

KÖPÜK HELVA ÜRETİM PARAMETRELERİNİN RENK VE YOĞUNLUK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ: TAGUCHİ MATEMATİKSEL MODEL OPTİMİZASYONU

Mehmet Güldane^{1*}, Mahmut Doğan²

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Pamukova Meslek Yüksekokulu, Sakarya

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri

Geliş / Received: 08.07.2020; Kabul / Accepted: 09.11.2020; Online baskı / Published online: 01.12.2020

Güldane, M., Doğan, M. (2020). Köpük helva üretim parametrelerinin renk ve yoğunluk özelliklerine etkisi: taguchi matematiksel model optimizasyonu. GIDA (2020) 45(6) 1248-1260 doi: 10.15237/gida.GD20089

Güldane, M., Doğan, M. (2020). The effect of process parameters on color and density properties of foam halva: taguchi mathematical model optimization. GIDA (2020) 45(6) 1248-1260 doi: 10.15237/gida.GD20089

ÖZ

Bu çalışmada; kontrol parametrelerinin (protein çeşidi, hidrokolloid konsantrasyonu, hidrokolloid çeşidi ve çırpma sıcaklığı) model köpüklerin yoğunluklarına ve köpük helvaların renklerine etkileri Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. En düşük yoğunluk ve en yüksek L* değerleri için Sinyal/Gürültü oranları Taguchi L₁₆ deney tasarımı (4⁴) kullanılarak saptanmıştır. Analiz sonuçlarına göre; peynir altı suyu protein izolatı (%0.5), saponin (%0.096) ve pektin (%0.05) çözeltisinin 80 °C'de çırpılmasıyla elde edilen model köpüğün en iyi köpürebilen örnek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu örneğin yoğunluk yanıtı Sinyal/Gürültü oranının (13.98 dB) kontrolden (11.49 dB) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Peynir altı suyu protein izolatı (%0.5), saponin (%0.096) ve ksantan gam (%0.1) ile hazırlanan çözeltinin 40 °C'de çırpılmasıyla üretilen model köpük helva ve geleneksel yöntemle üretilen helvanın parlaklıkları arasında istatistiksel açıdan önemli fark bulunmamıştır. Sonuç olarak; saponin içeriği azaltılmış, hedeflenen yoğunlukta ve renkte köpüklerin/köpük helvaların üretilebileceği Taguchi optimizasyon yöntemiyle belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hidrokolloidler, köpürme, saponin, Sinyal/Gürültü oranı, süt proteinleri

THE EFFECT OF PROCESS PARAMETERS ON COLOR AND DENSITY PROPERTIES OF FOAM HALVA: TAGUCHI MATHEMATICAL MODEL OPTIMIZATION

ABSTRACT

In this study, effects of control parameters (protein type, hydrocolloid concentration, hydrocolloid type and mixing temperature) on density response of model foams and color response of model foam halv. Signal/Noise ratio for the lowest density and the highest L* values were obtained using Taguchi L₁₆ experimental design (4⁴). As a result of the analysis, model foam obtained by mixing solution containing whey protein isolate (0.5%), saponin (0.096%) and pectin (0.05%) at 80°C was determined as the best foaming sample. For density response, Signal/Noise ratio of this sample (13.98 dB) was also detected higher than control (11.49 dB). There was no significant difference

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ mehmetguldane@subu.edu.tr

☎ (+90) 264 616 0800

☎ (+90) 264 616 0014

Mehmet Güldane; ORCID no: 0000-0001-7321-0496

Mahmut Doğan; ORCID no: 0000-0003-1639-4641

between the model foam halva produced by whipping the solution (whey protein isolate (0.5%), saponin (0.096%) and xanthan gum (0.1%)) at 40°C and traditional method. Consequently, it was determined that model foams/foam halvass with reduced saponin content and targeted density and color could be produced using Taguchi method.

Keywords: Hydrocolloids, foaming, saponin, Signal/Noise ratio, milk proteins

GİRİŞ

Sürekli bir sıvı faz içerisinde dağılmış halde bulunan değişik boyuttaki gaz baloncuklarının varlığı köpük adı verilen termodinamik olarak stabil olmayan sistemi açıklanmaktadır. Klasik anlamda köpükler; protein, saponin ya da sodyum dodesil sülfat gibi yüzey aktif özellik gösteren maddeleri içeren sıvı karışımların çırpılması veya püskürtülmesiyle elde edilmektedir (Campbell ve Mougeot, 1999; Foegeding vd., 2006; Lazidis vd., 2014). Çırpma veya köpükleştirme işlemiyle katı veya yarı katı matris içinde (sürekli faz) bir gaz fazın küçük baloncuklar şeklinde dağılması sağlanarak gıda materyaline havalandırılmış bir yapı kazandırılmaktadır.

Köpük sistemlerinin özellikleri yüzey aktif maddeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Gıda sanayinde köpük elde etmek amacıyla en çok kullanılan arayüzey stabilizatörü proteinlerdir (Abascal ve Gracia-Fadrique, 2009; Lau ve Dickinson, 2005). Yumurta akı proteinleri en çok tercih edilen köpürtme elemanlarıdır. Son yıllarda, bu proteinlerin yerine kullanılacak alternatif kaynaklarının belirlenmesine yönelik çalışmalar hızlanmıştır. Bu amaçla süt proteinlerinin geleneksel gıda ürünlerinden köpük helvada kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir.

Peynir endüstrisinde bir yan ürün olan peynir altı suyunun (PS) yapısında su, laktoz, protein, tuz ve süt yağı bulunmaktadır. Bu değerli atıklardan protein dışı unsurların çeşitli filtrasyon teknikleri (ultrafiltrasyon, diafiltrasyon, vb.) kullanılarak uzaklaştırılmasıyla ticari PS protein tozları üretilmektedir. Sıcaklığa duyarlı olan PS proteinlerinin köpürme özelliklerinden, bileşiminde en çok bulunan (>%50), β -laktoglobulinin (pI=4.7-5.1) sorumlu olduğu bildirilmiştir (Albano vd., 2019).

Asit kazeinin alkalide çözündürülmesiyle üretilen sodyum kazeinat (Na-KAZ), suda çözünebilmekte ve esnek yapısıyla hava/sıvı

yüzeylerde kolaylıkla konumlanabilmektedir. Asidik koşullarda ve/veya tuzların varlığında bu proteinin köpük özellikleri olumsuz etkilenmektedir (Abd El-Salam ve El-Shibiny, 2020).

Ülkemizde bazı gıda ürünlerinin köpürtülerek yapısına hava katılmasında çöven bitkisinden (*Gypsophila* spp.) elde edilen çöven suyu kullanılmaktadır. Çöven suyunun yapısında şekerler, reçineler ve saponin bulunmaktadır (Battal vd., 2003). Çöven suyunda çok fazla sayıda iyonik/iyonik olmayan saponin tespit edilmiştir (Ulaganathan vd., 2019). Saponinlerin hava/sıvı arayüzeyinde etkin olmasını sağlayan temel unsur hidrofobik ağıllık ve hidrofilik şeker gruplarını içermesidir (Böttcher vd., 2016). Saponinlerin en önemli özelliklerinden birisi sulu çözeltilerinde nisbeten stabil ve sabun benzeri köpük vermeleridir (Çelik vd., 2007).

Geleneksel tatlılarımızdan olan köpük helva üretiminde de çöven suyu kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda (>100 °C) belirli bir kıvama ulaşıncaya kadar kaynatılan şeker şurubu sitrik asit ilavesiyle asitlendirilmektedir. Vakum işlemi uygulanarak soğutulan şuruba çöven suyu ilave edilmektedir. Şeker şurubu/çöven suyu karışımı paletler kullanılarak karıştırılarak geleneksel köpük helva üretilmektedir (Sarıçoban ve Sarıkaya, 2004). Bu helvanın üretiminde çöven suyu ile birlikte yumurta akının da kullanıldığı bilinmektedir. Saponinler ve proteinler arasındaki etkileşimlerin proteinlerin ısı direncini artırdığı ve yüzey/arayüzey özelliklerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Guclu-Ustundag ve Mazza, 2007). Türk Gıda Kodeksi Tahin Helvası Tebliğine göre (Tebliğ No:2015/28); tahin helvasında %0.1'den çok saponin bulunmasına izin verilmemektedir (Anonim, 2015). Bunun nedeni, saponinin 70 kg ağırlığındaki bir yetişkinin vücuduna 0.7 gramdan fazla alınması durumunda toksik etkilerinin bulunmasıdır (Çam ve Topuz, 2018).

Yapısal olarak yüksek kalitede köpük üretiminde süt proteinlerinin kullanılabilmesi çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir. Fakat bu proteinler köpük eldeğinde tek başlarına kullanıldıklarında arzulanan özelliklerde köpük yapısı üretilememektedir. Bundan dolayı, süt proteinlerinin hidrokolloidlerle birlikte kullanılması önerilmektedir (Narchi vd., 2009).

Suda çözündüğünde jel oluşturabilen veya düşük konsantrasyonlarda kıvamlı çözeltiler oluşturan yüksek molekül ağırlığındaki sakkaritler hidrokolloidler olarak sınıflandırılmaktadır. Çok fazla çeşidi olan zamlı yapıdaki maddelerden bitki ve mikrobiyal polisakkaritler ile bunların türevleri gıda sanayinde kullanılmaktadır (Sadahira vd., 2014). Gamlar, genel olarak, yüzey aktif özellikte olmadıklarından hava/su arayüzeyine konumlanma eğiliminde değildirler (Neves vd., 2018).

Protein ve iyonik polisakkaritlerin etkileşimde olduğu sıvı sistemlerde, bir proteinin izoelektrik noktasının (pI) çözelti pH'sından farklı olması biyopolimerler arasındaki etkileşimlerin derecesini belirlemektedir. Gıda proteinlerinin çoğu ($pI_{\text{protein}} \sim 5.0$) iyonik polisakkaritlerle ($pK_{a_{\text{polisakkarit}}} \sim 3.0$) her iki polimerin de zıt yüklü olduğu pH aralığında ($pI_{\text{protein}} < \text{pH} < pK_{a_{\text{polisakkarit}}}$) elektrostatik etkileşime girerek çözünür/çözünmez bileşikler oluşturmaktadırlar (Dickinson, 1998).

Genellikle nötr koşullara yakın pH değerlerinde (pH=6-7) yapılan çalışmalarda; peynir altı protein konsantresi (PASP-K) ve ksantan gam (protein:polisakkarit=(10-25):(0.05-0.15) (Martínez-Padilla vd., 2015), yumurta akı (%0.05) ve pektin/guar gam (protein:polisakkarit=5:(5;0.05;0.1)) (İbanoglu ve Erçelebi, 2007), PASP-K ve ksantan gam/karragenan (protein:gam=4:1) (Liszka-Skoczylas vd., 2014), peynir altı suyu protein izolatu (PASP-İ) ve ksantan gam (protein:gam=20:1) (Narchi vd., 2009), polisakkaritlerin köpürmeyi engelleyerek/geciktirerek köpük yoğunluklarının artmasına neden oldukları belirlenmiştir. Tersine, pH=4'de yapılan çalışmalarda, β -laktoglobulin ve pektin

arasındaki elektrostatik etkileşimler sonucunda oluşan çözünür bileşenlerin köpük özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür (Ganzevles vd., 2006; Girard vd., 2003).

Taguchi tekniği, en az sayıda veriyle optimizasyon imkanı sağlayan eşsiz ve güçlü bir metottur. Bu yöntem kullanılarak deney tasarım maliyetleri azaltılmakta, kalite artırılmakta ve sağlam tasarım çözümleri sunulmaktadır (Ravanfar vd., 2015). Optimum koşulların tahminlenmesinde yararlanılan bu yöntem, hedeflenen üretim parametrelerini etkileyen zayıf unsurların da belirlenmesinde kullanılabilir (Mekonnen vd., 2015). Taguchi yönteminde güçlü bir tasarımda faydalanılan en önemli unsurlar Sinyal/Gürültü (S/N) oranı ve tasarım dizisidir. Deney tasarımı, ürün özelliklerini etkileyen faktörleri aynı deney şablonunda değerlendirirken; S/N oranı, ürün kalitesini bu faktörleri temel olarak ölçmektedir. Yüksek S/N oranı yüksek kaliteli ürünü temsil etmektedir (Roy, 2010).

Bu çalışmada; geleneksel yöntemle üretilen köpük helvadaki çöven suyu miktarının azaltılması ve süt proteini çeşitleri (peynir altı suyu protein konsantresi (PASP-K), peynir altı suyu protein izolatu (PASP-İ), sodyum kazeinat (Na-KAZ) ve demineralize peynir altı suyu proteinleri (D-PASP)), hidrokolloid konsantrasyonu (%0.05, %0.1, %0.15 ve %0.2), hidrokolloid çeşitleri (keçiboynuzu gam (KG), karragenan, pektin, ksantan gam) ve çırpma sıcaklığının (40 °C, 60 °C, 80 °C ve 100 °C) üretim faktörleri olarak kullanıldığı Taguchi optimizasyon yöntemiyle en düşük yoğunluktaki model köpük örneği ve en parlak renge sahip model köpük helvanın üretilmesi için gerekli proses faktör seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Ticari protein tozlarından PASP-K (%80 protein, %5.5 yağ, %14 laktoz, %4 mineral madde, %5 nem) ve PASP-İ (%92 protein, %1 yağ, %3 laktoz, %5 mineral madde, %5 nem) (Laktalis, Fransa), D-PASP (%7.9 protein, %0.67 yağ, %86 laktoz, %4.3 mineral madde, %1.47 nem) (Maybi, Türkiye) ve Na-KAZ (%86.5 protein, %2 yağ,

%0.3 laktoz, %4.5 mineral madde, %5.5 nem) (Alfasol, Türkiye)'den tedarik edilmiştir. Ticari çöven suyu (%6.4 saponin, %13 suda çözünür kuru madde, %9 mineral madde ve %87 nem), keçiyoynuzu gamı, karragenan, pektin, ksantan gam, sitrik asit ve sodyum karbonat (Tito, Türkiye)'den ve şeker (Torku A.Ş., Türkiye) yerel bir marketten temin edilmiştir. Kullanılan diğer kimyasallar analitik standartta olup Sigma (Sigma Chemical Company, MO, ABD) ve Merck (Merck KGaA, Darmstadt, Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

YÖNTEM

Protein ve hidrokolloid çözeltilerinin hazırlanması: PASP-K, PASP-İ ve D-PASP tozlarına distile su, Na-KAZ üzerine fosfat tamponu (pH 7.4) ilave edilerek manyetik karıştırıcıyla (Stuart, CC 162, İngiltere) 2 saat süresince 1500 rpm'de karıştırılarak %10'luk çözeltiler hazırlanmıştır. Bu çözeltiler, polimerlerin tamamen çözünmesi için bir gece boyunca buzdolabında +4 °C'de bekletilerek kullanılmadan önce oda sıcaklığına getirilmiştir (Shen vd., 2017).

Hidrokolloid çözeltileri (%1) uygun sıcaklıktaki distile su ilavesiyle 10 dakika 300 rpm'de ardından 200 rpm'de 2 saat süresince karıştırılmış ve tamamen çözünmeleri için oda koşullarında bekletilmiştir.

Şeker şurubunun hazırlanması: 2 kg toz şeker ve 500 ml distile su karıştırıldıktan sonra mikser (KM070, Kenwood, İngiltere) ile 30 dakika süresince ısıtılıp kaynatılarak asitlendirilmiş ve tamamen çözüldürülerek °Briks değeri refraktometreyle (Reichert AR700, ABD) 85'e ayarlanmıştır. Şeker şurubu 60 °C'nin altına soğutulduktan sonra köpüklerin/köpük helvaların üretiminde kullanılmıştır.

Köpük helva üretiminde kullanılacak sıvı karışımın hazırlanması: Köpük model formülasyonunun belirlenmesinde köpük helva üretimi yapan bir firmadan (Çamlıca Helva, Kütahya) temin edilen üretim reçetesi kullanılmıştır. Üretimde kullanılacak şeker tipi, şeker briksi, çöven suyu miktarı, mikser başlığı ve

hızı, protein tipi ve miktarının seçilmesinde literatür verilerine dayanılarak yapılan ön deneme sonuçlarından yararlanılmıştır.

Beherin (250 ml, İsolab) içerisine Çizelge 2'ye göre sırasıyla çöven suyu (3 ml), %10'luk protein çözeltisi ve gerekli miktarda hidrokolloid ilave edilerek 15 dakika süresince manyetik karıştırıcıda (Stuart, CC 162, İngiltere) 200 rpm'de karışması sağlanmıştır. Toplam çözelti ağırlığı 200 gram oluncaya kadar şeker şurubu (<60 °C) ilave edilerek karıştırılmaya 10 dakika daha devam edilmiştir. Bu işlemde sonra sitrik asit (%5) kullanılarak karışımın pH değeri pH metre ile (WTW, İmolab, Almanya) 4'e, briks değeri refraktometre (Reichert AR700, ABD) ile 70'e ayarlanmıştır.

Kontrol örneğinin üretilmesinde sadece çöven suyu (6 ml) ve şeker şurubu (70 briks, pH 4) kullanılmıştır.

Köpük helvaların üretilmesi: Briks ve pH ayarlamaları tamamlanan sıvı karışımlar mikser kabına (6.7 L) aktarılmıştır. Bu çözeltiler, Çizelge 2'deki Taguchi tasarım verilerine uygun şekilde ısıtma kontrollü mikser (KM070, Kenwood, İngiltere) ile mikser ucu olarak "statik K mikser" kullanılarak ve çırpıcı hızı 158 rpm'e ayarlanarak 15 dakika süresince çırpılmıştır. Kontrol örneğinin üretilmesinde çırpma sıcaklığı 100 °C seçilmiştir. Süre sonunda örneklerin yoğunluk analizleri yapılarak, mikserin ısıtma fonksiyonu sonlandırılıp, çırpma işlemine devam edilmiştir. Köpüklerin yoğunlukları 0.5 g/cm³'e ulaştığında çırpma işlemi sonlandırılarak örneklerin renk (L*) değerleri belirlenmiştir.

Model köpüklerde yoğunluk özelliklerinin belirlenmesi: Çırpma işlemi sonlandırıldıktan hemen sonra çırpma aparatı dikkatlice kaldırılmış ve model köpük örnekleri plastik spatula ile ön tartımı alınmış belirli hacimdeki petri kabına (90mmx17mm, İsolab) doldurulmuştur. Petri kutusunun yüzeyi spatulayla seviyelendirilip tartımlar alınmıştır. Bu işlem toplamda iki dakikayla sınırlandırılmıştır. Örneklerin yoğunluk (Eşitlik 1) değerleri belirlenmiştir (Lau ve Dickinson, 2005; Martínez-Padilla vd., 2015).

$$\text{yoğunluk} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{x \text{ ml köpük ağırlığı}}{\text{silindirik kabın } x \text{ ml' sinin hacmi}} \quad (1)$$

Model köpük helvalarda renk özelliklerinin belirlenmesi: Model köpüklerin 0.5 g/cm^3 yoğunluk değerine ulaşmaya kadar çırpılmasıyla üretilen model köpük helvalar renk ölçüm cihazının (Konica Minolta CR-5, Japan) cam ölçü kabına plastik spatula ile baskı uygulamadan doldurulmuş ve kalibre edilmiş cihazda örneklerin L^* (açıklık-koyuluk) değerleri belirlenmiştir.

Deneyel tasarım: Bu çalışmada arzulan köpük özelliklerinin optimizasyonu amacıyla Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Model parametrelerinin belirlenmesinde aşağıdaki aşamalar uygulanmıştır (Roy, 2010).

1. Köpük helva üretiminde önemli kontrol parametreleri ve seviyeleri ile optimize edilmesi istenen unsurların (yanıtlar) belirlenmesi,
2. Uygun deney tasarımının belirlenerek analizlerin dizideki sıraya göre gerçekleştirilmesi,

3. Deneyel verilerin S/N oranı ve ANOVA testi kullanılarak analiz edilmesi,
4. Kontrol faktörlerinin en ideal seviyelerinin belirlenmesi,
5. Doğrulama deneyleri ile optimum seviyelerin kontrol edilmesi.

Köpük helvalarda, daha açık görünümdeki gıda köpükleri parlak renkleriyle tercih edilmektedir. Ayrıca, endüstriyel uygulamalarda yapısına daha fazla miktarda hava katabilme kabiliyetindeki köpükler istenmektedir.

Bu çalışmada; protein çeşidi, hidrokolloid konsantrasyonu, hidrokolloid çeşidi ve çırpma sıcaklığı kontrol faktörleri olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Her bir faktörün ürün özelliklerine etkisi dört farklı seviyede test edilmiştir. Faktör ve seviyelerin köpük özelliklerine etkilerini belirlemek amacıyla ikiye tekrarlı 32 deney yapılmıştır. Bu deneylerde L_{16} deney tasarımı kullanılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 1. Deneyel tasarım için kontrol faktörleri ve seviyeleri
Table 1. Control factors and levels for experimental design

Faktörler <i>Factors</i>	Sembol <i>Symbol</i>	Seviye 1 <i>Level 1</i>	Seviye 2 <i>Level 2</i>	Seviye 3 <i>Level 3</i>	Seviye 4 <i>Level 4</i>
Protein çeşidi <i>Protein type</i>	A	PASP-K <i>WPC</i>	PASP-İ <i>WPI</i>	Na- KAZ <i>Na-CAS</i>	D-PASP <i>D-WP</i>
Hidrokolloid konsantrasyonu(%) <i>Hydrocolloid concentration(%)</i>	B	0.05	0.1	0.15	0.20
Hidrokolloid çeşidi <i>Hydrocolloid type</i>	C	Keçiyoynuzu gamı (KG) <i>Locust bean gum (LBG)</i>	Karragenan <i>Carrageenan</i>	Pektin <i>Pectin</i>	Ksantan <i>Xanthan</i>
Çırpma sıcaklığı (°C) <i>Mixing temperature (°C)</i>	D	40	60	80	100

PASP-K= Peynir altı suyu protein konsantresi, PASP-İ= Peynir altı suyu protein izolatı, Na-KAZ= Sodyum kazeinat, D-PASP= Demineralize peynir altı suyu proteini
WPC= Whey protein concentrate, WPI= Whey protein isolate, Na-CAS= Sodium caseinate, D-WP= Demineralized whey powder

Çizelge 2. Model köpüklerde/köpük helvalarda yoğunluk ve renk yanıtları deney sonuçları ve S/N değerleri

Table 2. Experimental results and S/N values of density and colour responses in model foams/foam halvaa

Deney No Experiment No	Faktörler Factors				Yanıtlar Responses					
	A	B	C	D	Yoğunluk g/cm ³ Density g/cm ³	Yoğunluk g/cm ³ Density g/cm ³	S/N değerleri S/N values	Renk L* Colour L*	Renk L* Colour L*	S/N değerleri S/N values
1	1	1	1	1	0.23	0.25	12.32	91.43	91.41	39.22
2	1	2	2	2	0.27	0.24	11.83	91.41	91.41	39.21
3	1	3	3	3	0.23	0.22	12.97	91.41	91.41	39.21
4	1	4	4	4	0.37	0.36	8.79	91.37	91.37	39.21
5	2	1	2	3	0.21	0.23	13.07	91.48	91.47	39.22
6	2	2	1	4	0.26	0.24	11.97	91.45	91.44	39.22
7	2	3	4	1	0.30	0.27	10.94	91.31	91.29	39.20
8	2	4	3	2	0.26	0.23	12.20	91.41	91.41	39.21
9	3	1	3	4	0.38	0.40	8.09	90.90	90.89	39.17
10	3	2	4	3	0.38	0.40	8.12	91.39	91.40	39.21
11	3	3	1	2	0.66	0.66	3.58	90.76	90.85	39.16
12	3	4	2	1	0.86	0.86	1.31	91.54	91.35	39.22
13	4	1	4	2	0.92	0.91	0.78	89.04	89.35	39.00
14	4	2	3	1	0.89	0.89	1.00	89.30	89.35	39.01
15	4	3	2	4	0.69	0.69	3.21	88.34	88.36	38.92
16	4	4	1	3	0.67	0.67	3.44	88.14	88.15	38.90

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde S/N oranları dikkate alınmıştır. Sinyal (S) hedeflenen nitelikleri temsil etmekte iken Gürültü (N) deney sonuçlarını olumsuz etkileyen unsurları göstermektedir. S/N oranı; “En büyük-en iyi”, “Nominal-en iyi” ve “En küçük-en iyi” olmak üzere üç kategoride değerlendirilmektedir (Roy, 2010). Model köpüklerin yoğunluklarının optimizasyonunda “En küçük-en iyi” (Eşitlik 3), model köpük helvaların renk özelliklerinin optimizasyonunda ise “En büyük-en iyi” (Eşitlik 2) kullanılmıştır.

“En büyük-en iyi”:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2)$$

“En küçük-en iyi”

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (3)$$

Burada; y_i deneylerden elde edilen verileri, n ise deney sırasını göstermektedir (Silva vd., 2014).

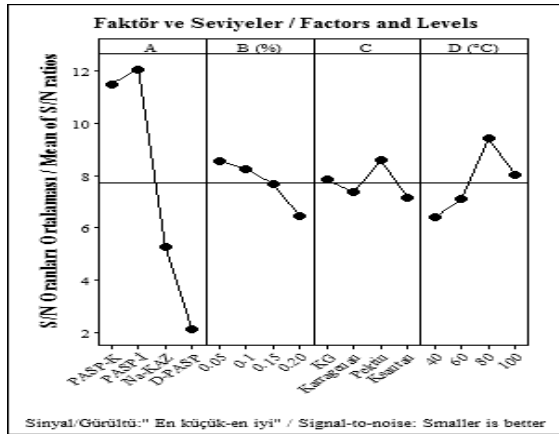
Model köpüklerin yoğunlukları ve model köpük helvaların renkleri üzerinde etkili olan faktörlerin katkı oranını belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) verilerinden yararlanılmıştır. Taguchi yöntemiyle üretim faktörlerinin yoğunluk ve renk yanıtları üzerine etki düzeyleri belirlenirken varyans analizi ile kontrol faktörlerinin optimize edilen özelliğe (yoğunluk ve renk) katkı oranları bulunmuştur (Özakın ve Kaya, 2020).

İstatistiksel analiz: Deneysel verilerin analizinde Minitab yazılımı (versiyon 19.0, ABD) kullanılmıştır. Model köpüklerin ve köpük helvaların üretiminde kontrol parametrelerinin yanıtlar üzerine etkileri varyans analizi (ANOVA) uygulanarak test edilmiştir. Optimum koşullarda üretilen köpük/köpük helva ile geleneksel yöntemle üretilen kontrol örneği yoğunluk ve renk yanıtları S/N oranları arasındaki istatistiki farkın saptanmasında Tukey testi kullanılmıştır. Veriler %95 güven aralığında değerlendirilmiştir.

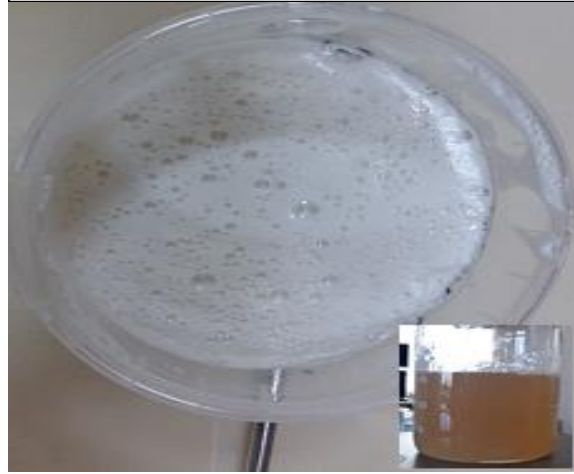
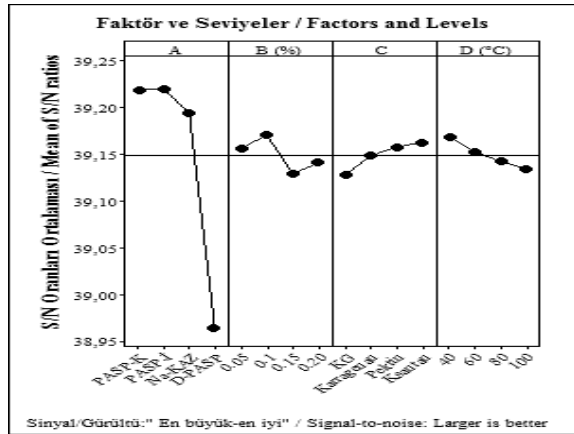
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Model köpüklerde yoğunluk yanıtının optimizasyonu: Model köpüklerin yoğunluk ölçüm sonuçları ve S/N değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Düşük yoğunluktaki köpüklerin hedeflendiği bu çalışmada yoğunluk yanıtına ait S/N oranlarının 0.78 dB ile 13.07 dB arasında değiştiği görülmektedir. Model köpüklerin yoğunluklarında en belirleyici faktörler protein çeşidi (A) ve çırpma sıcaklığı (D) olarak belirlenmiştir. Köpük formülasyonunda

kullanılan gam konsantrasyonunun (B) model ürünün yoğunluğuna etkisi en düşük bulunmuştur (Çizelge 3). Model köpüklerde en yüksek S/N değerine sahip faktör seviyeleri optimum seviye olarak kabul edilmektedir. %0.5 PASP-İ, %0.096 saponin ve %0.05 pektin içeren sıvı karışımın 80 °C’de 15 dakika çırpılması sonucunda en düşük yoğunluk değerine sahip köpük örneğinin üretilebileceği görülmektedir (A₂B₁C₃D₃) (Çizelge 3). Optimum koşullarda üretilen köpük örneğinin görüntüsü Şekil 1a’da verilmiştir.



a



b

Şekil 1a. Model köpüklerde yoğunluk yanıtı S/N oranı grafiği ve model köpük görüntüsü

Şekil 1b. Model köpük helvalarda renk yanıtı S/N oranları grafiği ve model köpük görüntüsü (A= Protein çeşidi, B (%)= Hidrokolloid konsantrasyonu, C= Hidrokolloid çeşidi, D (°C)= Çırpma sıcaklığı); PASP-K= Peynir altı suyu protein konsantresi, PASP-İ= Peynir altı suyu protein izolatı, Na-KAZ= Sodyum kazeinat, D-PASP= Demineralize peynir altı suyu, KG= Keçiyoynuzu gamı)

Figure 1a. S/N ratio graph for density responses in model foams and model foam image

Figure 1b. S/N ratio graph for colour responses in model foam halvas and model foam halva image

(A= Protein type, B (%)= Hydrocolloid concentration, C= Hydrocolloid type, D (°C)= Mixing temperature, PASP-K= Whey protein concentrate, PASP-İ= Whey protein isolate, Na-KAZ= Sodium caseinate, D-PASP= Demineralized whey, KG= Locust bean gum)

Çizelge 3. Model köpüklerde/köpük helvalarda yoğunluk ve renk yanıtları S/N oranları tablosu
 Table 3. S/N ratio table for density and colour responses in model foams/foam halvaa

Seviye Level	Yoğunluk Density				Renk Colour			
	A	B	C	D	A	B	C	D
1	11.48	8.56*	7.83	6.39	39.22	39.16	39.13	39.17*
2	12.05*	8.23	7.36	7.11	39.23*	39.17*	39.15	39.15
3	5.28	7.68	8.57*	9.41*	39,19	39.13	39.16*	39.14
4	2.11	6.44	7.16	8.02	38,96	39.14	39.17	39.13
Fark Delta	9.94	2.13	1.41	3.01	0.26	0.04	0.04	0,03
Sıra Rank	1	3	4	2	1	2	3	4

*Optimal seviyeler

*Optimal levels

Model köpüklerde yoğunluk yanıtı S/N oranı grafiği (Şekil 1a) incelendiğinde, PASP-İ ve PASP-K içeren köpüklerin onbeş dakika süresince yapılarına daha fazla hava katabildikleri belirlenmiştir. Model koşullarında, D-PASP ve Na-KAZ proteinlerinin arayüzey aktivitelerinin daha zayıf olduğu söylenebilmektedir. Bu durumun; D-PASP için protein içeriğinin (%7.4) diğer proteinlerden daha düşük olmasından, Na-KAZ (pI=4.6) açısından ise asidik koşullara duyarlı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Na-KAZ'ın (%0.1) ortamdaki KG veya ksantan gamla etkileşmesi neticesinde (pH 4, protein:gam=10:1) köpürme özelliklerinde azalma gözlemlendiği bildirilmiştir Bunun nedeninin sodyum kazeinatın pH 4'de çözünürlüğünün zayıf olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Walsh vd., 2008).

Model köpüklerde protein:gam oranının azalmasına bağlı olarak yoğunluk yanıtı S/N oranlarının azaldığı saptanmıştır (Şekil 1a). Model köpüklerde gam konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak köpük üretmek için gerekli mekanik enerji artmaktadır. Çırpıcı hızının 158 rpm'de sabit tutulduğu bu çalışmada ortam viskozitesinin artmasına bağlı olarak köpük yapısına daha az havanın hapsedebileceği tespit edilmiştir. Ksantan gam ilavesi model köpüklerin yoğunluklarını olumsuz etkilemiştir (Şekil 1a). Ksantan gamın aynı konsantrasyondaki diğer hidrokoloidlere göre çözelti viskozitesini daha fazla artırdığı bildirilmiştir (Barcelos vd., 2020).

Pektin kullanımıyla daha düşük yoğunlarda köpükler üretilebilmektedir.

Model köpüklerde protein oranının artmasıyla yoğunluk yanıtı S/N oranlarının arttığı görülmektedir. Pozitif yüklü protein ve negatif yüklü polisakaritler arasındaki etkileşimler neticesinde oluşan çözünür bileşiklerin köpük özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir (Benichou vd., 2007; Dickinson, 1998; C.K. Lau ve Dickinson, 2005; Sadahira vd., 2014).

Düşük sıcaklıklardaki kısmi denatürasyon işleminin PS proteinlerinin hidrofobik özelliklerini artırarak hava/su arayüzeyine konumlanmaları için gerekli enerji gereksinimini azalttığı bildirilmiştir (Indrawati vd., 2008; Kim vd., 2005). Bununla birlikte, PS proteinlerinin 80 °C'nin üzerine ısıtılması sonucunda köpürme özelliklerinin olumsuz etkilendiği de belirtilmiştir (Kim vd., 2005; Schmidt vd., 1984). Bu çalışmada, model köpüklerin çırpılması esnasında uygulanan sıcaklık artışına bağlı olarak (80 °C'ye kadar) köpüklerdeki hava oranının arttığı belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıkta (>80 °C) çırpılan köpüklerde proteinlerin hava/sıvı arayüzey etkinliklerinin belirgin şekilde azaldığı sonucuna ulaşılabilmektedir. Ayrıca, model köpüklerde 100 °C'de belirlenen yoğunluk yanıtı S/N oranlarının 40 °C ve 60 °C'dekilerden yüksek bulunduğu görülmektedir. Bunun nedeni, saponinlerin PS proteinleriyle etkileşerek onların ısıl dirençlerini artırması (Guclu-Ustundag ve Mazza, 2007),

ve/veya yüksek sıcaklıklarda köpük oluşumunda daha etkin görev almasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bağlamda, köpük oluşumunun hedeflendiği mikrobiyolojik güvenilirliği önem arzeden ve yüksek sıcaklık uygulamaları gerektiren gıda ürünlerinin (krem şanti, pasta dolguları, vb.) imalatında PS proteinleri ve/veya çöven suyunun kullanılabilirliği düşünülmektedir.

Yoğunluk yanıtı S/N oranları ANOVA verileri incelendiğinde, protein çeşidinin (A) model köpüklerin yoğunlukları üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). Daha az yoğun model köpüklerin üretilmesinde protein tipinin ve çarpma sıcaklığının etki yüzdeleri sırasıyla 84.13 ve 6.04 belirlenmiştir. Polisakkarit tipinin yoğunluk yanıtı S/N oranları üzerindeki etki oranı %1.41 ile en düşük bulunmuştur.

Çizelge 4. Model köpüklerde/köpük helvalarda yoğunluk ve renk yanıtları S/N oranları ANOVA tablosu

Table 4. ANOVA table for S/N ratio of density and colour responses in model foams/foam halvaa

Yanıtlar <i>Responses</i>	Faktörler <i>Factors</i>	Serbestlik derecesi <i>Degree of freedom</i>	Kareler toplamı <i>Sum of squares</i>	Kareler ortalaması <i>Mean of squares</i>	F değeri <i>F value</i>	p değeri <i>p value</i>	Katkı oranı (%) <i>Contribution rate (%)</i>
Yoğunluk <i>Density</i>	A	3	281.4	93.79	15.88	0.024	84.13
	B	3	10.50	3.501	0.59	0.661	3.14
	C	3	4.71	1.569	0.27	0.847	1.41
	D	3	20.22	6.740	1.14	0.458	6.04
	Hata Error	3	17.71	5.905			5.29
	Toplam <i>Total</i>		15	334.5			
Renk <i>Colour</i>	A	3	19.83	6.61	48.48	0.01	93.36
	B	3	0.41	0.14	1.00	0.50	1.93
	C	3	0.30	0.10	0.74	0.60	1.41
	D	3	0.28	0.09	0.69	0.62	1.32
	Hata Error	3	0.41	0.13			1.93
	Toplam <i>Total</i>		15	21.24			

PASP-İ (%0.5), saponin (%0.096) ve pektin (%0.05) içeren şekerli sıvı karışımın 80 °C'de onbeş dakika çarpılmasıyla üretilen optimum formülasyondaki köpüğün yoğunluk yanıtı S/N oranının (13.98^a dB) aynı sürede çarpılan kontrol örneğinden (11.49^b dB) daha yüksek olduğu, aralarında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunduğu belirlenmiştir ($P < 0.05$).

Model köpük helvalarda renk yanıtının optimizasyonu: Model köpük helva örneklerinin renk ölçüm sonuçları ve S/N değerleri Çizelge 2'de görülmektedir. Daha parlak renkte köpük helvaların üretilmesinin hedeflendiği bu

araştırmada renk yanıtı S/N değerleri 38.90-39.22 dB aralığında bulunmuştur. L₁₆ tasarım matrisine göre üretilen köpük helvaların L* değerlerinin protein çeşidi (A) ve gam konsantrasyonundaki (B) değişimlerden daha çok etkilendiği belirlenmiştir. Model koşullarında, renk yanıtı üzerine etkisi en düşük bulunan üretim faktörünün çarpma sıcaklığı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3).

Köpük helvanın rengi için model parametre seviyeleri incelendiğinde, %0.5 PASP-İ, saponin (%0.096) ve %0.1 ksantan gam bulduran karışımın 40 °C'de onbeş dakika çarpılmasıyla L*

değeri en yüksek köpük helvaların üretilebileceği belirlenmiştir ($A_2B_2C_4D_1$) (Çizelge 3). Optimum koşullarda üretilen köpük helva örneğinin görüntüsü Şekil 1b'de verilmiştir.

PASP-K ve PASP-İ kullanılarak üretilen köpük helvaların D-PASP ve Na-KAZ'lı helvalara göre daha parlak renkte oldukları saptanmıştır Yapılan çalışmalarda protein köpüklerinin renkleri ve köpürebilme özellikleri arasında ilişki olduğu bildirilmiştir (Campbell ve Mougeot, 1999). Bu çalışmada, on beş dakikalık sürede yapısına daha fazla hava hapsedebilen örneklerin daha parlak oldukları belirlenmiştir.

%0.1 konsantrasyona kadar ksantan gam veya pektin kullanımının renk gelişiminde etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1b). Protein köpüklerinde iyonik özellikteki gam konsantrasyonu çözünür/çözünmez bileşiklerin oluşumunda önem taşımaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışmada, β -laktoglobulin:pektin oranı 6:1 oluncaya kadar pektin ilavesiyle köpük özelliklerini iyileştiren çözünür bileşenlerin oluştuğu, protein içeriğinin azalmasıyla birlikte yüzey özellikleri zayıf çözünmeyen bileşenlerin meydana geldiği tespit edilmiştir (Ganzevles vd., 2006). Bu çalışmada da, gam oranının artmasıyla (protein:gam<5) yüzey aktiviteleri zayıf çözünmez bileşenlerin oluşumuna bağlı olarak yapıya yeteri kadar hava hapsedilemediğinden L^* değerinin düşük bulunduğu sonucuna ulaşılabilmektedir.

Model köpük helvaların üretiminde çırpma işlemi esnasında uygulanan sıcaklık derecesinin artması renk yanıtı S/N oranlarının azalmasıyla sonuçlanmıştır (Şekil 1b). Yüksek şeker içerikli ortamda, çırpma işlemi süresince uygulanan sıcaklığın artmasıyla indirgen şeker ve proteinler arasındaki etkileşimlerin sonucunda ortaya çıkan Maillard reaksiyon ürünleri nedeniyle ürün parlaklığının azaldığı görülmüştür (Gharbi ve Labbafi, 2019). Bununla birlikte, PS proteinlerine denatürasyon sıcaklığının üzerinde (>70 °C) uygulanan sıcaklık işlemleri neticesinde proteinlerin arayüzey aktivitelerinin azalması da rengi olumsuz etkilemektedir.

Model köpük helvaların L^* değerleri S/N oranları ANOVA tablosuna göre, üretim parametrelerinden protein çeşidinin örneklerin parlaklıklarına %93.36 oranında katkı sağladığı belirlenmiştir. Diğer üretim parametrelerine ait S/N oranlarının helvaların renk özelliğine etki oranları toplamı %5'in altında bulunmuştur (Çizelge 4).

%0.5 PASP-İ, %0.096 saponin ve %0.1 ksantan gam kullanılarak hazırlanan şekerli (70 °Briks) ve asitli (pH 4) çözeltinin 40 °C'de çırpılmasıyla üretilen optimum köpük helva ve geleneksel yöntemle üretilen kontrol helvanın renk ölçüm sonuçları S/N oranları sırasıyla 39.23^a ve 39.24^a dB hesaplanmış olup, aralarında istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır ($P > 0.05$).

SONUÇ

Gıda köpüklerinin üretilmesinde farklı kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla süt proteinlerinin kullanılabilmesi çeşitli araştırmalarla ortaya konulmuştur. Bu proteinlerin belirli koşullarda iyonik özellikteki gamlarla etkileşime girmesiyle köpürme özellikleri iyileşebilmektedir. Ayrıca saponinlerin de proteinlerin köpürme özelliklerini etkiledikleri bilinmektedir. Bu çalışmada; çöven suyu, süt proteinleri ve farklı konsantrasyonlardaki gamlarla hazırlanan şekerli (70 °Briks) ve asitli (pH 4) sıvının 40 °C, 60 °C, 80 °C veya 100 °C'de çırpılmasıyla üretilen model köpüklerin yoğunluklarının ve model köpük helvaların renklerinin optimize edilmesinde Taguchi yöntemi kullanılmıştır. %0.5 peynir altı suyu protein izolatu, %0.096 saponin ve %0.05 pektin kullanılarak hazırlanan sıvı karışımın 80 °C'de onbeş dakika çırpılmasıyla üretilen optimum köpük örneğinin geleneksel yöntemle üretilenden daha iyi köpürebildiği sonucuna ulaşılmıştır. %0.5 peynir altı suyu protein izolatu, %0.096 saponin ve %0.1 ksantan içeren çözeltinin 40 °C'de çırpılmasıyla üretilen model köpük helva ve %0.192 saponin kullanılan kontrol örneğinin parlaklıkları arasında fark bulunmamıştır. Taguchi yöntemiyle optimize edilen yoğunluk ve renk yanıtları dikkate alındığında, şeker içeren (70 °Briks) asitlendirilmiş (pH 4) ortamda yüksek protein içeriğine sahip ticari peynir altı suyu

protein tozlarının ticari pektin veya ksantan gam ile belli oranlarda kullanılmasıyla köpük helva formülasyonundaki saponin miktarının yarı yarıya azaltılabileceği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde katkıları bulunan Erciyes Üniv. Gıda Müh. Bölüm Başkanlığı, Tokat Gaziosmanpaşa Üniv. Gıda Müh. Bölüm Başkanlığına ve Taguchi modelleme konusundaki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Ercan Şenyiğit'e teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Bu makalede yazarların, diğer kişilerin ve kurumların arasında bir çıkar çatışması yoktur.

YAZAR KATKILARI

Tüm yazarlar makalenin yapılmasında, yazılmasında ve yayınlanmasında eşit katkı sağlamışlardır. Yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

KAYNAKLAR

Abascal, D.M., ve Gracia-Fadrique, J. (2009). Surface tension and foam stability of commercial calcium and sodium caseinates. *Food Hydrocolloids*, 23(7): 1848–1852.

Abd El-Salam, M.H., ve El-Shibiny, S. (2020). Preparation and potential applications of casein-polysaccharide conjugates: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(5): 1852–1859.

Albano, K.M., Cavallieri, Â.L.F., ve Nicoletti, V.R. (2019). Electrostatic interaction between proteins and polysaccharides: Physicochemical aspects and applications in emulsion stabilization. *Food Reviews International*, 35(1): 54–89, <https://doi.org/10.1080/87559129.2018.1467442>.

Anonim, (2015). Türk Gıda Kodeksi Tahin Helvası Tebliği (Tebliğ No:2015/28). *Tarım ve Köyişleri Bakanlığı*, Ankara.

Barcelos, M.C.S., Vespermann, K.A.C., Pelissari, F.M., ve Molina, G. (2020). Current status of biotechnological production and applications of microbial exopolysaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(9): 1475–1495,

<https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1575791>.

Battal, H., Sarı, F., ve Velioglu, S. (2003). Çöven Ekstraktı Üretimi Üzerine Bir Araştırma. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(1): 75-84.

Benichou, A., Aserin, A., Lutz, R., ve Garti, N. (2007). Formation and characterization of amphiphilic conjugates of whey protein isolate (WPI)/xanthan to improve surface activity. *Food Hydrocolloids*, 21(3): 379–391.

Böttcher, S., Scampicchio, M., ve Drusch, S. (2016). Mixtures of saponins and beta-lactoglobulin differ from classical protein/surfactant-systems at the air-water interface. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 506: 765–773.

Çam, İ.B., ve Topuz, A. (2018). Production of soapwort concentrate and soapwort powder and their use in Turkish delight and tahini halvah. *J Food Process Eng.*, 41(1): 1–8.

Campbell, G.M., ve Mougeot, E. (1999). Creation and characterisation of aerated food products. *Trends in Food Science and Technology*, 10(9): 283–296.

Çelik, I., Yılmaz, Y., Işık, F., ve Üstün, Ö. (2007). Effect of soapwort extract on physical and sensory properties of sponge cakes and rheological properties of sponge cake batters. *Food Chemistry*, 101(3): 907–911.

Dickinson, E. (1998). Stability and rheological implications of electrostatic milk protein-polysaccharide interactions. *Trends in Food Science & Technology*, 9(10): 347-354.

Foegeding, E.A., Luck, P.J., ve Davis, J.P. (2006). Factors determining the physical properties of protein foams. *Food Hydrocolloids*, 20(2-3): 284–292.

Ganzevles, R.A., Zinoviadou, K., Van Vliet, T., Stuart, M.A.C., ve De Jongh, H.H.J. (2006). Modulating surface rheology by electrostatic protein/polysaccharide interactions. *Langmuir*, 22(24): 10089–10096.

Gharbi, N., ve Labbafi, M. (2018). Effect of processing on aggregation mechanism of egg white proteins. *Food Chemistry*, 252: 126-133.

- Girard, M., Turgeon, S.L., ve Gauthier, S.F. (2003). Quantification of the interactions between β -lactoglobulin and pectin through capillary electrophoresis analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(20): 6043–6049.
- Guclu-Ustundag, Ö., ve Mazza, G. (2007). Saponins: Properties, applications and processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(3): 231–258.
- Ibanoglu, E., ve Erçelebi, E.A. (2007). Thermal denaturation and functional properties of egg proteins in the presence of hydrocolloid gums. *Food Chemistry*, 101(2): 626–633.
- Indrawati, L., Wang, Z., Narsimhan, G., ve Gonzalez, J. (2008). Effect of processing parameters on foam formation using a continuous system with a mechanical whipper. *Journal of Food Engineering*, 88(1): 65–74.
- Kim, D.A., Cornec, M., ve Narsimhan, G. (2005). Effect of thermal treatment on interfacial properties of β -lactoglobulin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 285(1): 100–109.
- Lau, C.K., ve Dickinson, E. (2005). Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. *Food Hydrocolloids*, 19(1): 111–121.
- Lazidis, A., Hancocks, R.D., Spyropoulos, F., Kreuß, M., Berrocal, R., ve Norton, I.T. (2014). Whey protein fluid gels for the stabilisation of foams. *Food Hydrocolloids*, 53:209–217.
- Liszka-Skoczylas, M., Ptaszek, A., ve Zmudziński, D. (2014). The effect of hydrocolloids on producing stable foams based on the whey protein concentrate (WPC). *Journal of Food Engineering*, 129: 1–11.
- Martínez-Padilla, L.P., García-Rivera, J.L., Romero-Arreola, V., Casas-Alencáster, N.B. (2015). Effects of xanthan gum rheology on the foaming properties of whey protein concentrate. *Journal of Food Engineering*, 156: (22-30).
- Mekonnen, T.H., Mussone, P.G., Choi, P., ve Bressler, D.C. (2015). Development of Proteinaceous Plywood Adhesive and Optimization of Its Lap Shear Strength. *Macromolecular Materials and Engineering*, 300(2): 198–209, <https://doi.org/10.1002/mame.201400199>
- Narchi, I., Vial, C., ve Djelveh, G. (2009). Effect of protein-polysaccharide mixtures on the continuous manufacturing of foamed food products. *Food Hydrocolloids*, 23(1): 188–201.
- Neves, I.C.O., de Faria, J.T., Vidigal, M.C.T.R., Fidelis, P.C., Minim, V.P.R., ve Minim, L.A. (2018). Foaming properties of suspensions composed by β -lactoglobulin and polysaccharides, in the presence of sucrose or polyols. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 550: 199–208, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.04.039>.
- Özakın, A.N., ve Kaya, F. (2020). Optimization of Control Parameters Affecting Panel Surface Temperature in Air-Cooled PVT Panels. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(1): 509–519.
- Pernell, C.W., Foegeding, E.A., Luck, P.J., ve Davis, J.P. (2002). Properties of whey and egg white protein foams. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 204(1): 9–21.
- Ravanfar, R., Tamadon, A.M., ve Niakousari, M. (2015). Optimization of ultrasound assisted extraction of anthocyanins from red cabbage using Taguchi design method, 52: 8140–8147.
- Roy, R.K. (2010). *A Primer on the Taguchi method*. 2nd Edition, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, USA, 299 p.
- Sadahira, M.S., Lopes, F.C.R., Rodrigues, M.I., Netto, F.M. (2014). Influence of protein-pectin electrostatic interaction on the foam stability mechanism. *Carbohydrate Polymers*, 103(1): 55–61, <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.11.070>
- Sarıçoban, C., Karakaya, M. (2004). Geleneksel gıdalardan köpük helvanın endüstriyel ölçekte üretimi. *Geleneksel Gıdalar Sempozyumu*, 23-24 Eylül, Van, Türkiye, 104-105s.
- Schmidt, R.H., Packard, V.S., ve Morris, H.A. (1984). Effect of Processing on Whey Protein Functionality. *Journal of Dairy Science*, 67(11): 2723–2733.

Shen, X., Shao, S., ve Guo, M. (2017). Ultrasound-induced changes in physical and functional properties of whey proteins. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(2): 381–388.

Silva, M.B., Carneiro, L.M., Silva, J.P.A., Dos Santos Oliveira, I., Filho, H.J.I., Oliveira Almeida, C.R. (2014). An Application of the Taguchi Method (Robust Design) to Environmental Engineering: Evaluating Advanced Oxidative Processes in Polyester-Resin Wastewater Treatment. *American Journal of Analytical Chemistry*, 5(13): 828–837.

Ulaganathan, V., Del Castillo, L., Webber, J.L., Ho, T.T.M., Ferri, J.K., Krasowska, M., ve Beattie, D.A. (2019). The influence of pH on the interfacial behaviour of Quillaja bark saponin at the air-solution interface. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 176: 412–419.

Walsh, D.J., Russell, K., ve FitzGerald, R.J. (2008). Stabilisation of sodium caseinate hydrolysate foams. *Food Research International*, 41(1): 43–52, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.09.003>.