

Fonksiyonel Gıda Gelişiminde Yenilikçi Yaklaşımlar: Ohmik Isıtma ile Zerdeçalı Yoğurt Üretimi ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi

Innovative Approaches in Functional Food Development: Production and Quality Characteristics of Turmeric Yogurt Using Ohmic Heating

Emrah KARAKAVUK¹, Amine Nur YAŞAR², Havanur DAĞAÇ³, Serdal SABANCI⁴

¹Dr. Öğr. Üyesi; Munzur Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Tunceli, Türkiye, ekarakavuk@munzur.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3199-7205

²Dyt; Munzur Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Tunceli, Türkiye, amineysr1529@gmail.com, ORCID: 0009-0000-2651-8279

³Dyt; Munzur Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Tunceli, Türkiye, dagachavanur@gmail.com, ORCID: 0009-0003-4940-8840

⁴Doç. Dr; Munzur Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Tunceli, Türkiye, serdalsabanci@munzur.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1630-0799

ÖZET

Amaç: Yenilikçi ve fonksiyonel gıda ürünlerinin geliştirilmesi, gıda endüstrisinde giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu çalışma, ohmik ısıtma ve geleneksel yöntemlerle üretilen zerdeçalı yoğurdun üretimi ve kalite özelliklerini incelemektedir. **Gereç ve Yöntemler:** Yoğurt örnekleri, süte %0,5 ve %1 oranlarında zerdeçal ektraktı eklenerek ve ardından 130 V'de ohmik ısıtma veya geleneksel pastörizasyona tabi tutularak üretilmiştir. Elde edilen yoğurt örnekleri, renk (L^* , a^* , b^*), pH, toplam fenolik madde (TPC) miktarı, antioksidan kapasitesi ve hidroksimetilfurfural (HMF) seviyeleri açısından değerlendirilmiştir. **Bulgular:** Zerdeçal ektraktı ilavesinin yoğurdun antioksidan aktivitesini ve fenolik içeriğini önemli ölçüde artırdığını, ohmik ısıtmanın ise daha parlak ve homojen ürünler elde edilmesini sağladığını göstermiştir. Ayrıca, ohmik ısıtmanın besin değerlerini ve duyuşal özellikleri koruma açısından geleneksel yöntemle göre daha yüksek bir verimlilik sunduğu görülmüştür. **Sonuç:** Bu çalışma, sağlık faydalarını artırırken duyuşal özellikleri geliştiren fonksiyonel gıda ürünleri üretiminde ohmik ısıtmanın yenilikçi bir yaklaşım olarak potansiyelini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yoğurt, zerdeçal, ohmik ısıtma, HMF

ABSTRACT

Objective: The development of innovative and functional food products is becoming increasingly important in the food industry. This study examines the production and quality characteristics of turmeric yogurt produced using ohmic heating and conventional methods. **Materials and Methods:** Yogurt samples were prepared by adding turmeric extract to milk at concentrations of 0.5% and 1%, followed by processing with ohmic heating at 130 V or conventional pasteurization. The obtained yogurt samples were evaluated in terms of color (L^* , a^* , b^*), pH, total phenolic content (TPC), antioxidant capacity, and hydroxymethylfurfural (HMF) levels. **Results:** The addition of turmeric extract significantly enhanced the antioxidant activity and phenolic content of the yogurt. Ohmic heating was found to produce brighter and more homogeneous products. Additionally, ohmic heating demonstrated greater efficiency compared to the conventional method in preserving nutritional values and sensory attributes. **Conclusion:** This study highlights the potential of ohmic heating as an innovative approach in the production of functional food products that enhance health benefits while improving sensory characteristics.

Keywords: Yoghurt, turmeric, ohmic heating, HMF

Corresponding Author: Emrah KARAKAVUK

Munzur Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Tunceli, ekarakavuk@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-3199-7205

Peer review under responsibility of Munzur Health Science Journal

Received: 20.12.2024

Revised: 29.12.2024

Accepted: 30.12.2024

Available Online: 17.01.2025

Cite this article as: Karakavuk E et al. Innovative approaches in functional food development: production and quality characteristics of turmeric yogurt using ohmic heating. Munzur Health. Sci. J. 2025;1(1):1-13

GİRİŞ

Gıda endüstrisinde sağlık ve lezzeti bir araya getiren yenilikçi ürünler geliştirme çabası her geçen gün artmaktadır. Tüketicilerin doğal ve fonksiyonel özelliklere sahip gıdalara yönelmesi, araştırmacıları bu alanda çalışmaya teşvik etmektedir (1). Yoğurt, binlerce yıllık geçmişiyle hem besleyicilik hem de fonksiyonel özellikleri açısından ön plana çıkan bir süt ürününün başındadır. Süt ve süt ürünleri, içerdiği yüksek kaliteli protein, vitaminler, mineraller ve probiyotikler ile sağlıklı bir diyetin önemli bir parçası olarak dikkat çekmektedir (2). Yoğurt, içerdiği laktik asit bakterileri sayesinde sindirim sistemini desteklerken bağışıklık sistemini güçlendiren probiyotik özelliklere de sahiptir. Ayrıca düşük kalorili ve yüksek besin değerine sahip olması nedeniyle sağlıklı bir yaşam tarzını desteklemektedir (3).

Zerdeçal (*Curcuma longa*), geleneksel tıpta sıklıkla kullanılan, sağlık açısından çok sayıda faydası olan bir bitkinin başında gelmektedir. Zerdeçalın temel biyoaktif bileşeni olan kurkumin, güçlü antioksidan ve anti-inflamatuvar özelliklere sahiptir. Kurkuminin, kanser, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve nörodejeneratif hastalıklar gibi birçok sağlık problemi üzerinde olumlu etkileri olduğu bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır (4-5). Ayrıca zerdeçal, doğal bir renklendirici olarak gıda ürünlerinde kullanılmaktadır ve gıdaların görselliğini artırarak tüketici çekiciliğini de sağlamaktadır. Günümüzde zerdeçal gibi fonksiyonel gıda bileşenlerinin yoğurt gibi geleneksel ürünlerle birleştirilmesi, gıda endüstrisinde yeni bir trend haline gelmiştir (6). Bu kombinasyonlar hem besleyicilik değerlerini artırmakta hem de tüketicilere farklı tat ve aromalar sunmaktadır. Ancak bu tür ürünlerin fiziksel, kimyasal ve duyuşsal özelliklerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi, geliştirme sürecinde kritik bir öneme sahiptir (6-7).

Ohmik ısıtma işlemi iki elektrot arasında bulunan sıvı, yarı sıvı ve katı üründen alternatif akım geçirilerek ısınma prensibine dayanmaktadır. Ürün içerisine geçen alternatif akım üründe ısı jenerasyonu meydana gelmesini sağlamak ve ürün ısınmaktadır (8). Ohmik ısıtma işlemi güncel bir yöntem olmasına rağmen pek çok gıda uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır. Bunların başında ısıtma pastörizasyon (9), ekstraksiyon (10), evaporasyon (11), kurutma (12), çözündürme (13, 14) vb. uygulamalar gelmektedir. Ohmik ısıtma işlemi mevcut çalışmada sabit voltaj gradyanında 90°C de 5 dakika uygulanacak ve elde edilen süt örneğinden yoğurt üretiminin yapılması planlanmıştır. Yazarların bilgisi dahilinde ohmik ısıtma işlemi kullanılarak zerdeçalı yoğurt üretimine rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, geleneksel yöntem ve ohmik ısıtma yöntemiyle üretilen zerdeçal ekstraktı yoğurtların fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır. Zerdeçal ekstraktı ilavesinin yoğurt üzerindeki etkileri analiz edilerek, gıda teknolojisinde yenilikçi yaklaşımlar sunan bu uygulamanın yeni bir ürün potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Çalışmada kullanılan zerdeçal ve süt örnekleri yerel bir marketten (Tunceli, Merkez) temin edildi ve süt örnekleri Munzur Üniversitesi Besin Kimyası Laboratuvar +4 °C’de depolandı. Ayrıca yoğurt üretiminde kullanılacak zerdeçal (baharatı) da serin karanlık bir ortamda saklandı. Örneklere sırasıyla sütün ısıtılarak yoğurt üretiminin yapılması, ekstraksiyon eldesi işlemleri uygulanmıştır. Bu işlemler detaylı bir şekilde aşağıda verilmiştir.

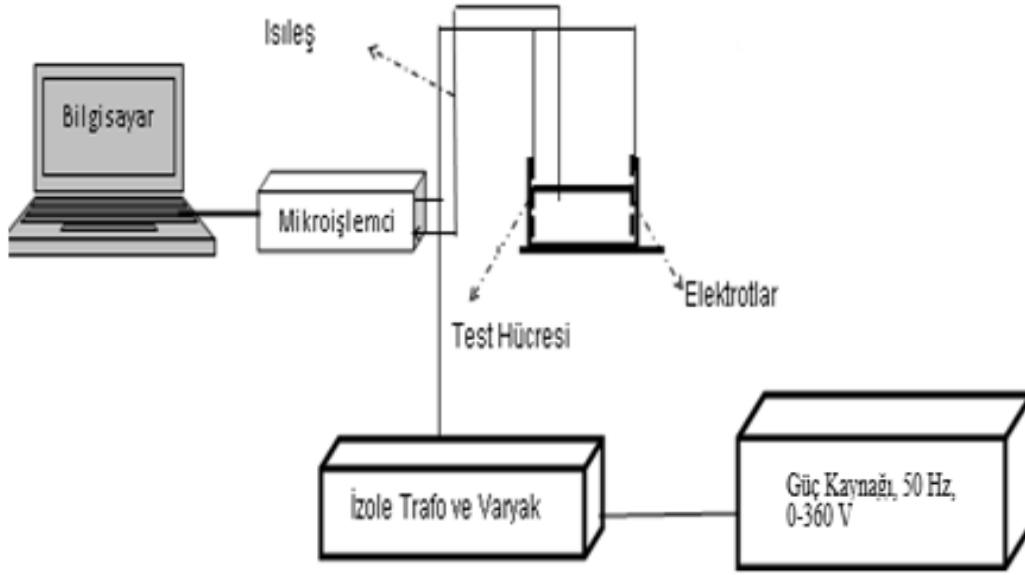
Yöntem

Ekstrakt Eldesi

Yerel marketten alınan zerdeçaldan 10 gram zerdeçal örneği behere alındı ve üzerine 100 ml su eklenerek çalkalandıktan sonra 40°C’de 6 saat çalkalandı maserasyon işlemine tabi tutulmuştur. Ekstraksiyon işlemi sonucunda 15 dakika santrifüj edilmiştir.

Sütün ısıtılması

Ohmik ısıtma işlemi bilgisayar, güç kaynağı, test hücresi, elektrot ve T-tipi ısı eşten oluşmaktadır. İşlem sırasında akım, voltaj ve sıcaklık takibi yapabilmek amacıyla saniyede bir özel yapım kapalı devre mikroişlemci ile kayıt altına alınmıştır (Şekil 1). Ohmik sistemin kullanılan test hücresi polioksümetilenden kullanılırken elektrot olarak titanyum tercih edilmiştir. Ohmik ısıtma işlemi için 130 V sabit voltaj gradyanı kullanılırken 350 ml süt örneği ısıtma işlemi uygulanmıştır. Geleneksel ısıtma işleminde ise ohmik ısıtma işlemi yerine elektrikli ısıtıcı kullanılmış ve aynı ısıtma prosedür uygulanmıştır.



Şekil 1. Ohmik Isıtma İşleminin Şematik Görünümü

Yoğurt Üretimi

Geleneksel ve ohmik ısıtma ile sütler 90 °C’de 5 dk boyunca ısıtıldı. Daha sonra sütler ayrı ayrı mezüre 100 ml konulup 100 ml’lik beherlere paylaştırıldı. 100 ml’lik beherler soğuk su banyosuna bırakıldı ve mayalanması için 45°C’ye gelmesi beklendi. Beher içindeki sütlerin sıcaklığı düzenli olarak ölçüldü. Sütler mayalama sıcaklığına gelirken maya hazırlanmaya başlandı. Bu işlemden sonra yerel marketten temin edilen maya yöntemine göre hazırlanıp aktive edildi. Maya da 100 ml’lik beherlerin olduğu su banyosuna konuldu 5-10 dakika bekletildi. Bu sırada sıcak su banyosundaki maya örneği düzenli aralıklarla karıştırılarak çözünmesi sağlandı. Ekstraktı elde edilen zerdeçal örneği muhafaza edildiği +4 °C’den alındı.

İki yöntemle de ısıtılan 45 °C’ye soğutulmuş sütlere öncelikle %1 ve %0.5 oranında zerdeçal ilave edildi. Kontrol olarak ekstrakt ilave edilmemiş kullanıldı. Daha sonra 100 ml sütlere 3 ml maya ilave edildi ve kaşık yardımıyla karıştırıldı. Sonra mayalanan süt örnekleri inkübasyon için 45 °C’de 8 saat inkübatöre bırakılarak yoğurt üretimi yapıldı. Sonra üretilen yoğurtlar +4 °C’de 24 saat bekletilerek yoğurt üretimi tamamlandı. Tüm örnekler 3 paralel olarak üretildi.

Renk

Farklı zerdeçal ekstrakt oranlarından elde edilen yoğurt örneklerinin renk ölçümleri (L^* , a^* , b^*) oda sıcaklığında Konica Minolta, CR-400, Japonya renk ölçüm cihazı ile yapıldı.

pH Değerinin belirlenmesi

Yoğurt örneklerinin pH değerleri pH metre (Termo Scientific, Orion3Star, Singapur) kullanılarak tespit edilmiştir.

Antioksidan Analizi

Antioksidan miktarını belirlemek amacıyla Mercan, Sert, Karakavuk, Akın (2018) belirtilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır (15). 1 ml yoğurt örneği tüplere alınarak 2,9 ml DPPH çözeltisi eklenerek karıştırılmıştır. Elde edilen karışım karanlık bir ortamda 30 dakika bekletilmiştir. Daha sonra UV spektrofotometresinde (UV-1800, Shimadzu, Japonya) 517 nm dalga boyunda metanole karşı ölçümler yapılmıştır. Sonuçlar mg askorbik asit eşdeğerliği olarak verilmiştir.

Toplam Fenolik Madde Analizi

Toplam fenolik madde içeriği spektrofotometrik yöntemle göre belirlenmiştir (16). Burada 75 ml saf içerisinde uygun dilüsyonda 1 ml ekstraktlı yoğurt ilave edilecek ve 10 ml doymuş NaHCO₃ ilave edilerek 100 ml tamamlanacaktır. Elde edilen çözelti karanlıkta 1 saat bekletilecek ve 720 nm ölçüm yapılacaktır. Elde edilen absorbans değeri standart eğri kullanılarak tespit edildi ve çıkan sonuçlar gallik asit eşdeğerliği olarak verildi.

HMF Miktarının Belirlenmesi

5 ml yeterli SÇKM içeriğine kadar seyreltilmiş yoğurt örnekleri 0.50 ml Carez I ve Carez II çözeltisi ilave edilmiştir. Daha sonra bulanık örnek 6000 rpm'de santrifüj edilerek 0.45 µm şırınga filtresi ile filtre edilmiştir. Filtre edilen örnekler HPLC viallerine alınıp ve örnekler HPLC (Schimadzu LC 20A, Japonya) cihazına enjekte edilmiştir. C18 kolon (250x4mm ID) (Supelco Ascentis) kolonuna (kolon sıcaklığı 25°C) mobil faz olarak %1 asetik asit içeren ultrasaf su ve asetonitril (95:5) kullanılarak 10 µL örnek enjekte edilmiştir. DAD dedektörü kullanılarak 284 nm'de analiz yapılmıştır.

İstatistiksel Değerlendirme

Sonuçların istatistiksel değerlendirmesinde SPSS 16.0 (SPSS, 2007) paket programı kullanılmıştır. 2 farklı yöntem ve 3 farklı voltaj gradyanının etkileri arasındaki farklılıklar, Tamamen Rastgele Deneme Desenine göre, tek yönlü varyans (post hoc testleri) analizi ile belirlenmiştir. Güven seviyesi %95 alınmıştır.

BULGULAR

Yapılan çalışmada yoğurt üretiminde kullanılan süte zerdeçal ekstraktı ilavesi ve ohmik ısıtma işleminin etkisi incelenmiştir. Buna göre süte %0.5 ve %1 oranında zerdeçal ekstresi ilave edilmiş ve sonra bu sütler ohmik ısıtma yönteminin (130 V) ve geleneksel yöntemde pastörize edilerek yoğurt üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen yoğurtların renk değerleri (L^* , a^* ve b^*), pH, briks, HMF miktarı, antioksidan kapasitesi ve toplam fenolik madde miktarı değerleri tabloda verilmiştir.

Tablo 1. Ohmik ısıtma yöntemi ile ısıtılmış zerdeçal ekstraktı ilave edilmiş yoğurtların biyokimyasal özellikleri

	Ohmik %1	Ohmik %0.5	Ohmik Kontrol	Geleneksel %1	Geleneksel %0.5	Geleneksel Kontrol
L^*	82.7 ^b	82.81 ^a	82.78 ^{ab}	82.47 ^c	82.51 ^c	82.49 ^c
a^*	-3.3 ^c	-2.88 ^b	-2.43 ^a	-3.33 ^d	-2.91 ^b	-2.49 ^a
b^*	8.07 ^a	7.03 ^c	6.09 ^d	8.06 ^a	7.12 ^b	6.06 ^d
ph	4.32 ^b	4.30 ^{bc}	4.29 ^c	4.38 ^a	4.36 ^a	4.35 ^a
brix	13.4 ^a	13.59 ^a	13.8 ^a	13.93 ^a	13.46 ^a	13.6 ^a
TPC (mg GAE 100 g)	450.87 ^a	412.4 ^b	362.8 ^c	405.78 ^b	445.39 ^c	326.52 ^d
Antioksidan Aktivite ($\mu\text{mol AAE}/100\text{ g}$)	541.04 ^a	494.88 ^b	435.36 ^c	486.94 ^b	445.39 ^c	391.82 ^d
HMF (mg/100 ml)	13.67 ^c	18.68 ^b	23.29 ^a	15.4 ^c	20.55 ^b	25.62 ^a

*Her satırda harf farklılığı istatistiksel olarak önemliliği göstermektedir ($p < 0.05$).

Renk Özelliklerinin Belirlenmesi

Zerdeçalı yoğurt örnekleri alınarak alınan örneklerin renk değerleri tabloda verilmiştir. Buna göre hammaddenin renk değerleri olan L^* , a^* , b^* değerleri belirlenmiştir.

L* Değeri

Yapılan çalışmada geleneksel yöntemle üretilen yoğurtlara zerdeçal ekstraklı ilavesi L* değeri üzerine önemli bir etki göstermemiştir ($p>0.05$). Ancak ohmik ısıtma ile yapılan zerdeçal ekstraklı yoğurtların geleneksel yönteme göre parlaklık değerleri önemli lde artmıştır ($p<0.05$).

a* Değeri

Yoğurt rneklerinin a* değerleri incelendiğinde zerdeçal konsantresi arttıkça a* değerinde düşme görülmüştür ve istatistiksel olarak fark anlamlıdır ($p<0.05$). Ohmik ısıtmanın ise a* değerine önemli bir etkisi görülmemiştir ($p<0.05$).

b* Değeri

Ohmik ısıtma ve geleneksel ısıtma yöntemleri arasında süt üzerindeki b* değeri (sarı tonları) bakımından belirgin bir fark gözlemlenmiştir. Verilere göre, ohmik ısıtma yöntemi, geleneksel yönteme kıyasla daha yüksek b* değerleri üretmiştir. Bu durum, ohmik ısıtmanın hızlı ve homojen bir ısıtma sağlama yeteneği ile ilişkilendirilebilir.

pH Değerinin Belirlenmesi

Yapılan çalışmada yoğurt örneklerinin pH değeri tabloda verilmiştir. Geleneksel ve ohmik ısıtma yöntemlerinin de zerdeçal konsantrasyonu arttıkça pH'ının yükseldiği tespit edilmiştir. Ancak geleneksel ısıtma yönteminde yükselme istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmemişken, ohmik ısıtma yönteminde istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Toplam Fenolik Madde (TPC) Miktarı ve Antioksidan Aktivite

Yoğurt rneklerinin toplam fenolik madde miktarı zerdeçal konsantrasyonu arttıkça önemli oranda artmıştır. Ohmik ısıtma yöntemi ile üretilen yoğurtların TPC miktarı geleneksel olanlara göre yüksek bulunmuştur ($p<0.05$).

HMF Miktarının Belirlenmesi

Yapılan çalışmada yoğurt rneklerinin HMF miktarı tabloda verilmiştir. Her iki ısıtma yönteminde de zerdeçal konsantrasyonu arttıkça HMF miktarı istatistiksel olarak önemli oranda düşmüştür ($p<0.05$). Ancak ısıtma yönteminin HMF miktarı üzerine bir etkisi tespit edilmemiştir ($p>0.05$).

TARTIŞMA

***L** Değeri**

Coşkun, Albayrak, Helal, Dhyaa, Öztürk (2024) yaptıkları çalışmada kefir örneklerine zerdeçal eklemiş ve zerdeçal konsantrasyonu arttıkça *L** değerinin düştüğünü belirlemiştir (17). Ohmik ısıtma ile yapılan yoğurt örneklerinin daha parlak olduğu tespit edilmiştir. Parmar, Singh, Meena, Borad, Raju (2018) yılında yaptığı çalışmada sütleri ohmik yöntemle konsantre etmiş ve geleneksel yöntemle göre daha yüksek *L** olduğu tespit etmiştir (18). Ariç Sürme yaptığı çalışmada süt örneklerinin konsantrasyonunda voltaj gradyanı arttığında ürünlerin *L** değerinin yükseldiğini tespit etmiştir (19).

***a** Değeri**

*a** değeri artışı (+) tarafta kırmızılığı gösterirken (-) tarafta yeşilliği ifade eder. Coşkun, Albayrak, Helal, Dhyaa, Öztürk (2024) yaptıkları çalışmada kefir örneklerine zerdeçal eklemiş ve zerdeçal konsantrasyonu arttıkça *a** değerinin düştüğünü belirlemiştir (17). Ak, Karakavuk, Göksu, Sabancı (2024) yulaf sütünde yaptıkları çalışmada 12 V/cm'de yaptıkları ohmik ısıtma ile geleneksel arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmadığını tespit etmişlerdir (20).

***b** Değeri**

Rhim ve ark. (1988), homojen ısıtmanın protein denatürasyonu ve Maillard reaksiyonlarını tetikleyerek sarı tonlarının artmasına yol açabileceğini bildirmiştir (21). Ayrıca, Burton (1955), ısıtma süresi ve sıcaklığının Maillard reaksiyonlarının hızını etkilediğini ve bunun gıdanın renk değişimi üzerinde doğrudan bir etkisi olduğunu belirtmiştir (22). Ohmik ısıtmada elektrik akımı ile homojen ısı transferi sağlanırken, geleneksel yöntemlerde ısının yüzeyden merkeze doğru ilerlemesi, renk değişiminin daha az belirgin olmasına neden olabilir. Morales ve Jiménez-Pérez (1999) ise uzun süreli ısı işlemlerinin, özellikle HMF ve diğer renkli bileşiklerin oluşumuna yol açarak sarı tonlarının artmasını desteklediğini rapor etmişlerdir (23). Bu bağlamda, ohmik ısıtmanın, kontrollü renk değişimi sağlamak ve süt ürünlerinin görsel kalitesini artırmak için etkili bir yöntem olduğu söylenebilir.

pH Değerinin Belirlenmesi

Coşkun, Albayrak, Helal, Dhyaa, Öztürk (2024) yaptıkları çalışmada zerdeçalı kefir örneklerinde konsantrasyon arttıkça pH'nın arttığını tespit etmişlerdir (17). Konsantrasyon sırasında pH değerindeki düşüş, laktozun organik asitlere, özellikle formik aside, ayrışması; çözünür kalsiyum fosfatın koloidal kalsiyum fosfata dönüşmesi ve kazeinin defosforilasyonu

ile açıklanabilir (24). Parmar, Singh, Meena, Borad, Raju (2018) yaptıkları çalışmada işlem yöntemi değişince pH 'da değişme olduğunu belirtmiştir (18).

Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivite

Zerdeçal fenolik madde miktarınca zengin bir besin olup yapılan bir çalışmada 6.3 mg GAE/g olarak tespit edilmiştir (24). Ak, Karakavuk, Göksu, Sabancı (2024) yılında yaptıkları çalışmada 12 V/cm de ürettikleri yulaf sütünde TPC ve antioksidan aktiviteyi sırasıyla 54.85 mg GAE/100 g ve 27.07 μ mol AAE/100 g geleneksel yöntemde ise 51.37 mg GAE/100 g ve 29.55 μ mol AAE/100 g olarak tespit etmiş ve ohmik ısıtmanın konvensiyel ısıtmaya göre daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmiştir (20). Sabancı (2020), üzüm suyunu ohmik ısıtma yöntemiyle 13 V/cm voltajında ısıttığını ve ısıtma süresi arttıkça toplam fenolik içerik miktarının azaldığını belirtmiştir (25). Antioksidan aktivitenin korunması, literatüre uygun olarak, ısıtma süresi azaldıkça ve voltaj gradyanı arttıkça tutarlıdır (26- 27).

HMF Değerinin Belirlenmesi

HMF, süt dahil olmak üzere şeker ve protein içeren birçok gıda maddesi için ısı işleminin şiddetini gösteren bir belirteç olarak kabul edilmektedir (23). Maillard reaksiyonu sırasında oluşan toksikolojik etkiler gösteren birkaç ara bileşikten biridir (hidroksimetilfurfural, karboksimetillizin ve akrilamid) (28). HMF içeriği, gıda partiküllerine uygulanan ısı işleminin derecesini gösterir. Farklı yağ içeriklerine sahip ticari süt örneklerinde toplam HMF içeriği, pastörize sütler için 0.95–2.14 μ M/L, direkt UHT işlem görmüş sütler için 3.46–5.75 μ M/L ve sterilize sütler için 15.52–21.38 μ M/L arasında değişmektedir (23).

SONUÇ

Bu çalışma, zerdeçal ekstraktı ilavesi ve ohmik ısıtma yönteminin yoğurt üretimi üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, ohmik ısıtma yönteminin, geleneksel yöntemlere kıyasla daha üstün sonuçlar sağladığını göstermiştir. Zerdeçalın içerdiği fenolik bileşikler ve antioksidan özellikleri, yoğurt üretiminde kullanıldığında ürünün biyokimyasal ve duyusal özelliklerini iyileştirmiştir. Ohmik ısıtma yöntemi, homojen bir ısı dağılımı sağlaması nedeniyle ürünün renk, pH, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi gibi özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir. Bunun yanı sıra, ohmik ısıtmanın hızlı bir ısıtma işlemi sunması, besin değerlerinin korunmasında önemli bir avantaj sağlamıştır. Geleneksel yöntemle üretilen yoğurtlarda ise zerdeçalın olumlu etkileri gözlemlenmiş olsa da, ohmik ısıtma yöntemiyle elde edilen ürünlerin daha parlak renkler, daha yüksek fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi gibi üstün özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuçlar, ohmik ısıtma yöntemi ile üretilen yoğurtların daha kaliteli ve besleyici olduğunu açıkça göstermektedir. Zerdeçal ilavesi, yoğurtların sağlık açısından değerini artırırken, bu kombinasyon gıda teknolojisinde yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Zerdeçalın doğal bir renklendirici olarak kullanımı, tüketici çekiciliğini artırmakta ve bu ürünlerin pazar potansiyelini güçlendirmektedir. Ayrıca, zerdeçalın fenolik bileşenlerinin sağlık üzerindeki olumlu etkileri, bu tür ürünlerin fonksiyonel gıda kategorisinde değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte bu çalışmanın bulguları, sadece yoğurt üretimi ile sınırlı kalmayıp, diğer süt ve gıda ürünlerinde de benzer uygulamaların başarılı bir şekilde uygulanabileceğine işaret etmektedir.

Bu araştırma, gıda endüstrisinde yenilikçi teknolojilerin önemini bir kez daha vurgulamaktadır. Ohmik ısıtma yöntemi hem enerji verimliliği hem de ürün kalitesi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Gıda ürünlerinin kalite parametrelerini optimize etmenin yanı sıra, enerji tüketimini düşürme potansiyeli, bu yöntemin endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğini artırmaktadır. Ayrıca ohmik ısıtma yöntemiyle zerdeçalı yoğurt üretiminin sağlık odaklı tüketici grupları için oldukça cazip bir seçenek sunduğu düşünülmektedir.

Bu bağlamda gelecekte yapılacak çalışmalar, ohmik ısıtmanın daha geniş bir ürün yelpazesinde uygulanabilirliğini araştırmalı ve bu yöntemin farklı bitkisel ekstraktlarla kombinasyonlarını incelemelidir. Tüketici kabulünü değerlendirmek için kapsamlı duyu analizi çalışmaları yapılmalı ve bu tür ürünlerin pazar performansı analiz edilmelidir. Ayrıca, ohmik ısıtma teknolojisinin ekonomik yönleri üzerinde daha fazla durulmalı ve enerji tüketimi ile maliyet etkinliği detaylı bir şekilde incelenmelidir. Bu tür araştırmalar, gıda endüstrisinde hem yenilikçi hem de sürdürülebilir teknolojilerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma, zerdeçalı yoğurt üretimi için ohmik ısıtma yönteminin hem besin değerlerini koruma hem de duyu kaliteyi artırma açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu yöntem, fonksiyonel gıda geliştirme alanında önemli bir yenilik sunmaktadır ve hem sağlık hem de teknoloji odaklı yaklaşımların bir araya getirilmesiyle gıda bilimi literatürüne değerli bir katkı sağlamaktadır.

Yazar katkıları

Analizlerin yapılması, istatistiksel analizler, makale yazımı: Emrah KARAKAVUK, Konunun belirlenmesi, literatür tarama, analizlerin yapılması: Amine Nur YAŞAR, Havanur DAĞAÇ, Konunun belirlenmesi, makale yazımı, istatistiksel analizler: Serdal SABANCI

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

KAYNAKLAR

1. Kızılaslan N, Solak İ. Yoğurt ve insan sağlığı üzerine etkileri. *J Gaziosmanpasa Sci Res.* 2016;12:52-59.
2. Atwaa EH, Hassan MAA, Ramadan MF, Mark C. Production of probiotic stirred yoghurt from camel milk and oat milk. *J Food Dairy Sci.* 2020;11(9):259-64. doi:10.21608/JFDS.2020.118366.
3. Maciej Serda, Becker FG, Cleary M, et al. Yoğurt bilimi ve teknolojisi. *Uniwersytet Ślaski.* 2006;7(1):343-54. doi:10.2/JQUERY.MIN.JS.
4. Govindarajan VS, Stahl WH. Turmeric — chemistry, technology, and quality. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 1980;12(3):199-301. doi:10.1080/10408398009527278.
5. Prasad S, Aggarwal BB. Turmeric, the golden spice. In: *Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects.* 2nd ed. CRC Press; 2011. p. 263-88.
6. Shalaby SM, Amin HH. Red cabbage and turmeric extracts as potential natural colors and antioxidants additives in stirred yogurt. *J Probiotics Health.* 2018;6(1):1000206. doi:10.4172/2329-8901.1000206.
7. Tizghadam P, Roufegari-Nejad L, Asefi N, Jafarian Asl P. Physicochemical characteristics and antioxidant capacity of set yogurt fortified with dill (*Anethume graveolens*) extract. *J Food Meas Charact.* 2021;15(4):3088-95. doi:10.1007/s11694-021-00881-2.
8. Knirsch MC, Alves dos Santos C, Vicente AAM, Penna TCV. Ohmic heating: a review. *Trends Food Sci Technol.* 2010;21(9):436-41. doi:10.1016/j.tifs.2010.06.003.
9. Cho WI, Yi JY, Chung MS. Pasteurization of fermented red pepper paste by ohmic heating. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2016;34:180-6. doi:10.1016/j.ifset.2016.01.015.
10. Cabas BM, İçier F. Ohmic heating–assisted extraction of natural color matters from red beetroot. *Food Bioproc Technol.* 2021;14(11):2062-77. doi:10.1007/s11947-021-02698-9.

11. Sabanci S, İçier F. Evaluation of an ohmic assisted vacuum evaporation process for orange juice pulp. *Food Bioprod Process*. 2022;131:156-63. doi:10.1016/j.fbp.2021.09.009.
12. Lebovka NI, Shynkaryk MV, Vorobiev E. Drying of potato tissue pretreated by ohmic heating. *Drying Technol*. 2006;24(5):601-8. doi:10.1080/07373930600626677.
13. Bozkurt H, İçier F. Ohmic thawing of frozen beef cuts. *J Food Process Eng*. 2012;35(1):16-36. doi:10.1111/j.1745-4530.2009.00569.x.
14. Çelebi C, İçier F. Ohmic thawing of frozen ground meat. *Bulg Chem Commun*. 2014;46(Special issue B):121-5.
15. Mercan E, Sert D, Karakavuk E, Akın N. Effect of different levels of grapeseed (*Vitis vinifera*) oil addition on physicochemical, microbiological and sensory properties of set-type yoghurt. *Int J Dairy Technol*. 2018;71:34-43. doi:10.1111/1471-0307.12415.
16. Cemeroglu B. *Gıda analizleri*. 2nd ed. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları; 2010.
17. Coşkun H, Albayrak B, Helal M, Dhyaa S, Öztürk BB. Zerdeçal ekstraktı kullanımının kefirin bazı fizikokimyasal özelliklerine etkisi. *Gıda*. 2024;49(6):1062-73.
18. Parmar P, Singh AK, Meena GS, Borad S, Raju PN. Application of ohmic heating for concentration of milk. *J Food Sci Technol*. 2018;55:4956-63.
19. Ariç Sürme S. Ohmik ısıtma işleminin sütün evaporasyonunda kullanımı, elektriksel iletkenlik, performans analizi ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi (Yüksel lisans tezi). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü; 2021.
20. Ak F, Karakavuk E, Goksu A, Sabancı S. An innovative approach in oat milk production: ohmic heating. *Food Bioprod Process*. 2024;148:421-7.
21. Rhim JW, Jones VA, Swartzel KR. Kinetic studies in the color changes of skim milk. *Lebensm Wiss Technol*. 1988;21(6):334-8.
22. Burton H. Color changes in heated and unheated milk: I. The browning of milk on heating. *J Dairy Res*. 1955;21(2):194-203. doi:10.1017/S0022029900007287.
23. Morales FJ, Jiménez-Pérez S. HMF formation during heat treatment of milk type products as related to milk fat content. *J Food Sci*. 1999;64(5):855-9. doi:10.1111/j.1365-2621.1999.tb15927.x.
24. Shan B, Cai YZ, Sun M, Corke H. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *J Agric Food Chem*. 2005;53:7749-59.
25. Sabanci, S. A study on electrical conductivity and performance evaluation of ohmic evaporation process of grape juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45.5: e15487.

26. Darvishi H, Khostaghaza MH, Najafi G. Ohmic heating of pomegranate juice: electrical conductivity and pH change. *J Saudi Soc Agric Sci.* 2013;12(2):101-8.
27. Sabancı, S.; İçier, F. Effects of vacuum ohmic evaporation on some quality properties of sour cherry juice concentrates. *International Journal of Food Engineering*, 2019, 15.9: 20190055.
28. Borad SG, Kumar A, Singh AK. Effect of processing on nutritive values of milk protein. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2017;57(17):3690-702. doi:10.1080/10408398.2016.1160361