates. *Journal of Food Science* 63 (3): 491-494.
- [15] Lee, S. J., Rosenberg, M., 2000. Whey protein-based microcapsules prepared by double emulsification and heat gelation. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 33: 80-88.
- [16] Moreau, D. L., Rosenberg, M., 1996. Oxidative stability of anhydrous milkfat microencapsulated in whey proteins. *Journal of Food Science* 61(1): 39-43.
- [17] Rosenberg, M., Young, S. L., 1993. Whey proteins as microencapsulating agents. Microencapsulation of anhydrous milkfat—structure evaluation. *Food Structure* 12: 31-41.
- [18] Young, S. L., Sarda, X., Rosenberg, M., 1993a. Microencapsulation properties of whey proteins. 1. Microencapsulation of anhydrous milk fat. *Journal of Dairy Science* 76: 2868-2877.
- [19] Young, S. L., Sarda, X., Rosenberg, M., 1993b. Microencapsulation properties of whey proteins. 2. Combination of whey proteins with carbohydrates. *Journal of Dairy Science* 76: 2878-2885.
- [20] Sheu, T. Y., Rosenberg, M., 1995. Microencapsulation by spray-drying ethyl caprylate in whey protein and carbohydrate wall systems. *Journal of Food Science* 60: 98-103.
- [21] Rosenberg, M., Sheu, T. Y., 1996. Microencapsulation of volatiles by spray-drying in whey protein-based wall systems. *International Dairy Journal* 6: 273-284.
- [22] Rosenberg, M., 1997. Milk derived whey protein-based microencapsulating agents and a method of use. U.S. Patent number: 5: 601.760.
- [23] Keogh, M. K., Q'Kennedy, B. T., 1999. Milk fat microencapsulation using whey proteins. *International Dairy Journal* 9: 657-663.
- [24] Hogan, S. A., McNamee, B. F., O'Riordan, E. D., O'Sullivan, M., 2001. Microencapsulating properties of sodium caseinate. *Journal of Agricultural. Food Chemistry* 49: 1934-1938.

- [25] Pauletti, M.S., Amestoy, P., 1999. Butter microencapsulation as affected by composition of wall material and fat. *Journal of Food Science* 64 (2): 279-282.
- [26] Keogh, M., O'Kennedy, B., Kelly, J., 1999. Stability to oxidation spray-dried fish oil powder microencapsulated using milk ingredients. *Journal of Food Science* 66: 217-224.
- [27] Heidebach, T., Först, P., Kulozik, U., 2009. Microencapsulation of probiotic cells by means of rennet-gelation of milk proteins. *Food Hydrocolloids* 23: 1670-1677.
- [28] Picot, A., Lacroix, C., 2004. Encapsulation of bifidobacteria in whey protein-based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *International Dairy Journal* 14: 505-515.
- [29] Anal, A. K., Singh, H., 2007. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. *Trends in Food Science and Technology* 18: 240-251.
-

## Adaptif Kontrol Sistemleri ve Gıda Endüstrisindeki Bazı Uygulamaları

S. Nur Dirim

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir  
E-posta: nur.dirim@ege.edu.tr

### ÖZET

Bu derleme çalışmasında adaptif kontrol sistemlerinin tanımı ve çalışma prensiplerinin tanıtılması, bunun yanı sıra gıda sanayinde adaptif kontrol uygulamalarına örnekler verilmesi hedeflenmiştir. Adaptif kontrol uygulamalarının değişiminin çok olduğu ve genellikle doğrusal olmayan gıda işleme sistemlerinde de başarıyla kullanılabileceği ve sistem veriminin büyük oranda arttığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Adaptif kontrol sistemi, Proses kontrol, Gıda işleme

### Adaptive Control Systems and Some Applications in Food Industry

#### ABSTRACT

In this review, the definition and basic principles of adaptive control systems and applications of adaptive control to food process industries were explained. Adaptive control systems and their applications are suitable for the systems where variations in system parameters are large and system behaviors are nonlinear. In addition, adaptive control systems present a great potential for the improved efficiencies of these systems.

**Key Words:** Adaptive control system, Process control, Food processing

### GİRİŞ

Günümüzün hızla gelişen endüstrilerinde teknolojik gelişmeler, güçlü rekabet, daha sıkı çevre ve güvenlik kuralları ve hızla değişen ekonomik koşullar ürünlerde istenilen özellikleri belirlemektedir. Gıda işleme sistemlerinin kontrolünde temel hedefler gıda güvenliği, az işlenmiş gıda üretimi, üstün kalite ve verimin minimum maliyetle elde edilmesi olarak sıralanabilir [1]. Tüketici beklentilerinin artması ve gelişen teknolojilerin katkısı da daha karmaşık prosesleri yaratmaktadır. Bu nedenler doğrultusunda tüm diğer teknolojiler gibi gıda işlemede ürünlerin yüksek kalite ve standart formda olmasını sağlamak üzere uygulanan proseslerin kontrolü de önem kazanmaktadır.

Yüksek kalitede ürün elde etmek için, uygun enstrüman seçimi, sistemdeki hataların doğru bir biçimde tespit edilmesi ve hızlı ve doğru kontrol tekniklerinin seçimi önemlidir. Uzun yıllar boyunca geleneksel yöntemlerle kontrol edilen gıda işletmelerine otomatik kontrol sistemlerinin ve akıllı bilgisayar sistemlerinin eklenmesi günümüzdeki ve gelecekteki gelişmenin belirtisidir. Bu sistemlerin kullanılmasını zorlaştıran etkenler ise hammaddenin değişken özellikte olması, yüksek

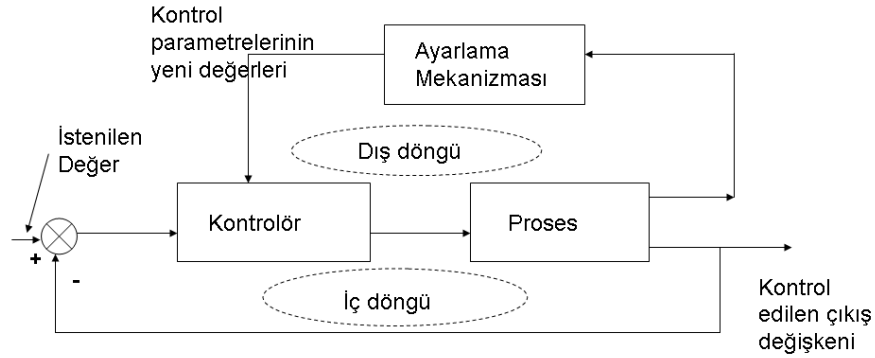
kapasitelerde üretim yapılması, sistem davranışlarının doğrusal olmaması ve zamana bağlı değişimin bulunmasıdır. Kontrol sistemlerinin en gelişmiş şekli olan oransal-türevsel-integral (Proportional-Derivative-Integral, PID) kontrol sistemlerinin dahi yeterli olamadığı durumlarda yapay zeka kuramlarına dayalı gelişmiş kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte gelişmiş kontrol sistemlerinin insan deneyiminin yerini alması gıda endüstrisinde diğer endüstrilere oranla daha yavaş olmaktadır [1].

Adaptif kontrol sistemi, kontrol ettiği prosesdeki değişimlere göre kendi kontrol parametrelerini otomatik olarak değiştiren sistem olarak tanımlanır ve prosesin çalışma koşullarının ya da çevre koşullarının değişmesi sonucunda kontrol sistemindeki ayarlarının sürekli olarak değiştirilmesiyle gerçekleşir. Farklı adaptif kontrol tipleri adaptasyon mekanizma ve şekline göre, seçilen davranış ölçütüne ve ayarladıkları parametrelere göre sınıflandırılırlar. Adaptif kontrolün kullanılmasını gerektiren durumlar; ekipman özelliklerinde değişimler olması (ısı değiştiricilerde birikinti olması, kullanılan katalizörün bozunmaya başlaması gibi), çalışma koşullarında normal olmayan koşulların yaşanması (başlangıç ve bitişteki koşullar ya da bozulmalar gibi),

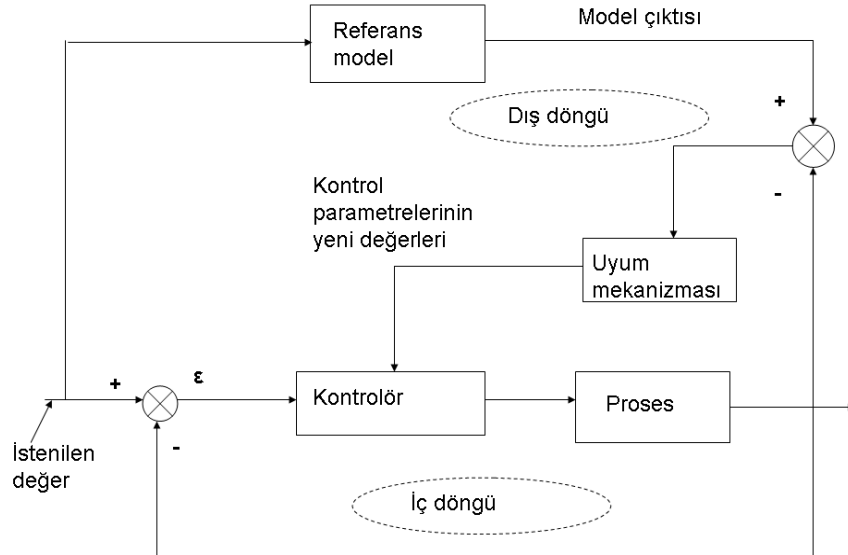
dış etkenlerin sık ve büyük miktarda olması (besleme bileşimi, yakıt kalitesi gibi), ortam koşullarındaki değişimler (günlük değişimler, doğal koşullardaki önemli değişimler gibi), beklenen ürün özelliklerine değişim olması ya da miktarın önemli ölçüde değişmesi ve sistem davranışının doğrusal olmaması olarak sıralanabilir [2]. Proses üzerinde etkili olan her dış etken ve hedeflenen "istenilen değer" değişiminde, sistem çıktılarının model davranışı ve beklenen davranış ile kıyaslanarak modelin güncellenmesi gerektiğinden adaptif kontrol sistemlerinin değişimin büyük miktarda ve sık olduğu, ayrıca ölçülmeyen dış etkenlerin çok olduğu sistemlerde kullanımı uygun değildir.

Adaptif kontrol uygulamasının diğer proses kontrol sistemlerinden farkı, kontrol edilen değişkenin başlangıçta belirlenen "istenilen değer" de sabit tutulması yerine sistemin değişen özelliklerine uygun

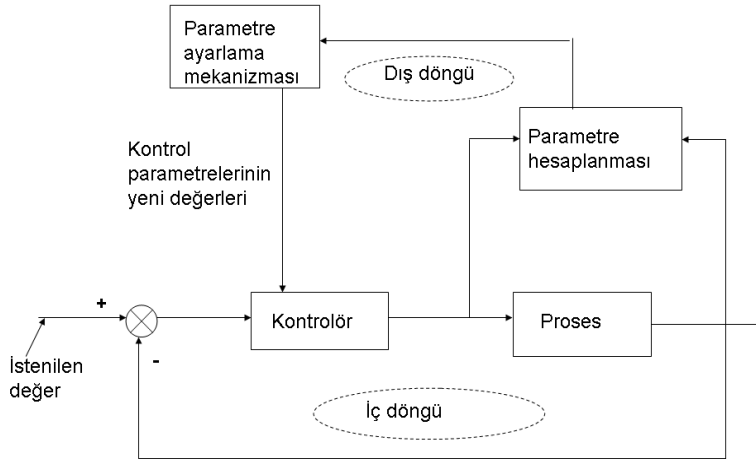
olarak yeni değerler almasıdır. Adaptif kontrol uygulamaları iki farklı mekanizma ile gerçekleşmektedir. 'Programlanabilir adaptif kontrol', davranışı iyi bilinen ve matematiksel modellemesi gerçekleştirilmiş sistemlere uygulanabilir. Şekil 1'de gösterilen bu sistem; sistem davranışını iyi temsil eden ikincil bir değişkenin kontrol edilmesi prensibine dayanır. Böylece sistem üzerinde kontrol gerçekleştirilirken aynı zamanda ikincil değişkenin kontrolü de gerçekleştirilir. 'Kendiliğinden uyarlanabilir adaptif kontrol', davranışı tam olarak bilinmeyen ve hedef fonksiyonun değerinin sürekli hesaplanması gereken sistemlere uygulanabilir. Bu durumda hedef fonksiyonun istenilen koşulda optimize edilmesi için kontrol parametreleri adaptif kontrol mekanizması tarafından değiştirilir. Kendiliğinden uyarlanabilir adaptif kontrol bir referans model kullanılarak (Şekil 2) ya da kendini uyarlayan sistem (Şekil 3) kullanılarak gerçekleştirilir.



Şekil 1. Programlanabilir adaptif kontrol [3]



Şekil 2. Model referanslı adaptif kontrol [3]



Şekil 3. Kendini uyarlayan adaptif kontrol [2, 3]

### GIDA ENDÜSTRİSİNDEKİ BAZI UYGULAMALAR

Adaptif kontrol sistemleri proses veriminin ve ürün kalitesinin artırılması için, gıda endüstrisinde pek çok sürekli ve kesikli sistemde kullanılmaktadır. Zorlamalı konveksiyon tipi fırınlarda yapılmış bir proses kontrol çalışmasında [4] hava sıcaklığındaki değişimlerin fırının ısıtma gücünü etkilemesi üzerinde çalışılmıştır. Bu tür fırınlarda daha önce yapılan çalışmalarda; ette pişirme kaybını en aza indirmek için programlanmış fırın sıcaklığının ürün verimi ve zaman üzerine etkisi, ekme pişirme sırasında havanın sıcaklığı, dolaşım hızı ve neminin ekmeğin kalite kriterleri üzerine etkisi ve bu üç değişimin ısı transfer katsayısı üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalarda karşılaşılan temel sorun değişen gıda maddeleri için fırın performansının belirlenmesi olmuştur. Bu nedenle Unklesbay ve ark. [4] yaptığı çalışmada fırının giriş gücü ve fırın içindeki hava sıcaklığının ilişkisini veren matematiksel model eşitliğinin bulunması ve bu modelin farklı gıdalar için kullanılmasını hedeflemiştir. Sistemde gerçekleşen eşzamanlı ısı ve kütle transferi nedeniyle temel teorik bilgiler ışığında model eşitliğinin bulunması çok karmaşık olacağından deneysel verilerle parametreler bulunarak model geliştirilmiştir. Matematiksel modelin deneysel çalışma ile geliştirilmesi için öncelikle model yapısına karar verilmiş, sistem davranışını doğrudan etkileyen etki (ısıtıcının kullandığı güç miktarı) belirlenmiş ve bu etkinin sistemde oluşturduğu tepki (fırın içindeki havanın sıcaklığı) ölçülerek parametreler tespit edilmiştir. Modellemenin son aşamasında ise modelin doğruluğunun belirlenmesi için sistemden elde edilen verilerle model eşitliğinden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu değerlerin farkı hata olarak tanımlanmış ve hata karelerinin toplamı minimize edilerek model parametreleriyle birlikte bulunmuştur. Modelleme çalışmasının sonunda sistemi temsil eden transfer fonksiyonunun fırının çalıştığı sıcaklık aralığına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca model eşitliğinin deneysel koşulların değişimine karşı esnek olduğu belirtilerek bu esnekliğin çok sayıda değişken olan sistemlerde uygun çalışma koşullarının belirlenmesinde dezavantaj olabileceği, bunun yanı

sıra sistemi en iyi temsil edecek model eşitliğinin geliştirilmesi için deneme koşullarının değiştirilebilmesinin bir avantaj olacağı belirtilmiştir. Bu çalışmada tek girdi-tek çıktı temeline dayanan kontrol kullanılmasına rağmen proses kontrol sistemlerinde önemli bilgiler olan doğrusallık, ölü zaman, sistem zaman sabiti ve sistem değişkeninin dinamik davranışı hakkında bilgi verilmiştir.

Adaptif kontrol uygulamasının geleneksel yöntemlerle kıyaslanmasını hedefleyen bir çalışmada [5] döner kurutucuda ürün neminin kontrolü için adaptif kontrolün yanı sıra PID kontrolle dayalı en gelişmiş geleneksel kontrol yöntemi kullanılmıştır. Döner kurutucularda ısı, kütle ve momentum transferlerinin eşzamanlı olarak gerçekleşmesi ve uzun ölü zaman değerleri olması nedeniyle sistem davranışını veren model eşitliğinin bulunması ve kontrolün gerçekleştirilmesi çok zordur. Modelleme ve kontrol uygulamalarında karşılaşılan zorlukların giderilmesi için adaptif kontrol gibi gelişmiş kontrol yapılarının kullanımı uygundur. Sistem davranışını tanımlayan model eşitliğinin geliştirilmesi amacıyla yapılan bazı varsayımlar; adiyabatik kurutucu, radyal yönde ihmal edilebilir değişim, sabit fiziksel özellikler, konveksiyonun tek ısı transfer mekanizması olması ve ihmal edilebilir basınç düşmesi olarak sıralanabilir. Kontrol çalışmasına temel olacak şekilde katı maddenin nem içeriği kontrol değişkeni, giren havanın sıcaklığı ise girdi değişkeni olarak seçilmiştir. Endüstriyel proseslerde çok sayıda değişken olması ve doğrusal olmayan davranış nedeniyle PID kontrol yapısının verimli olmadığı, parametre ayarlarının sıklıkla tekrar edilmesi gerektiği gözlenmiştir. Sistemin model eşitliğini kontrol algoritması ve parametre hesaplama iç kontrol döngüsü ile geliştiren adaptif kontrol uygulamasında ise PID kontrol sistemine oranla daha az kayıplar ve daha güçlü bir kontrolün elde edildiği gözlemlenmiştir.

Çalışmanın başında da belirtildiği üzere gıda işleme sistemleri çok sayıda değişkenliğe sahip, karmaşık sistemlerdir. Bu sistemlerde insan deneyiminin yerini bilgisayar destekli gelişmiş sistemlerin alması diğer



endüstrilere göre yavaş olmuştur. Karmaşık gıda sistemlerinin kontrolünde bilgisayarların ihtiyaç duyduğu kesin sınırlamalar mümkün olmadığından, dilimize "bulanık mantık" olarak geçen belirsizlikleri ya da deneyime dayalı bilgileri bilgisayara iletmeye yardımcı olan "fuzzy-logic" sistemler kullanılmıştır.

Gıdaların uzun süre saklanabilmeleri için kullanılan yöntemlerden birisi de dondurarak saklamadır. Çileklerin akışkan yataklı dondurucuda dondurulması işleminin kontrolü için adaptif kontrol ve bulanık mantık kontrol sistemleri bir arada kullanıldığı bir çalışma yapılmıştır [6]. Bulanık mantık kontrolün geleneksel adaptif kontrol sistemine eklenmesiyle insan ifadelerinin (yeterli, yetersiz, yüksek, fazla vb.) model eşitliklerine eklenmesi mümkün olmuştur. Böylece belirsizliklere sahip ve gerektiğinde verilen kararlarla insanlar tarafından başarıyla kontrol edilebilen sistemler de otomatik olarak kontrol edilebilmektedir. Riverol ve ark. [6] tarafından yapılan bu çalışmada model referanslı adaptif ve bulanık mantık kontrol sisteminin kullanımıyla dondurma işleminin teorik bilgiler temel alınarak kontrol edilmesi, adaptif kontrol yapısına dayalı bulanık mantık sonuç sisteminin kullanımıyla da kullanıcı beklentilerine göre kendini uyarlayabilen kontrol yapısının oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışmanın deneysel aşamasında sürekli tip akışkan yatak dondurucu kullanılarak ürün donma zamanı, dondurucu ortam sıcaklığı ve relatif rutubet değerleri belirlenmiştir. Model referanslı adaptif kontrol sisteminin kullanıldığı durumlarda işlemin her aşamasında ölçümler yapılması, doğrusal olmayan davranışın ortadan kaldırılması ve proses davranışının zamana bağlı parametreler dışında belirlenmiş olması gerekir. Gerçek sistemlerde bu koşulların tümünün sağlanması mümkün olmadığından bulanık mantık kontrol eşitliklerinin eklenmesiyle sistemin başarıyla modellenmesi sağlanmıştır. Adaptif kontrol yapısına dayalı bulanık mantık sonuç sisteminin kullanımıyla ise tüm değişkenlerin davranışlarını tanımlayan eşitlikler yazılmış ve bu eşitliklerin çözümüyle optimize edilmiş parametreler elde edilmiştir.

Sonuç olarak adaptif ve bulanık mantık kontrol yapılarının bir arada kullanılması sistemin doğrusal olmayan özelliklerini de iyi bir biçimde tanımlamış ve geri beslemeli kontrol sistemiyle kontrol edilen standart üretime oranla daha kaliteli ürün elde edilmiştir. Riverol ve ark. [7]'nin plakalı ısı değiştirici kullanarak süt pastörizasyonu üzerinde yaptığı bir başka çalışmada, model referanslı adaptif ve bulanık mantık kontrol sistemi ve insan düşüncesini taklit etmek amacıyla yapay sinir ağları kullanılmıştır. Çalışmanın amacı endüstriyel süt pastörizasyonu işleminin gerektiği şekilde kontrol edilmesidir. Bu tür kontrol sistemlerinde karmaşık matematiksel modellere ihtiyaç duyulmadığı için sistemde karşılaşılabilecek her türlü yeni durum kolaylıkla kontrol edilecektir. Çalışmanın sonucuna göre sistem davranışının iyi bir şekilde

modellendiği, yapay sinir ağları uygulanacak sistemlerde daha fazla veriye ihtiyaç duyulduğu ve doğrusal davranış göstermeyen pek çok gıda işleme prosesinin bu yöntemle kolaylıkla kontrol edilebileceği belirtilmiştir.

## SONUÇ

Proses koşullarındaki değişikliklerin hedeflenen kontrol parametrelerinin değişimi ile düzenlenmesi anlamına gelen adaptif kontrol, sistemdeki değişimlerin nedeninin bilinmediği, çalışma koşulları içinde modellemeye dayalı tahminlerin yapılamadığı ve bu değişikliklerin sık olduğu sistemler için kullanılabilir. Proses kontrol uygulamalarında kontrolün temel yapısı belirlenirken sistem davranışını veren model eşitliğinin bilinmesi zorunludur. Oysaki uyarlanabilir kontrol sistemlerinde model eşitliklerine gerek duyulmaz ve sistemdeki değişimin doğru belirlenmesiyle kontrol gerçekleştirilebilir. Bu nedenlerle adaptif kontrol uygulamaları yalnız başına ya da diğer gelişmiş kontrol yapılarıyla bir arada kullanılarak endüstriyel işletmelerin verimliliklerini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu derleme çalışmasında yararlanılan kaynaklarda yer alan model eşitlikleri sistemlere özgü olmaları nedeniyle çalışma içinde kullanılmamış, ancak bu eşitliklerin temeli oluşturulan bilgilere yer verilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Linko, S., 1998. Expert systems-what can they do for the food industry? *Trends in Food Science and Technology* 9: 3-12.
- [2] Seborg, D.E., Edgar, T.F., Mellicamp, D.A., 2004. *Process Dynamics and Control*. John Wiley and Sons Inc., USA, 433-435.
- [3] Stephanopoulos, G., 1984. *Chemical Process Control, an Introduction to Theory and Practice*. Prentice-Hall Inc., USA, 431-438.
- [4] Unklesbay, A., Boza-Chacon, A., Unklesbay, N., 1997. Air temperature transfer function of a convection oven. *Food Control* (8): 39-43
- [5] Perez-Correa, J.R., Cubillos, F., Zavala, E., Shene, C., Alvarez, P.I., 1998. Dynamic simulation and control of direct rotary driers. *Food Control* (9): 195-202
- [6] Riverol, C., Carosi, F., Di Sanctis, C., 2004. The application of advanced techniques in a fluidized bed freezer for fruits: evaluation of linguistic interpretation vs. stability. *Food Control* (15): 93-97.
- [7] Riverol, C., Ricart, G., Carosi, F., Di Sanctis, C., 2008. Application of soft control strategies into the dairy industry. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (9): 298-305.