

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ERİK MARMELATI ÜRETİMİNDE GÜNCEL YÖNTEM: OHMİK ISITMA

Şeymanur EKİCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Serdal SABANCI

TUNCELİ-2025

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ERİK MARMELATI ÜRETİMİNDE GÜNCEL YÖNTEM: OHMİK ISITMA

Şeymanur EKİCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Serdal SABANCI

TUNCELİ-2025

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ERİK MARMELATI ÜRETİMİNDE GÜNCEL YÖNTEM: OHMİK ISITMA

Şeymanur EKİCİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 27/05/2025 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oy birliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....	İmza:.....	İmza:.....
Doç. Dr. Serdal SABANCI (Munzur Üni.)	Dr. Öğr. Üyesi Ferit AK (Munzur Üni.)	Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Burcu ATALAY (Kahramanmaraş İstiklal Üni.)
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Enstitü Müdürü
Doç. Dr. Nagihan KARAASLAN AYHAN

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza
Şeymanur EKİCİ

Danışman
Doç. Dr. Serdal SABANCI

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bilimsel bilgi birikimi ve rehberliğiyle büyük katkı sağlayan danışmanım Doç. Dr. Serdal SABANCI' ya, akademik yönlendirmeleriyle ve laboratuvar sürecinde destekleri ile katkıda bulunan Dr. Öğr. Üyesi Basri OMAÇ' a, laboratuvar sürecinde desteğini sunan Dr. Öğr. Üyesi Emrah KARAKAVUK' a teşekkür ederim.

Manevi destekleriyle bu süreci daha anlamlı kılan ailem; babam Feyzi ENGİN, annem Sevim ENGİN, kardeşlerim Kübra ve Mustafa ENGİN' e şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, her koşulda yanımda olan kıymetli eşim Emrah EKİCİ' ye ve varlığıyla bana güç veren oğlum Aren Aslan EKİCİ' ye teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışmayı onlara ithaf etmekten onur duyarım.

Şeymanur EKİCİ
TUNCELİ - 2025

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VI
SEMBOLLER LİSTESİ	VII
KISALTMALAR LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2. 1. Erik (Prunus domestica L.) ve Teknolojik Özellikleri.....	3
2.2. Marmelatın Tanımı, Uygulama Alanları ve Beslenmedeki Yeri	4
2.3 Ohmik ısıtma.....	6
2.4 Ohmik Evaporasyon	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1 Materyal	16
3.2 Yöntem.....	16
3.2.1 Ohmik ısıtma işlemi	16
3.2.2 Ohmik ısıtma işlemi ile erik marmelatı üretimi	16
3.2.3 Geleneksel yöntem ile erik marmelatı üretimi	17
3.2.4 Suda çözünür kuru madde ve pH değerinin belirlenmesi	17
3.2.5 Akım değerinin belirlenmesi	17
3.2.6 Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi	18
3.2.7 Antioksidan aktivite değerinin belirlenmesi	18
3.2.8 HMF değerinin tespit edilmesi	18
3.2.9. Renk özelliklerinin belirlenmesi	19
3.2. İstatistiksel Değerlendirme	19
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	20
4.1 Ohmik ısıtma işlemi ile püre üretimi	20
4.2 Ohmik ısıtma işlemi kullanarak erik marmelatı üretimi	21
4.3. Toplam Renk Değişiminin Belirlenmesi	24
4.4. Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi	25

4.5. Antioksidan Aktivite ve Vitamin C Değerlerinin Belirlenmesi.....	26
4.6 Fenolik Bileşiklerdeki Değişimler	29
4.7. Hidroksimetilfurfural (HMF) değerinin belirlenmesi.....	32
5. SONUÇ	36
6. KAYNAKLAR.....	38
EKLER	44
EK1. Fenolik dağılımın HPLC görüntüsü	44
EK2. Erik örneklerinde C vitamini'ne ait kromatogram	45



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Ohmik ısıtma işlemi kullanılarak erik püresi üretim sisteminin şematik görünümü	16
Şekil 2. Ohmik ısıtma işlemi sırasında zaman göre Akım (A) ve Sıcaklık (°C) değişimi ..	21
Şekil 3. Ohmik ısıtma işlemi kullanılarak üretilen erik püresinin zamana bağlı akım (A) ve TSS (%) değeri	23
Şekil 4. Farklı voltaj gradyanı ve geleneksel yöntem ile üretilen erik marmelatlarının renk özellikleri.....	24
Şekil 5. Ohmik ısıtma yöntemi ile üretilen erik marmelatlarında toplam fenolik madde değerleri.....	26
Şekil 6. Farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtma yönteminin antioksidan aktivite değerleri.....	27
Şekil 7. Farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtma yönteminin C vitamini değerleri.....	28
Şekil 8. Standart maddelere ait kromatogramlar: gallik asit (1), kateşin (2), klorojenik asit (3), vanilin (4), gallokateşin gallat (5), kumarik asit (6), protokateşuik asit (7) ve rutin (8), sırasıyla 280 nm (A), 320 nm (B) ve 360 nm (C) dalga boylarında ölçülmüştür.....	30
Şekil 9. Farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtmanın erik marmelatındaki HMF değerleri.....	35

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Ohmik ve geleneksel ısıtma yöntemleriyle işlem görmüş erik marmelatındaki fenolik bileşikler (ppm cinsinden, ortalama $\pm$ standart sapma).....	31
---	----



SEMBOLLER LİSTESİ

°C	Santigrat derece
%	Yüzde
V/cm	Voltaj gradyanı
mg/kg	Miligram/kilogram
mg AAE/L	Miligram askorbik asit eşdeğeri/litre
A	Amper
TSS	Toplam çözünür katı madde oranı
ΔE	Toplam renk değişimi
pH	Asitlik/bazlık derecesi
nm	Nanometre
ppm	parts per million (milyonda bir birim)
μm	Mikrometre

KISALTMALAR LİSTESİ

TPC	Toplam fenolik madde içeriği
AA	Antioksidan aktivite
HMF	Hidroksimetilfurfural
EC	Elektriksel iletkenlik
UV-Vis	Ultraviyole-görünür bölge spektrofotometresi
SPSS	Sosyal bilimler için istatistiksel paket programı
ANOVA	Varyans analizi
AAE	Askorbik asit eşdeğeri
HPLC	Yüksek performanslı sıvı kromatografi
ID	İç çap (HPLC kolonlarında kullanılır)



ÖZET

Bu çalışma, ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak erik marmelatı üretimini ve bu sürecin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Öncelikle erik meyvesinin besinsel ve teknolojik özellikleri ile marmelat üretim süreçleri literatür ışığında incelenmiştir. Erik meyvesinin fenolik bileşikler, antioksidanlar ve diyet lifi bakımından zengin olduğu; marmelatların ise sürdürülebilir ve fonksiyonel gıda ürünleri geliştirilmesinde önemli bir potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir. Ohmik ısıtma işlemi, ürünün içinden elektrik akımı geçirilerek hızlı, homojen ve enerji verimli bir şekilde ısınma sağladığından, geleneksel ısıtma işlemlere kıyasla ürün kalitesinin korunmasında avantajlı bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Çalışmada, farklı voltaj gradyanlarında (30, 35 ve 40 V/cm) ohmik ısıtma uygulanarak erik marmelatı üretilmiş, ayrıca geleneksel yöntemle üretilen marmelatla karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, voltaj gradyanının artması ile ısınma ve evaporasyon süresinin önemli ölçüde kısaldığı, buna bağlı olarak toplam fenolik madde içeriği (TPC), antioksidan aktivite (AA) ve C vitamini miktarının daha iyi korunduğu belirlenmiştir. En yüksek TPC ve AA değerleri, 40 V/cm voltaj gradyanında elde edilmiştir. Ayrıca, ohmik ısıtma yöntemiyle üretilen marmelatlarda hidroksimetilfurfural (HMF) oluşumu geleneksel yöntemle göre daha düşük bulunmuştur. Renk parametreleri incelendiğinde, yüksek voltaj gradyanlarında toplam renk değişimi (ΔE) değerinin azaldığı ve ürünlerin daha parlak ve homojen renkte kaldığı tespit edilmiştir. Ohmik ısıtmanın hızlı ısınma sağlaması, renk ve besin bileşenlerinin termal degradasyonunu azaltarak ürün kalitesinin korunmasına katkı sağlamıştır. Sonuç olarak, ohmik ısıtma yönteminin erik marmelatı üretiminde geleneksel yöntemlere kıyasla daha kısa işlem süresi ve daha iyi besin korunumuyla önemli avantajlar sağladığı ortaya konmuştur. Ayrıca, ürünlerin fenolik bileşikler ve antioksidan aktivite gibi fonksiyonel özelliklerinin korunmasında etkili bir alternatif teknolojik yaklaşım olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, ohmik ısıtmanın endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğini desteklemektedir.

Anahtar Kelime: Ohmik ısıtma, erik marmelatı, fenolik bileşikler, antioksidan aktivite, hidroksimetilfurfural

ABSTRACT

Current Method In Plum Jam Production: Ohmic Heating

This study investigated the production of plum marmalade using the ohmic heating method and examined the effects of this process on product quality. Initially, the nutritional and technological properties of plums and the marmalade production processes were reviewed in the light of existing literature. It was emphasized that plums are rich in phenolic compounds, antioxidants, and dietary fiber, and that marmalades possess significant potential for the development of sustainable and functional food products. Ohmic heating, which involves the passage of electric current directly through the product, enables rapid, homogeneous, and energy-efficient heating, thereby offering advantages over conventional thermal processes in preserving product quality. In the experimental phase of the study, marmalade was produced using ohmic heating at different voltage gradients (30, 35, and 40 V/cm), and comparisons were made with marmalade produced by traditional methods. The experimental results demonstrated that increasing the voltage gradient significantly reduced both the heating and evaporation times, which in turn contributed to better preservation of total phenolic content (TPC), antioxidant activity (AA), and vitamin C levels. The highest TPC and AA values were obtained at the 40 V/cm voltage gradient. Furthermore, the formation of hydroxymethylfurfural (HMF) in marmalades produced via ohmic heating was found to be lower compared to those produced using conventional methods. An examination of color parameters revealed that higher voltage gradients resulted in decreased total color change (ΔE) values, with products retaining a brighter and more homogeneous color. The rapid heating achieved by ohmic heating reduced thermal degradation of pigments and nutrients, thereby helping to maintain overall product quality. In conclusion, ohmic heating provided notable advantages over traditional methods in plum marmalade production, including shorter processing times, improved nutritional preservation, and enhanced functional properties such as higher retention of phenolic compounds and antioxidant activity. These findings support the potential applicability of ohmic heating technology at an industrial scale.

Keywords: Ohmic heating, plum marmalade, phenolic compounds, antioxidant activity, hydroxymethylfurfural

1. GİRİŞ

Türkiye, tarımsal üretim açısından sahip olduğu avantajlı coğrafi konum, iklim çeşitliliği ve toprak yapısıyla birçok meyve türünün yetişmesine olanak tanımaktadır. Bu meyve türlerinden biri olan erik (*Prunus domestica*), hem iç pazarda hem de dış pazarda büyük talep gören, ekonomik değeri yüksek bir üründür. Ülkemizin hemen her bölgesinde yetiştirilebilmesi, farklı iklim ve toprak koşullarına uyum sağlayabilmesi, üretim miktarını da artırmaktadır (Özdemir ve ark., 2018). Erik, genellikle taze meyve olarak tüketilmekle birlikte, kısa raf ömrü ve hasat döneminde oluşan ürün fazlalığı sebebiyle işlenmeye uygun bir meyvedir. Bu işleme yöntemlerinden biri de marmelat üretimidir. Erik; C vitamini, fenolik bileşikler ve diyet lifi gibi sağlık açısından önemli bileşenler içermektedir (Zhou ve ark., 2021). Bu nedenle erikten elde edilen işlenmiş ürünlerin hem besleyici hem de ekonomik değer açısından değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Marmelat ve reçel üretimi, meyvelerin değerlendirildiği geleneksel işleme yöntemlerinden biridir. Reçel, genellikle meyve parçalarının yüksek oranda şekerle kaynatılmasıyla elde edilen, meyve dokusunun büyük ölçüde korunduğu yarı katı bir üründür. Marmelat ise püre haline getirilmiş meyve ile şekerin birlikte kaynatılmasıyla hazırlanan, daha homojen kıvamlı ve yayılabilir bir gıda ürünüdür. Her iki ürün de uzun raf ömrü, lezzet, kullanım kolaylığı ve tüketici alışkanlıkları açısından popülerliğini korumaktadır (Gökmen ve Artık, 2006). Marmelatlar, özellikle sanayi tipi üretimde standardizasyonun sağlanabildiği ve ekonomik olarak sürdürülebilir üretim yapılabilen ürünler arasında yer alır. Bununla birlikte üretim sürecinde uygulanan ısı işlemler, ürün kalitesinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

Ancak geleneksel üretim yöntemlerinin bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Özellikle uzun süreli kaynatma işlemleri, ürünün kalitesinde çeşitli olumsuzluklara neden olabilmektedir. Meyvede bulunan doğal pigmentler, vitaminler ve aromatik bileşikler, yüksek sıcaklık ve uzun işlem süresi nedeniyle bozulabilmekte; bu da nihai ürünün besin değeri ve tüketici beğenisinde düşümlere yol açmaktadır (Patras ve ark., 2010). Ayrıca geleneksel yöntemler, enerji tüketimi ve zaman açısından da verimsizdir. Son yıllarda gıda teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, bu dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla yeni nesil ısı işlem yöntemlerinin kullanımını gündeme getirmiştir. Bu yöntemlerden biri olan

ohmik ısıtma, özellikle sıvı ve yarı katı gıdaların daha kısa sürede, homojen şekilde ısıtılmasını sağlamaktadır (Sastry ve Palaniappan, 1992).

Ohmik ısıtma, gıdanın içinden alternatif akım geçirilerek, ürünün kendi elektriksel direnci sayesinde doğrudan ısıtılmasına dayanan bir teknolojidir. Bu yöntemde ısı, yüzeyden merkeze doğru iletilmek yerine gıdanın tüm noktalarında eşzamanlı olarak üretilir. Böylece ısıtma işlem süresi önemli ölçüde kısalmakta, homojen ısı dağılımı sağlanmakta ve ürün kalitesi daha etkin bir şekilde korunabilmektedir. Ohmik ısıtma, mikroorganizma inaktivasyonu açısından da etkili olmakta; ayrıca ürün yapısında meydana gelen istenmeyen fiziksel ve kimyasal değişimlerin önüne geçebilmektedir (İcier ve Işık, 2005). Gıda endüstrisinde enerji tasarrufu, işlem verimliliği ve kalite korunumu gibi avantajlar sağlaması nedeniyle bu yöntemin kullanım alanı giderek yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada, ohmik ısıtma yönteminin erik marmelatı üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Araştırmanın temel amacı, bu yeni nesil ısıtma yönteminin ürün kalitesine olan etkilerini değerlendirmek, geleneksel yöntemlerle karşılaştırmalı olarak sistem özellikleri fiziksel ve kimyasal özellikler açısından incelemektir. Ayrıca işlem süresi, enerji tüketimi ve besin ögesi korunumu gibi teknik parametreler üzerinden ohmik ısıtmanın avantajları ortaya konulacaktır. Çalışmanın sonuçlarının, hem akademik literatüre katkı sağlaması hem de endüstriyel üretim süreçlerinde alternatif bir yaklaşım sunması beklenmektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2. 1. Erik (*Prunus domestica* L.) ve Teknolojik Özellikleri

Erik (*Prunus* spp.), Rosaceae (gülgiller) familyasına ait olup, dünyanın farklı coğrafyalarında yaygın olarak yetiştirilen önemli bir meyve grubu olarak bilinmektedir. Bu grup içerisinde başlıca üç türün öne çıktığı görülmektedir: *Prunus domestica* (Avrupa eriği), *Prunus salicina* (Japon eriği) ve *Prunus cerasifera* (Can eriği). Bu türlerin hem taze meyve olarak tüketilebildiği hem de kurutma, reçel ve marmelat üretimi ile meyve suyu işleme gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda değerlendirildiği belirtilmektedir (Yurdagül ve Fenercioğlu, 2008).

Türkiye'nin coğrafi yapısı ve iklim çeşitliliği sayesinde, bu türlerin hemen hemen tamamı için uygun yetiştirme koşullarının sağlandığı ifade edilmektedir. Bu nedenle, erik türlerinin ülkenin birçok bölgesinde, özellikle İç Anadolu, Marmara, Ege ve Karadeniz bölgelerinde doğal ya da kültür formlarıyla yetiştirildiği görülmektedir. Aynı zamanda, ülkemizde doğal olarak yetişen bazı yabancı türlerin (örneğin çakal eriği – *Prunus spinosa*, ve yonuz eriği – *Prunus divaricata* var.) geleneksel ürün çeşitliliğini artırdığı ve yerel ekonomilere katkı sağladığı bildirilmektedir (Sezer ve ark., 2016).

Erik meyvesinin, besinsel ve işlevsel özellikleri bakımından dikkat çeken bir gıda maddesi olduğu vurgulanmaktadır. Özellikle antosiyaninler, flavonoidler ve fenolik asitler gibi fenolik bileşikler yönünden zengin olması sayesinde, meyveye karakteristik renginin kazandırıldığı, antioksidan kapasitesinin artırıldığı ve sağlığa faydalı biyolojik aktivitelerin sağlandığı bildirilmektedir. Ayrıca, organik asitler (sitrik, malik asit vb.), C vitamini, çözünür ve çözünmeyen diyet lifleri, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi mineraller açısından da zengin bir içeriğe sahip olduğu ifade edilmektedir (Türkmen ve ark., 2019)

Erik meyvesinde bulunan yüksek düzeydeki fenolik bileşikler sayesinde, özellikle marmelat gibi işlenmiş ürünlerde serbest radikallerin nötralize edildiği, ürünün raf ömrünün uzatıldığı ve oksidatif bozulmaların geciktirildiği belirtilmektedir. Bunun yanı sıra, pektin içeriği sayesinde jel oluşturma kapasitesinin yüksek olduğu, bu nedenle marmelat ve benzeri ürünlerin kıvam oluşturmada işlevsel rol üstlenebildiği bildirilmektedir. Bu özellikler sayesinde, erik meyvesi doğal katkı maddesi kullanım

ihtiyacını azaltan ve fonksiyonel ürün geliştirme çalışmalarına elverişli bir hammadde olarak değerlendirilmektedir (Sicari ve ark., 2018).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, özellikle koyu renkli erik çeşitlerinin antosiyanin içeriği bakımından daha yüksek değerlere sahip olduğu ve bu türlerin hem sağlık açısından daha faydalı olduğu hem de işlenmiş ürünlerde renk stabilitesi açısından daha avantajlı olduğu ortaya konulmuştur (Sezer ve ark., 2016; Rubio-Arraez ve ark., 2015-2017). Erik meyvesinin içerdiği yüksek biyoyararlılığa sahip bileşikler, işlenmeye uygun teknolojik özellikleri ve yaygın bulunabilirliği ile hem geleneksel hem de fonksiyonel gıda ürünlerinin üretiminde stratejik bir meyve konumunda bulunduğu ifade edilmektedir. Bu yönüyle, özellikle marmelat gibi yarı katı meyve ürünlerinin geliştirilmesinde dikkat çekici bir potansiyele sahip olduğu vurgulanmaktadır.

2.2. Marmelatın Tanımı, Uygulama Alanları ve Beslenmedeki Yeri

Marmelat, meyve pulpu, su, şeker ve gerektiğinde pektin ve asit ilavesiyle jel formuna dönüştürülen, yarı katı yapıdaki bir gıda ürünü olarak tanımlanmaktadır. Türk Gıda Kodeksi'ne göre marmelat; turunçgil dışı meyvelerden ya da turunçgil kabuğu gibi meyve dokularından hazırlanmakta, en az %65 çözünür kuru madde içeren sürülebilir kıvamda bir ürün niteliği taşımaktadır. Genellikle meyvenin ezilmesi veya püre haline getirilmesinden sonra şeker ve jel oluşturan ajanlarla (çoğunlukla pektin) kaynatılması suretiyle üretimi gerçekleştirilmektedir.

Üretimde iki temel yaklaşıma yer verildiği bildirilmektedir: jel kıvamı kazandırılmış (gellified) marmelatlar ve doğrudan konsantre edilmiş meyve özünden hazırlanan jel kıvamı olmayan (non-gellified) marmelatlar. Jel formasyonunun sağlanabilmesi için şeker konsantrasyonunun %65'in üzerinde olması, pH'ın 4'ün altında tutulması ve pektin-sitrat oranının uygun seviyelerde olması gerektiği vurgulanmaktadır (Ajala, 2012). Her ne kadar marmelat ve reçel kavramları halk arasında sıklıkla birbirinin yerine kullanılsa da, teknolojik açıdan bu iki ürün farklılık göstermektedir. Reçelin genellikle bütün veya doğranmış meyve parçalarıyla hazırlanmakta olduğu; buna karşın marmelatın meyvenin ezilerek ya da püre formuna getirilerek üretildiği ve daha homojen, sürülebilir bir kıvama sahip olduğu belirtilmektedir (Türkmen ve ark., 2019). Ayrıca,

marmelatla pektin oranının reçele göre daha yüksek olduğu, bu durumun özellikle turunçgil bazlı marmelatlarda, kabuk içeriği ile birlikte belirgin hale geldiği ifade edilmektedir. Düşük pH değerine sahip olması nedeniyle, marmelatın mikrobiyolojik dayanıklılığının reçele göre daha yüksek olduğu da bildirilmektedir (Ajala, 2012).

Marmelat ürünlerinin, özellikle kahvaltılık gıda grubunda yaygın olarak tüketildiği, ayrıca kek, kurabiye, sandviç, yoğurt ve benzeri ürünlerde dolgu ve aroma verici olarak kullanıldığı bilinmektedir (Tanweer ve ark., 2018). Son yıllarda fonksiyonel gıdalara olan talebin artmasıyla birlikte, marmelatların da bitkisel özler, vitaminler ve antioksidanlar gibi bileşenlerle zenginleştirilerek, sağlık faydaları artırılmış versiyonlarının geliştirildiği görülmektedir. Özellikle zencefil, muz, yaban mersini gibi geleneksel olmayan hammaddelerle üretilen marmelatların, ürün çeşitliliğini artırdığı ve farklı tüketici gruplarına hitap ettiği belirtilmektedir (Ajala, 2012; Anvoh ve ark., 2009). Anvoh ve ark., (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, kakao çekirdeği özsuyundan üretilen marmelatın yüksek C vitamini ve mineral içeriğiyle yalnızca lezzetli bir ürün değil, aynı zamanda fonksiyonel bir besin destekleyici olarak da değerlendirilebileceği gösterilmiştir. Bu tür yenilikçi yaklaşımlar, tarımsal atıkların değerlendirilmesine ve sürdürülebilir üretim modellerinin benimsenmesine de katkı sağlamaktadır.

Marmelatlar, içeriklerinde bulunan karbonhidratlar, doğal antioksidanlar, C vitamini, diyet lifleri ve çeşitli mineraller ile dikkat çekmektedir. Ancak, geleneksel tariflerde şeker oranının yüksek olması nedeniyle, özellikle diyabetik bireyler açısından sınırlayıcı olabildiği bildirilmektedir. Bu nedenle, tagatoz, stevia ve oligofruktoz gibi alternatif tatlandırıcılarla üretilmiş düşük şekerli marmelatların geliştirilmesine yönelik çalışmalar da giderek yaygınlaşmaktadır (Rubio-Arrea ve ark., 2017). Zencefil (*Zingiber officinale*), kakao posası, nar kabuğu gibi antioksidan potansiyeli yüksek bileşenlerle zenginleştirilen marmelatlar, sadece raf ömrü açısından değil, bağışıklık sistemi üzerindeki destekleyici etkileri ile de öne çıkmaktadır (Tanweer ve ark., 2018). Dünya genelinde marmelat üretimi, İngiltere, Fransa, İtalya gibi Avrupa ülkelerinde köklü bir geçmişe sahipken; tropikal bölgelerde muz, mango, papaya ve ananas gibi meyvelerle üretilen türlerin yaygınlaştığı bilinmektedir. Batı Afrika'da kakao suyu ve kakao plasentası gibi tarımsal yan ürünlerle geliştirilen marmelatlar ise, atık değerlendirme ve sürdürülebilir üretim açısından örnek teşkil etmektedir (Anvoh ve ark., 2009).

Geleneksel marmelat üretim süreçlerinde genellikle uzun süreli ve yüksek sıcaklıkta ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Bu süreçlerde meyve karışımlarının 100°C'ye kadar çıkarılan sıcaklıklarda, çift cidarlı kazanlarda (jacketed vessel) uzun süre pişirildiği; böylece pektinle jel formasyonunun sağlandığı ve suyun buharlaştırılarak ürünün konsantre edildiği belirtilmektedir (Ajala, 2012). Bu yöntemlerin, ürün kalitesinde renk bozulması, vitamin kaybı gibi olumsuzluklara yol açtığı, işlem süresinin uzunluğu ve enerji tüketiminin fazlalığı nedeniyle dezavantajlı olduğu bildirilmiştir (Türkmen ve ark., 2019; Yılmaz ve ark., 2018). Özellikle C vitamini ve antosiyaninler gibi sıcaklığa duyarlı bileşenlerin kaybı, marmelatın fonksiyonel kalitesini azaltmakta; aynı zamanda karamelizasyon ve Maillard reaksiyonları gibi istenmeyen kimyasal değişimlerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerle, gıda endüstrisinde hem ürün kalitesini koruyan hem de enerji verimliliği sağlayan alternatif ısıtma yöntemlerine olan ihtiyaç artmaktadır (Yılmaz ve ark., 2018). Bu bağlamda, indüksiyon ısıtma ve ohmik ısıtma gibi modern termal teknolojilerin ön plana çıktığı görülmektedir. İndüksiyon ısıtmanın, geleneksel sistemlere göre daha hızlı ısı transferi sağladığı, enerji kayıplarını minimize ettiği ve işlem süresini kısalttığı saptanmıştır. Örneğin, 300 L kapasiteli kayısı marmelatı üretiminde; geleneksel su ile ısıtılan sistemde 155.999 kJ enerji tüketilirken, indüksiyon sistemiyle aynı işlem 137.361 kJ enerjiyle gerçekleştirilebilmiştir. Bu durum, %95'e varan enerji verimliliğiyle indüksiyon sistemlerinin avantajlarını ortaya koymaktadır (Yılmaz ve ark., 2018). Ohmik ısıtma ise, doğrudan gıdanın içinden alternatif akım geçirilerek iç dirençle ısı üretmekte ve böylece hızlı, homojen ve kontrollü bir ısıtma sağlamaktadır. Bu sistemler sayesinde enerji tasarrufu sağlanmakta, sıcaklığa duyarlı bileşenlerin korunumu artırılmakta ve nihai ürünün fonksiyonel kalitesi daha yüksek seviyelerde tutulabilmektedir (El-Mashad ve Pan, 2017). Marmelat üretiminde bu yeni nesil teknolojilerin uygulanması, çevresel sürdürülebilirlik, besin ögesi korunumu ve endüstriyel verimlilik açısından önemli katkılar sunmaktadır.

2.3 Ohmik ısıtma

Ohmik ısıtma işlemi iki elektrot arasında bulunan üründen alternatif akım geçirilerek ısınma prensibine dayanmaktadır. Burada ürün içerisinde geçen akıma gösterilen dirençle ilgili olarak ısı jenerasyonu meydana gelmekte ve ürün ısınmaktadır. Ohmik ısıtma işlemi homojen, hızlı ve verimli ısıtma olarak ifade edilmektedir. Son

yıllarda üzerinde yoğun araştırmalar yapılan elektriksel ısıtma teknolojilerinin, ısıtma sürecinin etkinliğini artırdığı ve işlem süresini önemli ölçüde kısalttığı bilinmektedir (Icier ve Ilicali, 2004, 2005; Mizrahi, 1996; Sastry ve Li, 1996). Modern ısıtma tekniklerinden biri olan ohmik ısıtma, gıdanın içinden doğrudan elektrik akımı geçirilmesi prensibine dayanır. Bu yöntemde, gıdanın elektriksel direnci nedeniyle hızlı, eşit ve etkili bir şekilde ısınma sağlanır (Icier, 2003; Marra ve ark., 2009; Reznick, 1996; Sastry ve Salengke, 1998; Shirsat ve ark., 2004)

Isıtma hızı, gıdanın elektriksel iletkenliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Allali ve ark., 2010; Icier, 2011; Sastry ve Salengke, 1998). Geleneksel ısıtma yöntemlerinden farklı olarak, gıdanın ısı özelliklerindeki değişimlerden daha az etkilenmesi önemli bir avantajı olarak bilinmektedir. Ayrıca, ohmik ısıtma sistemlerinde elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşüm verimliliğinin sıvı gıdalarda %80-95 oranında olması, bu yöntemin enerji kullanımında da yüksek verim sağlamasına olanak tanımaktadır (Kaur ve Singh, 2016; Samaranayake ve Sastry, 2005; Zhao ve ark., 1999). Özellikle sıvı gıdalarda, elektrik akımının homojen bir şekilde yayılabilmesi durumunda, sıcaklığın da eşit olarak dağıtılmasına olanak sağlanmaktadır (Castro ve ark., 2003, 2004; Eliot-Godéreaux ve ark., 2001; Ruan ve ark., 2002; Sarang ve ark., 2008). Elektrik yalıtımı gereksinimi dışında, ohmik ısıtma sistemlerinin kurulum ve işletme maliyetleri diğer ısıtma tekniklerine göre daha düşük olup, kullanım açısından daha pratik ve sessiz bir sistemdir (Knirsch ve ark., 2010; Mizrahi, 1996; Sastry ve Li, 1996).

Buhar ve sıcak su tüketimi gerektirmemesi ve atık su oluşumuna yol açmaması da bu yöntemin çevresel avantajları arasındadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, ohmik ısıtmanın sıvı gıdalara uygulanması ve bu gıdaların kalite özellikleri üzerindeki etkileri konusunda önemli sonuçlar ortaya koymuştur (Alkanan ve Altemimi ve ark., 2021; Alkanan ve Al-Hilphy ve ark., 2021; Bozkurt ve Icier, 2010; Cevik ve Icier, 2021; Fadavi ve ark., 2018; Karakavuk ve ark., 2022; Mohsen ve ark., 2013; Sabancı ve ark., 2019; Sabancı ve Icier, 2019). Elde edilen bulgular, bu yöntemin mikrobiyolojik güvenliği sağlarken, sıvı gıdaların kalite özelliklerini koruyabildiğini göstermiştir.

Bu doğrultuda, ohmik ısıtma yöntemi ABD, İngiltere, Japonya, İtalya ve Meksika gibi birçok ülkede sıvı gıda üretiminde ticari olarak uygulanmaktadır. Ayrıca, sıvı gıdaların (meyve-sebze suları, süt, yumurta vb.) ısıtılması, pastörizasyonu ve sterilizasyonunda alternatif bir teknik olarak FDA ve USDA gibi uluslararası kuruluşlar tarafından

kullanımına onay verilmektedir (Sastry, 2008). Ancak, ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon süreçleri ile ilgili çalışmaların halen sınırlı olduğu bilinmektedir. Uluslararası otoriteler ve Avrupa Gıda Güvenliği Ajansı (EFSA), elektriksel ısıtma yöntemleri üzerine yapılan bilimsel araştırmaları teşvik etmekte ve bu tür işlemlerin ticari gıda üretiminde daha yaygın kullanılabilmesi için bilimsel verilerin önemini vurgulamaktadır (Sastry, 2008).

Bu tez çalışmasında ohmik ısıtma işlemi kullanılarak marmelat üretiminin yapılması amaçlanmıştır. Ancak literatür incelendiğinde ohmik ısıtma işlemi kullanılarak marmelat üretimi çalışmasının sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra ohmik ısıtma işlemi ile evaporasyon uygulamaları çalışmaları giderek artmaktadır.

2.4 Ohmik Evaporasyon

Ohmik ısıtma işlemi kullanılarak marmelat üretiminde çalışma olmaması nedeniyle aynı yöntem kullanılan yani evaporasyon yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar aşağıda detaylandırılmıştır.

Tunç ve ark., (2021) üzüm pekmezi üretiminde ohmik ısıtma destekli vakumlu buharlaştırma yöntemini kullanarak pekmez üretimi üzerine bir inceleme gerçekleştirmiştir. Çalışmada, geleneksel vakumlu buharlaştırma yöntemi ile ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon yöntemi, fizikokimyasal özellikler, HMF (5-hidroksimetilfurfural) içeriği, reolojik özellikler ve enerji tüketimi açısından karşılaştırılmıştır. Ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon yöntemi dört farklı voltaj gradyanında (17.5, 20, 22.5 ve 25 V/cm) uygulanmış ve sonuçlar, voltaj gradyanının artmasıyla enerji verimliliğinin de yükseldiğini göstermiştir. Ayrıca, bu yöntemin toplam işlem süresini CVE yöntemine kıyasla %50 oranında kısalttığı belirlenmiştir. HMF içeriği açısından geleneksel evaporasyon ve ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon yöntemleri arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Bu bulgu, ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon yönteminin ürün kalitesini koruyarak daha enerji verimli bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, reolojik özellikler ile glikoz ve fruktoz içeriğinde kayda değer bir değişiklik gözlenmemiştir. Enerji analizi sonuçlarına göre, ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon yönteminin enerji tüketimi, CVE yöntemine kıyasla önemli ölçüde daha düşük bulunmuştur. Çalışmada elde edilen bulgular, enerji verimliliği ve zaman tasarrufu sağlaması nedeniyle, bu yöntemin geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan geleneksel termal işlemlerin yüksek enerji tüketimi ve besin kayıplarına neden olması sorununa alternatif bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle alternatif elektriksel ısıtma yöntemlerinden olan ohmik ısıtma destekli vakumlu buharlaşma (OHVE) sistemi geliştirilmiş ve Hint Bektaşı Üzümlü (Amla) suyu üzerinde evaporasyon işlemi test edilmiştir. Ohmik ısıtma, elektrik akımının doğrudan gıdanın içinden geçirilmesiyle çalışarak hızlı ve homojen ısı transferi sağlar, ancak burada vakum ortamının eklenmesiyle besin değerlerinin korunması ve oksidasyonun önlenmesi ana hedeflerinden olarak belirlenmiştir. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) yöntemiyle mekanik açıdan test edilmiş ve yapısal olarak güvenli olduğu kanıtlanmıştır. Vakum altında ohmik ısıtma işlemi kullanılarak evaporasyon yöntemi, daha düşük sıcaklıkta daha verimli buharlaşma sağlayarak, besin öğelerinin daha fazla korunmasına yardımcı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde, C vitamini içeriğinin %32, toplam fenol içeriğinin ise %30 azaldığı, ancak pH seviyesinde önemli bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, ohmik ısıtma ile işlem görmüş sıvı gıdaların, geleneksel yöntemlere kıyasla daha az besin kaybına uğradığını ve enerji verimli bir süreç sunduğunu göstermektedir. Bu çalışmada geliştirilen sistemin meyve suyu işleme, buharlaştırma ve ısıya duyarlı bileşenleri koruma açısından büyük bir potansiyeli olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak sistemin endüstriyel ölçekte uygulanabilirliği, mikrobiyolojik güvenlik ve enzimatik değişimler açısından daha fazla test edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, gelecekteki gıda işleme teknolojileri için önemli bir adım niteliğindedir (Aslam ve ark., 2024).

Ohmik evaporasyon çalışmalarında yalnızca kalite özellikleri değil, aynı zamanda modelleme çalışmaları da literatürde yer almaktadır. (Icier ve ark., 2021), vakumlu ohmik buharlaştırma sürecinin matematiksel modellemesini incelemiş ve bu yöntemin, elektrik akımının doğrudan gıdanın içinden geçmesiyle gerçekleşen bir ısıtma tekniği olduğunu belirtmiştir. Ohmik buharlaştırma, gıdanın iç kısmında ısı üreterek daha homojen ve hızlı bir ısıtma sağlamaktadır. Özellikle, yüksek viskoziteye sahip domates suyu gibi gıdaların buharlaştırılmasında etkili bir yöntem olarak öne çıkmıştır. Çalışmada, domates suyunun sıcaklık değişimlerini ve buharlaşma süreci sırasında su kaybını simüle etmek amacıyla sonlu farklar (FD) ve sonlu hacimler (FV) modelleri geliştirilmiştir. Isı ve kütle transfer denklemleri temel alınarak oluşturulan bu modeller, deneysel verilerle doğrulanmış ve oldukça düşük hata oranları ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle, sonlu farklar modelinin daha basit varsayımlar kullanarak daha hızlı ve doğru tahminler yaptığı belirlenmiştir. Öte yandan, sonlu hacimler modeli daha karmaşık ve detaylı bir yaklaşım

sunarak faz değişimi ile malzemeler arasındaki etkileşimleri başarılı bir şekilde simüle etmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen modellerin, ohmik buharlaştırma sürecinin zaman, sıcaklık geçmişi ve hacim değişimlerini tahmin etmede oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, gıda mühendisliğinde buharlaştırma süreçlerinin optimize edilmesi ve endüstriyel ölçeklendirilmesi açısından önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Karakavuk ve ark., (2022), geleneksel buharlaştırma yöntemlerinde meydana gelen kalite kayıplarını ve istenmeyen bileşen oluşumunu önlemek amacıyla atmosferik koşullarda ohmik buharlaştırma yöntemini kullanmıştır. Çalışmada, elma suyunun ohmik buharlaştırma sürecinde farklı voltaj gradyanları (13-17 V/cm) uygulanarak elektriksel iletkenlik (EC) ve biyoaktif kalite değişimleri incelenmiştir. Özellikle hidroksimetilfurfural (HMF) ve toplam fenolik bileşikler (TPC) üzerinde durulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, 17 V/cm voltaj gradyanında işlem süresi en kısa seviyeye ulaşmış, enerji tüketimi azalırken ürünün kalite özellikleri daha iyi korunmuştur. Geleneksel yöntemle kıyasla, ohmik buharlaştırma ile elde edilen TPC değeri daha yüksek bulunmuş, bu da antioksidan özelliklerin daha iyi muhafaza edildiğini göstermiştir. Ayrıca, istenmeyen bir bileşen olan HMF miktarının daha düşük seviyelerde kalması, ürünün daha sağlıklı olabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, ohmik buharlaştırmanın meyve sularının daha düşük enerji tüketimiyle ve daha yüksek kalite korunarak yoğunlaştırılmasına yönelik yenilikçi bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

Vangapandu ve Bitra (2023) guava suyu konsantresi üretiminde ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon yöntemini optimize etmeyi ve bu yöntemin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında, ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon yöntemi ile geleneksel döner vakum buharlaştırma yöntemi karşılaştırılmıştır. Optimizasyon süreci, sıcaklık (50-70 °C), evaporasyon süresi (40-120 dakika), voltaj gradyanı (9-15 V/cm) ve vakum basıncı (400-600 mmHg) gibi işlem parametreleri üzerinden gerçekteştirilmiş ve en uygun koşullar yanıt yüzey metodolojisi (RSM) kullanılarak belirlenmiştir. Araştırmada, kalite parametreleri olarak pH, yoğunluk, askorbik asit içeriği, enzimatik olmayan esmerleşme indeksi, titre edilebilir asitlik, viskozite ve kromatik özellikler incelenmiştir. Sonuçlar, ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon yönteminin, geleneksel döner vakumlu evaporasyon yöntemine kıyasla daha iyi kalite korunumu sağladığını ve işleme süresini kısalttığını göstermiştir. Özellikle, bu

yöntemle üretilen konsantrenin daha yüksek viskoziteye sahip olduğu, renk değişiminin daha az gerçekleştiği ve askorbik asit kaybının daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon yöntemiyle üretilen guava suyu konsantresinin, daha yüksek toplam çözünür katı (TSS) içeriğine ulaştığı ve besin değerinin daha iyi korunduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre ohmik ısıtma destekli evaporasyon yöntemin geleneksel buharlaştırma tekniklerine kıyasla daha verimli ve kaliteli bir alternatif sunduğunu ortaya koymaktadır.

Cevik (2021) koruk suyunun konsantre edilmesi sürecinde ohmik ısıtma yönteminin elektriksel iletkenlik ve performans açısından değerlendirilmesini incelemiştir. Çalışmada, atmosferik koşullar altında gerçekleştirilen evaporasyon işleminde, %50 toplam çözünür katı madde (TSS) içeriğine ulaşıncaya kadar 13, 15, 17 ve 19 V/cm voltaj gradyanları kullanılmıştır. Sonuçlara göre, voltaj gradyanı arttıkça ohmik evaporasyon süresi kısalmış ve en kısa süre 19 V/cm'de 1020 saniye olarak belirlenmiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri, %32 TSS içeriğine kadar artış göstermiş, ardından azalma eğilimi göstermiştir. Enerji tüketimi, voltaj gradyanı düştükçe artarken, spesifik su giderme oranı (SWRR) ve işlem verimliliği voltaj gradyanı yükseldikçe artış göstermiştir. En yüksek verimlilik, %75,22 ile 19 V/cm voltaj gradyanında elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, ohmik ısıtma yönteminin koruk suyu konsantre edilmesi sürecinde geleneksel yöntemlere kıyasla daha kısa işlem süresi ve daha yüksek enerji verimliliği sunduğunu ortaya koymaktadır.

Darvishi ve ark., (2019) portakal suyu konsantresinin kalite korunumu için hibrit ohmik-vakum ısıtma yönteminin etkilerini incelemektedir. Hibrit ohmik-vakum ısıtma, geleneksel vakum ısıtma ve atmosferik koşullar altında yapılan ohmik ısıtma ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı, farklı ısıtma yöntemlerinin portakal suyu kalitesine etkilerini değerlendirmektir. Hibrit ohmik-vakum ısıtma yöntemiyle gerçekleştirilen çalışmada, C vitamini kaybının (%10–29,2), atmosferik koşullar altında yapılan ohmik ısıtma yöntemi (%18,0–38,8) ve geleneksel vakum ısıtma yöntemi (%47,4) ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, toplam fenolik bileşik kaybının da hibrit ohmik-vakum ısıtma yönteminde (%8,0–21,3) daha az olduğu rapor edilmiştir. Bu yöntemin, düşük sıcaklık ve oksijen seviyeleri sayesinde oksidasyon tepkimelerini azaltarak kalite parametrelerini daha iyi koruduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, hibrit ohmik-vakum ısıtma yönteminin işlem süresini kısalttığı ve daha yüksek ısıtma hızı

sağladığı belirlenmiştir. Voltaj gradyanı arttıkça sıcaklık artış hızının yükseldiği ve işlem süresinin kısaldığı görülmüştür. Bu durum, enerji verimliliğini artırarak ürün kalitesinin korunmasına katkı sağlamıştır. Hibrit ohmik-vakum ısıtma yönteminin, portakal suyu konsantresinin C vitamini, toplam fenolik bileşik ve pH değerlerini daha iyi koruduğunu ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha kısa sürede yüksek kaliteli ürün elde edilmesini sağladığını göstermektedir. Bu yöntemin gıda işleme endüstrisinde kalite kaybını minimize etmek için umut vaat eden bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini vurgulamışlardır.

Torkian ve ark., (2015) farklı voltaj gradyanları kullanarak domates salçası üretiminde ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak etkileri incelenmiştir. Bu yöntemin domates örnekleri üzerindeki elektriksel iletkenlik, su buharlaşma hızı, ısıtma hızı, renk parametreleri, pH değişimi ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Domates örneklerinin nem içeriğinin %9,33'ten %2,2'ye düşene kadar ohmik ısıtma yöntemiyle işlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, farklı voltaj gradyanı (6, 8, 10, 12 ve 14 V/cm) seviyeleri ve sıcaklığın elektriksel iletkenlik üzerindeki etkilerini açıklayan doğrusal olmayan matematiksel modelin, deneysel verilerle yüksek uyum gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, domatesin konsantrasyonunun artmasıyla birlikte elektriksel iletkenliğin de yükseldiği belirlenmiştir. Voltaj gradyanının artmasıyla ısıtma süresinin 28,32 dakikadan 4,3 dakikaya kadar azaldığı, bunun da enerji tüketimini 4,63 MJ/kg'dan 3,05 MJ/kg'a düşürdüğü belirlenmiştir. Yüksek voltaj gradyanlarında, ısıtma ve su buharlaşma hızlarının artması nedeniyle pH değişiminin sınırlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, yüksek voltaj gradyanlarıyla işlenen örneklerin daha parlak (L^*), daha sarımsı (b^*) ve daha yüksek hue açısına (h) sahip olduğu, ancak daha düşük kırmızılık (a^*) ve Chroma (C) değerleri gösterdiği belirlenmiştir. Domates salçası üretiminde ohmik ısıtmanın, daha hızlı ısıtma, daha düşük enerji tüketimi ve daha iyi renk koruması gibi avantajlar sunduğunu göstermektedir. Optimum sonuçlar, 14 V/cm voltaj gradyanında elde edilmiştir.

Sabancı ve İcier (2022) ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon işleminin pulplu portakal suyunun konsantre edilmesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, pulplu portakal suyu %11,4 suda çözünür kuru madde içeriğinden %42'ye yoğunlaştırılmıştır. Bu işlemde, 13 V/cm sabit voltaj gradyanı uygulanarak 100°C, 85°C, 75°C ve 65°C sıcaklıklarında evaporasyon gerçekleştirilmiştir. Bulgular, yüksek sıcaklıklarda işlem süresinin kısaldığını, enerji verimliliğinin arttığını ve spesifik su giderme oranının yükseldiğini göstermektedir. Araştırma, evaporasyon sıcaklığının

artmasıyla enerji gereksiniminin azaldığını ve akım değerlerinin yükseldiğini ortaya koymuştur. Örneğin, 100°C'de maksimum akım değeri 2,52 A'ya ulaşırken, 65°C'de 0,6 A olarak ölçülmüştür. Ayrıca, sıcaklık arttıkça akım değerleri yükselmiş, ancak kaynama noktası geçildiğinde düşüş göstermiştir. Enerji ve ekserji verimliliklerini analiz eden çalışma, yüksek evaporasyon sıcaklıklarının enerji performansını artırdığını ve sistemin iyileştirme potansiyelini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Örneğin, 100°C'de enerji verimliliği %78,34, ekserji verimliliği ise %65,31 olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon işleminde sıcaklık kontrolünün, enerji verimliliği ve sistem performansını optimize etmek için kritik bir parametre olduğunu vurgulamışlardır.

Sabancı ve Icier (2017) vişne suyunun konsantre edilmesinde ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon yönteminin uygulanabilirliğini incelemiştir. Çalışmada, üç farklı voltaj gradyanı (10 V/cm, 12 V/cm ve 14 V/cm) kullanılarak 65 °C'de vişne suyunun suda çözünür kuru madde içeriği %19,2'den %65'e yükseltilmiştir. Bulgular, voltaj gradyanının artmasıyla işlem süresinin yarı yarıya azaldığını göstermiştir. Ohmik ısıtmanın vakumlu evaporasyona entegre edilmesi, enerji verimliliğini artırırken işlem süresini önemli ölçüde kısaltmıştır. Özellikle, 14 V/cm voltaj gradyanı ile toplam işlem süresi 40 dakika olarak belirlenmiş ve bu sürenin geleneksel vakumlu evaporasyon yöntemine kıyasla belirgin derecede daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Elektriksel iletkenlik, sıcaklık ve suda çözünür kuru madde içeriği arasındaki ilişki de değerlendirilmiş; %32 seviyesine kadar iletkenliğin arttığı, ardından sabit kaldığı ve %45'ten sonra azalmaya başladığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyonun vişne suyu konsantresi üretiminde etkili bir yöntem olduğunu ve işlem süresini kısaltarak enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur. Bu yöntem, kalite kayıplarını minimize etmesi ve daha kısa işlem süresi sunması nedeniyle geleneksel yöntemlere alternatif olarak önerilmektedir.

Sabancı (2021) üzüm suyunun ohmik ısıtma destekli atmosferik evaporasyon yöntemiyle konsantre edilmesi sürecinde elektriksel iletkenlik ve termodinamik performansı incelemiştir. Çalışmada, üzüm suyu farklı voltaj gradyanları (16, 20 ve 24 V/cm) kullanılarak, su içeriği 5,75 kg su/kg kuru madde oranından $2 \pm 0,3$ kg su/kg kuru madde oranına kadar konsantre edilmiştir. Sonuçlara göre, voltaj gradyanı arttıkça su uzaklaştırma hızı yükselmiş ve işlem süresi kısalmıştır. Elektriksel iletkenlik, ısıtma aşamasında 0,21–0,77 S/m, evaporasyon sürecinde ise 0,77–1,01 S/m arasında değişim

göstermiştir. Çalışmanın termodinamik analizlerinde, voltaj gradyanındaki artışın enerji verimliliği, ekserji verimliliği ve iyileştirme potansiyeli üzerinde olumlu etkiler yarattığı belirlenmiştir. Enerji verimliliği %78,1 ile %83,3 arasında değişirken, ekserji verimliliği %68,9 ile %73,1 arasında tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek voltaj gradyanında köpük oluşumunun elektriksel iletkenliği olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Araştırmacı ohmik ısıtma destekli atmosferik evaporasyon yönteminin üzüm suyunun konsantre edilmesinde etkili ve enerji verimli bir teknik olduğu belirlenmiş, bu yöntemin endüstriyel ölçekli uygulamalar için önemli veriler sunduğu vurgulanmıştır.

Cokgezme ve ark., (2017), nar suyunun ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon ve geleneksel vakumlu evaporasyon yöntemleriyle konsantre edilmesi sürecinde enerji ve ekserji verimliliğini analiz etmişlerdir. Nar suyunun %17,5 suda çözünür kuru madde içeriğinden %40'a kadar konsantre edilmesini 3 farklı voltaj gradyanında ve 65 °C'de gerçekleştirilmiştir. Farklı voltaj gradyanları (7,5 V/cm, 10 V/cm ve 12,5 V/cm) uygulanarak enerji verimliliği, spesifik su giderme oranı ve ekserji verimlilikleri değerlendirilmiştir Ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon yönteminin enerji tüketimini geleneksel yöntemle kıyasla daha verimli kullandığını tespit edilmiştir. Özellikle, suda çözünür kuru madde içeriği %30 seviyesine ulaştığında enerji verimliliği ve spesifik su giderme oranının en yüksek değerlere ulaştığı, ardından azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Voltaj gradyanının artmasıyla (%12,5 V/cm) enerji verimliliği yükselirken, ekserji kayıplarının azaldığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon yönteminin enerji verimliliğini artırarak ve işlem süresini optimize ederek meyve suyu konsantresi üretiminde etkili bir teknik olduğunu ortaya koymuşlar ve enerji tüketimini azaltmak ve daha sürdürülebilir gıda işleme yöntemleri geliştirmek açısından önemli veriler ortaya koymuşlardır.

Sabancı ve ark., (2019), nar suyu konsantrelerinin ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon ve geleneksel vakumlu evaporasyon yöntemleri ile üretilmesi sürecinde meydana gelen kalite değişimlerini incelemiştir. Çalışmada, ohmik ısıtmanın yüksek voltaj gradyanlarında (10 ve 12,5 V/cm) uygulanmasının, daha kısa işlem süresi sağlayarak şekerlerin bozulmasını minimize ettiği ve hidroksetilfurfural oluşumunu azalttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, yüksek asiditeye sahip nar suyu konsantrelerinde, titanyum elektrotların kullanımına bağlı olarak elektrokimyasal reaksiyonların renk değişimi, toplam monomerik antosiyanin, toplam fenolik bileşik ve antioksidan aktivite kayıplarını artırdığı

tespit edilmiştir. Geleneksel vakumlu evaporasyon yöntemiyle üretilen konsantrelerin renk stabilitesini daha iyi koruduğu, ancak uzun işlem süresi nedeniyle daha yüksek hidroksimetilfurfural içerdiği gözlemlenmiştir. Elektrokimyasal reaksiyonları en aza indirmek ve kalite kayıplarını azaltmak amacıyla, ohmik ısıtma sürecinde daha inert elektrot malzemelerinin kullanımının araştırılması gerektiğini önermektedir.



3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

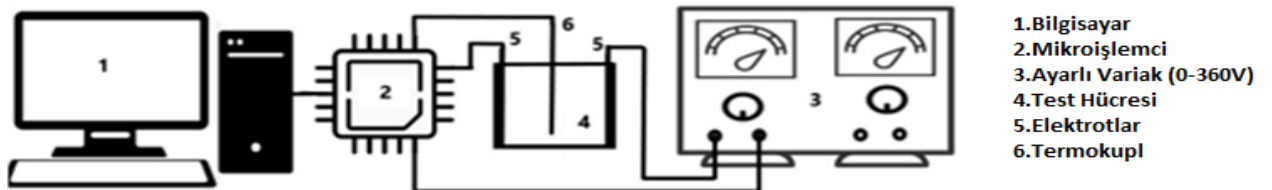
Erik örnekleri yerel bir marketten temin edilmiştir. Erik örnekleri +4 °C’de depo edilmiş ve bir dizi işlem sırası uygulanmıştır. Erik örnekleri ayıklama, yıkama, kurutma ve çekirdeğin ayırma işlemlerine tabi tutulmuştur. Çekirdeği çıkarılan erik örnekleri marmelat yapmak amacıyla püre haline getirilmiştir. Bunun için 150 g erik örneğine 130 ml su ilave edilmiş ve 15 V/cm voltaj gradyanında 5 dakika kaynatma işlemine tabi tutulmuştur. Ohmik ısıtma işleminin şematik görünümü Şekil 1’de verilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Ohmik ısıtma işlemi

3.2.2 Ohmik ısıtma işlemi ile erik marmelatı üretimi

Ohmik ısıtma işlemi kullanılarak, 30 ve 40 V/cm arasında değişen üç farklı voltaj gradyanında erik marmelatı üretilmiştir. Ohmik ısıtma sistemi; bilgisayar, bağlantı elemanları, elektrotlar, test hücresi ve özel yapım bir mikroişlemciden oluşmaktadır. Sıcaklık ölçümleri için T-tipi termokupl kullanılmıştır. Ohmik ısıtma işleminde izolasyonu sağlamak amacıyla polioksimetilen kullanılmış, elektrotlar ise titanyum malzemeden üretilmiştir. Marmelat üretiminde, ohmik ısıtma sistemi kullanılarak elde edilen erik püresi ile şeker, ağırlıkça 1:0.8 oranında ayarlanmıştır. Hazırlanan erik püresi-şeker karışımı, atmosferik koşullar altında %65 SÇKM değerine ulaşınca kadar ohmik ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen erik marmelatı, analiz günü gelene kadar +4 °C’de depolanmıştır. İşlem sırasında, her dakika ağırlık ölçümleri alınarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 1. Ohmik ısıtma işlemi kullanılarak erik püresi üretim sisteminin şematik görünümü

3.2.3 Geleneksel yöntem ile erik marmelatı üretimi

Geleneksel yöntemle erik marmelatı üretimi, ohmik ısıtma destekli marmelat pişirme sürecindeki püre kullanılmıştır. Isıl işlem sırasında suyun büyük bir kısmı buharlaşarak kıvam yoğunlaştırılır ve istenilen jelleşme seviyesi elde edilmeye çalışılır. Üretim süreci boyunca kıvam kontrolü, SÇKM değeri (çözünmüş madde oranı) ölçümü yapılmıştır. Isı kaynağı olarak elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Ohmik ısıtma işlemi ile aynı miktardaki ürün hedef SÇKM değerine kadar pişirme işlemi uygulanmıştır. Geleneksel yöntemin dezavantajı ürün kalitesinde istenmeyen fiziksel ve kimyasal değişimlerin meydana gelmesidir.

3.2.4 Suda çözünür kuru madde ve pH değerinin belirlenmesi

Suda çözünür kuru madde içeriğinin değişimi sıcaklık düzeltmeli dijital refraktometre (Hanna, HI96801, Romanya) kullanılmıştır. Erik püresi, erik marmelatlarının pH değeri dijital pH metre yardımıyla tespit edilmiştir.

3.2.5 Akım değerinin belirlenmesi

Ohmik ısıtma sürecinde en önemli parametre, genellikle elektriksel iletkenlik (EC) değeri olarak vurgulanmaktadır. Ancak bu çalışmada, kaynama sırasında meydana gelen köpürmeler, örnek yüksekliğinin sürekli değişimi ve uzaklaşan suyun neden olduğu konsantrasyon düşüşü, elektriksel iletkenlik ölçümlerinde kayda değer hatalara yol açmaktadır. Elde edilen EC değerinin aslında etkili bir değer olduğu ve doğrudan doğruya mutlak bir değer olarak yorumlanamayacağı belirlenmiştir. Bu nedenle, çalışma kapsamında akım değerinin ölçümünün daha uygun bir yaklaşım olduğu sonucuna varılmıştır. Özel olarak tasarlanan bir mikroişlemci kullanılarak her saniyede bir alınan akım verisinin daha kesin sonuçlar sağlayacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla, bu çalışmada akım değerleri işlem boyunca izlenmiş ve analiz edilmiştir.

3.2.6 Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi

Erik marmelatındaki toplam fenolik madde içeriği (TPC), Singleton yöntemi (Singleton ve ark., 1999) esas alınarak modifiye edilmiş bir prosedürle belirlenmiştir. Analiz, 1 mL erik marmelatı ekstraktına 5 mL saf su eklenerek başlatılmış, karışım iyice homojenize edilmiştir. Daha sonra karışıma 0,5 mL Folin–Ciocalteu reaktifi eklenmiştir. Yaklaşık 3 dakika bekletilen bu karışıma, ardından 1,5 mL %3 Na₂CO₃ çözeltisi ilave edilmiştir. Numuneler, karanlık bir ortamda belirli bir süre inkübe edilmiş, ardından UV-Vis spektrofotometrede (Shimadzu UV-1800, Japonya) 720 nm dalga boyunda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde saf su referans olarak kullanılmıştır.

3.2.7 Antioksidan aktivite değerinin belirlenmesi

Erik marmelatının DPPH serbest radikal giderme kapasitesi, Mercan ve ark., (2018) tarafından üzüm çekirdeği yağı için önerilen yöntemin modifiye edilmiş haliyle ölçülmüştür. Analizler için 0,5 mL erik marmelatı ekstraktı tüplere alınmış ve üzerine 2,9 mL DPPH çözeltisi eklenmiştir. Elde edilen karışım karanlık bir ortamda 30 dakika inkübe edilmiştir. İnceleme sonrasında metanol referans alınarak UV-Vis spektrofotometre (UV-1800, Shimadzu, Japonya) ile 517 nm dalga boyunda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Standart madde olarak askorbik asit kullanılmış ve sonuçlar, 100 mL başına askorbik asit eşdeğeri (mg) olarak raporlanmıştır.

3.2.8 HMF değerinin tespit edilmesi

Erik marmelatı örnekleri, 0,50 mL Carrez I ve Carrez II çözeltileri ile karıştırılarak santrifüj tüplerine alınmış ve 6000 rpm hızında santrifüj edilmiştir (Centurion Scientific, K3 serisi, İngiltere). Santrifüjleme işlemi sonrasında elde edilen sıvı örnekler, 0,45 µm şırınga filtresiyle süzülerek HPLC (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi) tüplerine aktarılmıştır. Bu örneklerden 10 µL, otomatik örnekleyici kullanılarak HPLC cihazına (Shimadzu LC 20A, Japonya) enjekte edilmiştir. Analiz için C18 kolon (250x4 mm ID, Supelco Ascentis) kullanılmış, kolon sıcaklığı 25°C olarak ayarlanmıştır. Mobil faz olarak ultra saf su ve asetonitril (95:5) karışımı ile hazırlanan %1 asetik asit çözeltisi tercih edilmiştir.

3.2.9. Renk özelliklerinin belirlenmesi

Erik marmelatının renk özellikleri, taşınabilir bir kolorimetre cihazı (CR-400, Konica Minolta, Osaka, Japonya) kullanılarak L^* , a^* ve b^* değerleri cinsinden belirlenmiştir. Ölçümlerden önce, cihazın doğruluğunu sağlamak amacıyla üretici firmanın standart beyaz kalibrasyon plakası ile kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlem öncesi ve sonrası örnekler arasındaki toplam renk farkı (ΔE), aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_t)^2 + (a_0 - a_t)^2 + (b_0 - b_t)^2} \quad (\text{Eş. 1})$$

Bu denklemde, alt simgeler “0” ve “t” sırasıyla işlem öncesi ve işlem sonrası örneklerin renk değerlerini ifade etmektedir.

3.2. İstatistiksel Değerlendirme

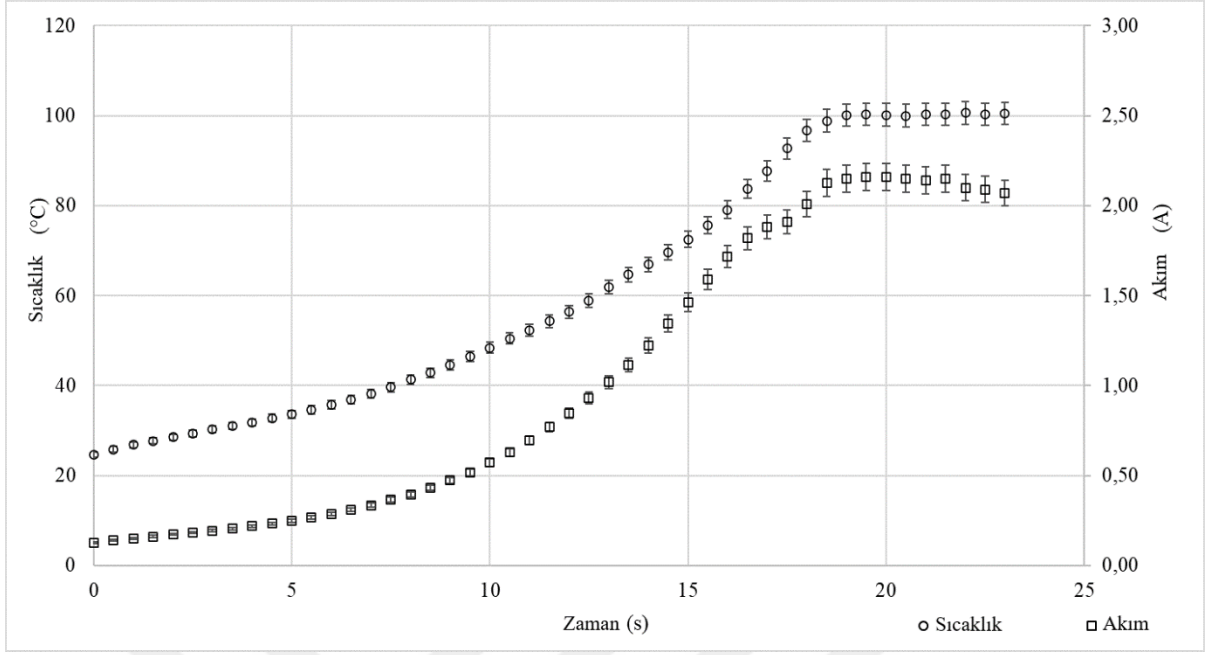
Ohmik ısıtma kullanılarak yapılan erik marmelatı üretiminin istatistiksel analizi, SPSS paket programı (SPSS 24, IBM, ABD) ile gerçekleştirilmiştir. Voltaj gradyanı ve geleneksel ısıtma yönteminin etkisini değerlendirmek için tek yönlü ANOVA testi (Post Hoc-Duncan testi) uygulanmıştır. Güven aralığı %95 olarak belirlenmiştir. Her deney üç kez tekrarlanmıştır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1 Ohmik ısıtma işlemi ile püre üretimi

Ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak erik marmelatı üretimi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, 15 V/cm voltaj gradyanı uygulanarak erik örneklerinden püre elde edilmiştir. Bu süreçte, püre 100 °C'ye kadar ısıtılmış ve ardından 5 dakika boyunca kaynatılmıştır. Püre üretimi sırasında sıcaklığın zamana bağlı değişimi ve buna paralel olarak akım değerlerindeki değişimler Şekil 2'de gösterilmektedir. Çekirdeklerinden ayrılan erik örnekleri dört eşit parçaya bölünmüş ve her 150 g erik için 130 mL saf su eklenmiştir. Karışım, yaklaşık 24 ± 1 °C'den 100 °C'ye kadar ısıtılmış ve ardından 5 dakika süreyle kaynatılmıştır. Süreç boyunca sıcaklığın düzenli bir artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Ohmik ısıtma sürecinde en önemli parametrelerden biri elektriksel iletkenliktir. Ancak bu çalışmada, erik örneklerinin sıvı ve katı bileşenler içermesi nedeniyle elektriksel iletkenlik doğrudan analiz edilmemiş, bunun yerine akım değerleri incelenmiştir. Isıtma işleminin başlangıcında (24 °C) akım değeri 0.13 A olarak ölçülmüş, 100 °C'ye ulaşıldığında ise bu değer 1.95 A'ya yükselmiştir. Kaynama başladıktan yaklaşık 3 dakika sonra maksimum 2.19 A'ya ulaşan akım, daha sonra azalma eğilimi göstermiştir. Artan sıcaklığın moleküler hareketliliği artırarak akım değerini yükselttiği belirlenmiştir. Ancak, kaynama ilerledikçe suyun buharlaşması nedeniyle moleküler hareketliliğin kısıtlandığı ve bunun sonucunda akım değerinde düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. Ohmik ısıtma sürecinde sıcaklık artışı ile akım değerinin belirgin şekilde yükseldiğini, ancak kaynama aşamasının ilerlemesiyle bu eğilimin tersine döndüğünü ortaya koymaktadır. Bu durum, kaynama sırasında su kaybına bağlı olarak sistemdeki iyon hareketliliğinin azalmasıyla açıklanabilir.



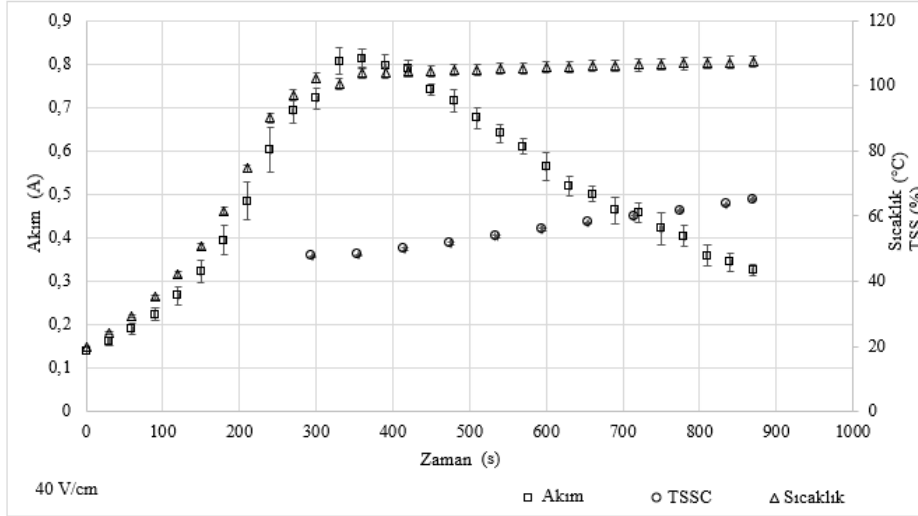
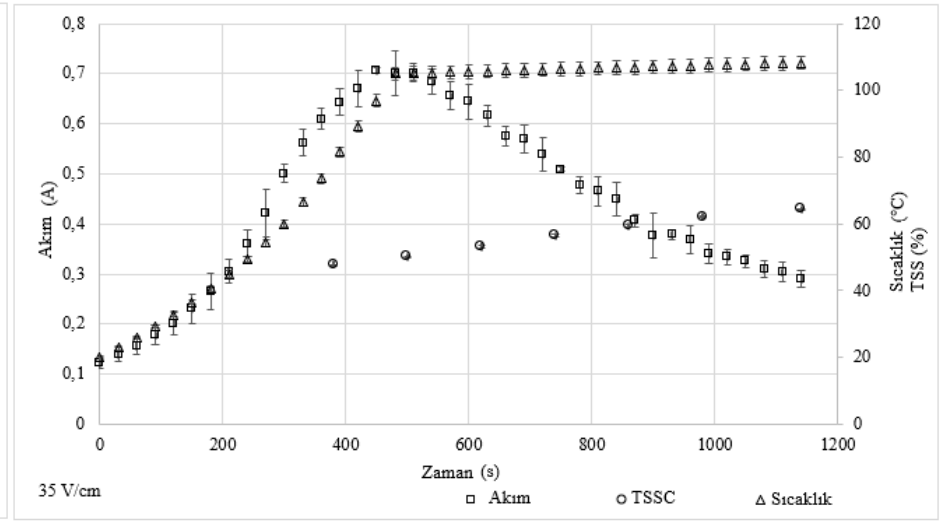
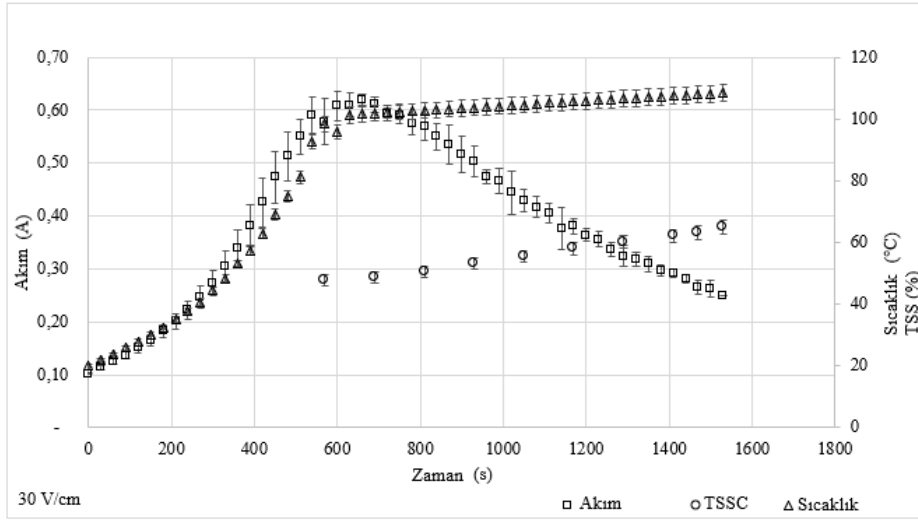
Şekil 2. Ohmik ısıtma işlemi sırasında zaman göre Akım (A) ve Sıcaklık (°C) değişimi

4.2 Ohmik ısıtma işlemi kullanarak erik marmelatı üretimi

Ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak erik marmelatı üretimi, üç farklı voltaj gradyanı (30, 35 ve 40 V/cm) uygulanarak %65 toplam çözünür kuru madde (TSS) değerine ulaşana kadar pişirme (evaporasyon) işlemine tabi tutulmuştur. Ohmik ısıtma sürecinde zamanla sıcaklık ve TSS değerindeki değişimler Şekil 3'te sunulmuştur. Marmelat üretimi, ohmik ısıtma yöntemiyle iki aşamada gerçekleşmektedir: ısınma ve evaporasyon. Farklı voltaj gradyanları için belirlenen ısınma süreleri sırasıyla 30, 35 ve 40 V/cm için 570 ± 36 s, 408 ± 49 s ve 290 ± 19 s olarak ölçülmüştür. Evaporasyon periyodu ise sırasıyla 1022 ± 16 s, 723 ± 36 s ve 591 ± 13 s arasında değişim göstermiştir. Hem ısınma hem de evaporasyon aşamalarında, voltaj gradyanı arttıkça işlem süresinin kısaldığı belirlenmiştir. Bu durum, artan voltaj seviyesine bağlı olarak akım değerinin yükselmesi ve dolayısıyla sisteme iletilen anlık enerji miktarının artmasıyla açıklanabilir. Literatürde, ohmik ısıtma yönteminin voltaj gradyanındaki artışa bağlı olarak sisteme aktarılan enerjinin voltajın karesi oranında arttığı rapor edilmiştir. Benzer şekilde, farklı çalışmalarda artan voltaj gradyanının ısıtma, evaporasyon, çözündürme ve pişirme gibi işlemlerde işlem süresini kısalttığı bildirilmiştir.

Ohmik ısıtma sürecinde akım değerleri incelendiğinde, 30 V/cm voltaj gradyanı için başlangıç akım değeri 0.10 A olarak belirlenmiş, kaynama başlangıcında en yüksek değer olan 0.62 A'ya ulaşmış ve üretim sonunda 0.25 A olarak kaydedilmiştir. Ohmik ısıtma yöntemiyle reçel üretiminde, kaynama başlangıcına kadar sıcaklığın artışıyla moleküler hareketliliğin yükselmesine bağlı olarak akım değerinin arttığı, kaynama başladıktan sonra ise artan TSS içeriği nedeniyle moleküler hareketliliğin kısıtlanması sonucu akım değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Benzer eğilim, 35 V/cm ve 40 V/cm voltaj gradyanları için de gözlemlenmiştir. Literatür taramalarında, ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak marmelat üretimine dair bir çalışmaya rastlanmamış olmakla birlikte, evaporasyon işleminin salça, meyve suyu konsantresi ve geleneksel ürünlerden pekmez üretiminde kullanıldığı belirlenmiştir. Bu çalışmaların daha çok elektriksel iletkenlik değerleri üzerine yoğunlaştığı dikkati çekmektedir. Bilindiği üzere, bu tür işlemler genellikle iki aşamada incelenmektedir: ısınma ve kaynama (buharlaştırma). Elektriksel iletkenlik üzerine yapılan çalışmalarda, ısınma aşamasında sıcaklık arttıkça akım değerinin yükseldiği, ancak kaynama başlangıcıyla birlikte artan TSS içeriğine bağlı olarak akım değerinde azalma gözlemlendiği rapor edilmiştir. Ayrıca, elektriksel iletkenlik değeri incelendiğinde, ısınma sürecinde sıcaklık arttıkça iletkenlik değerinin arttığı, kaynama sırasında ise köpüklenme nedeniyle efektif elektriksel iletkenlik değerinin kritik bir TSS içeriğine kadar arttığı ve sonrasında azalma eğilimi gösterdiği vurgulanmıştır.

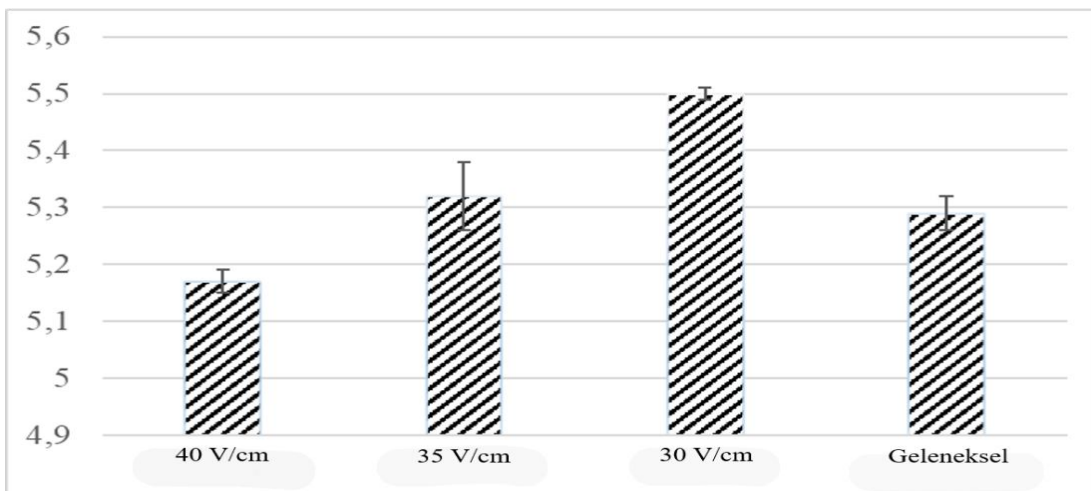
Ohmik ısıtma yöntemiyle farklı voltaj gradyanlarında TSS içeriğindeki değişim Şekil 3'te sunulmuştur. Marmelat üretimi için şeker ve erik püresinden elde edilen çözeltinin farklı voltaj gradyanlarında işleme tabi tutulması sonucu, toplam işlem süreleri 65 ± 1.2 TSS içeriğine ulaşana kadar sırasıyla 30, 35 ve 40 V/cm için 1530 s, 1140 s ve 870 s olarak belirlenmiştir. Bu durum, ohmik ısıtma işleminde artan voltaj gradyanına bağlı olarak sisteme aktarılan enerji miktarının artışıyla ilişkilendirilmektedir. Benzer çalışmalar incelendiğinde, artan voltaj gradyanının salça, pekmez, meyve suyu konsantresi ve süt konsantresi üretiminde işlem süresini önemli ölçüde kısalttığı bildirilmiştir. (İçier, 2005).



Şekil 3. Ohmik ısıtma işlemi kullanılarak üretilen erik püresinin zamana bağlı akım (A) ve TSS (%) değeri

4.3. Toplam Renk Değişiminin Belirlenmesi

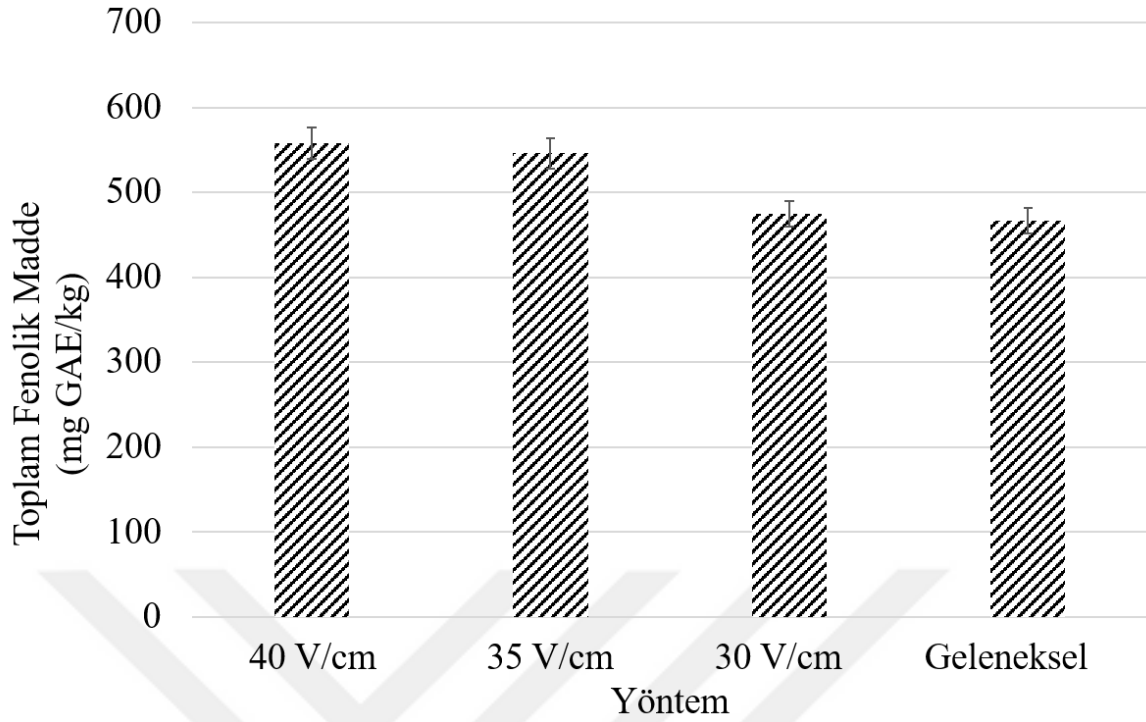
Ohmik ısıtma yöntemi ile üretilen erik marmelatlarında toplam renk değişimi (ΔE) değerleri incelendiğinde, işlem koşullarının renk stabilitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir (Şekil 4). Çalışmada, en düşük ΔE değeri 40 V/cm voltaj gradyanında ($5,17 \pm 0,02$) belirlenirken, en yüksek renk değişimi 30 V/cm voltaj gradyanında ($5,50 \pm 0,01$) tespit edilmiştir. Geleneksel yöntemle üretilen marmelatta ise $5,29 \pm 0,03$ olarak ölçülen ΔE değeri, 35 V/cm voltaj gradyanı ile benzer bir seviyede bulunmuştur. Maillard reaksiyonları, ısıl işlem sırasında şekerler ile amino asitler arasındaki etkileşim sonucu gerçekleşen ve kahverengileşmeye yol açan temel reaksiyonlardır. Daha uzun işlem süresi, pigmentlerin bozulmasına ve kahverengileşmenin artmasına sebep olarak ΔE değerlerinin yükselmesine neden olmuştur. 40 V/cm voltaj gradyanında en düşük ΔE değerinin elde edilmesi, daha kısa işlem süresi sayesinde pigment stabilitesinin daha iyi korunmasıyla açıklanabilir. Yüksek voltaj gradyanı, ürünün daha hızlı ısınmasını sağlayarak toplam işlem süresini kısaltmakta ve böylece oksidatif reaksiyonların etkisini azaltarak renk değişimini minimize etmektedir. Ohmik ısıtmanın daha hızlı ısınma sağlaması ve buna bağlı olarak pigmentlerin oksidatif degradasyonunun azalması gösterilmektedir (Makroo ve ark., 2017; Leizeron ve Shimoni 2005). Ohmik ısıtma yöntemi, erik marmelatlarında renk stabilitesini koruma açısından etkili bir teknoloji olarak değerlendirilebilir. Ohmik ısıtma ile renk değişiminin minimum seviyede tutulması için işlem süresi ve voltaj gradyanı arasındaki dengenin dikkatli bir şekilde optimize edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4. Farklı voltaj gradyanı ve geleneksel yöntem ile üretilen erik marmelatlarının renk özellikleri

4.4. Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi

Ohmik ısıtma yöntemi ile farklı voltaj gradyanlarında üretilen erik marmelatlarının toplam fenolik madde (TFM) içeriği değerlendirilmiş (Şekil 5) ve sonuçlar, bu yöntemin fenolik bileşenlerin korunmasında geleneksel yöntemle kıyasla daha avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen veriler, uygulanan voltaj gradyanının artmasıyla fenolik madde içeriğinin yükseldiğini göstermektedir. En yüksek TFM değeri 40 V/cm (557.6 ± 18.2 mg GAE/kg) gradyanında belirlenirken, en düşük değer geleneksel yöntemde (466.6 ± 15.2 mg GAE/kg) ölçülmüştür. Yüksek voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtma, işlem süresini kısaltarak fenolik bileşenlerin termal bozulmasını en aza indirmiştir. Buna karşın, geleneksel yöntem ve düşük voltaj gradyanlarında fenolik bileşiklerin oksidatif degradasyona uğrama olasılığı daha yüksek olduğundan, TFM değerlerinde belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Ohmik ısıtmanın fenolik bileşikler üzerindeki etkisinin büyük ölçüde işlem parametrelerine bağlı olduğu belirtilmektedir. Daha yüksek voltaj gradyanlarının işlem süresini kısaltarak fenolik bileşiklerin korunmasını sağladığı, ancak uzun süreli ısı işlemler ve yüksek sıcaklıkların fenolik madde kayıplarına neden olabileceği ifade edilmektedir. Dolayısıyla, optimum işlem koşullarının belirlenmesi, fenolik bileşiklerin korunmasını maksimize etmek açısından kritik öneme sahiptir. Mevcut literatür incelendiğinde, ohmik ısıtma yöntemiyle reçel üretimine yönelik çalışmaların sınırlı olduğu görülmekte olup, bu nedenle fenolik bileşikler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla evaporasyon süreçleriyle yapılan araştırmalar incelenmiştir. Darvishi ve ark., (2021) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, kivi suyu konsantrasyonu sürecinde ohmik ısıtmanın toplam fenolik madde (TFM) içeriğine etkisi araştırılmış ve uygulanan voltaj gradyanının artmasıyla fenolik madde kaybının azaldığı rapor edilmiştir. Darvishi ve ark., (2020) ise dut suyu konsantrasyonu üzerine yaptıkları araştırmada, ohmik ısıtmanın geleneksel termal işleme kıyasla 3-4,5 kat daha fazla fenolik madde korunumu sağladığını belirlemiştir. Araştırmacılar, daha yüksek voltaj gradyanlarının fenolik bileşiklerin korunmasını desteklediğini ve aynı zamanda işlem süresini kısaltarak termal degradasyonu azalttığını göstermiştir. Ohmik ısıtma işleminin toplam fenolik madde içeriği üzerindeki etkisi, kullanılan işlem parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Fenolik bileşiklerin korunmasını en üst düzeye çıkarmak için optimum voltaj gradyanı ve işlem süresinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

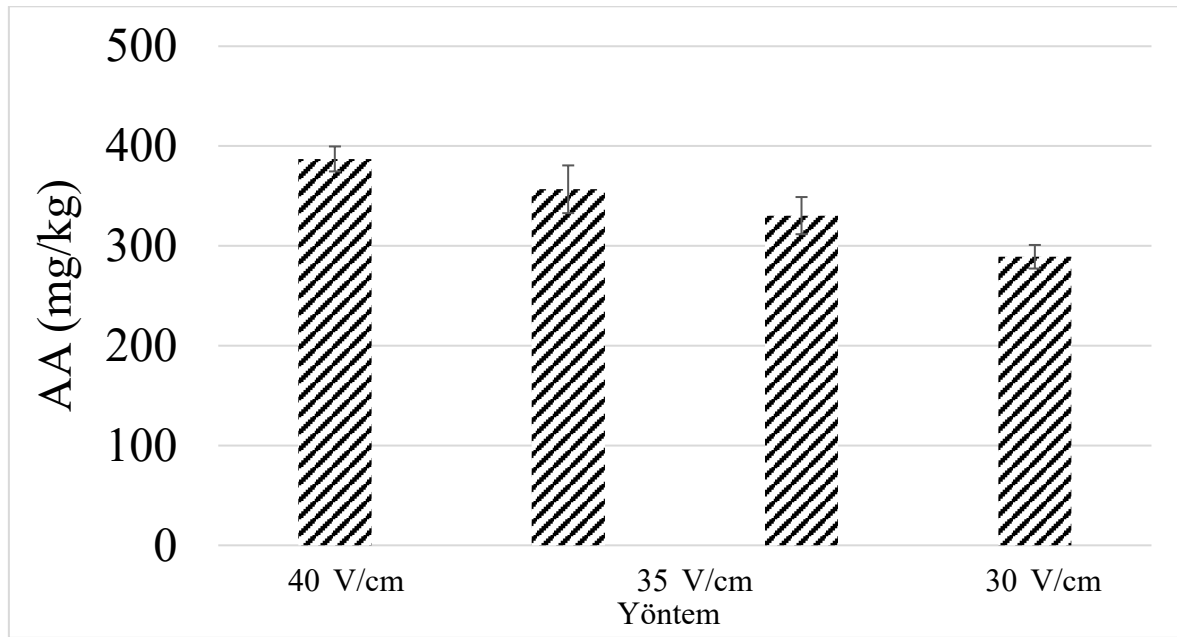


Şekil 5. Ohmik ısıtma yöntemi ile üretilen erik marmelatlarında toplam fenolik madde değerleri

4.5. Antioksidan Aktivite ve Vitamin C Değerlerinin Belirlenmesi

Farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtma yönteminin antioksidan aktivite (AA) ve C vitamini içeriği üzerindeki etkileri incelenmiş ve elde edilen bulgular, işlem koşullarının bu biyoaktif bileşenlerin korunmasında belirleyici rol oynadığını göstermiştir (Şekil 6). Çalışmada, en yüksek AA içeriği 40 V/cm voltaj gradyanında (387.1 ± 12.5 mg AAE/L) ölçülürken, en düşük değer geleneksel yöntemde (289.1 ± 11.8 mg AAE/L) tespit edilmiştir. Voltaj gradyanının artmasıyla AA içeriğinde anlamlı bir artış gözlemlenmiş olup, bu durum ohmik ısıtmanın geleneksel ısı işlemlere kıyasla daha homojen ve hızlı bir ısı transferi sağlamasına bağlanmıştır. Ohmik ısıtma sırasında ısının doğrudan gıda matrisi içinde üretilmesi, sıcaklık farklarını minimize ederek termal degradasyonu azaltmakta ve antioksidan bileşenlerin korunmasına yardımcı olmaktadır. Düşük voltaj gradyanlarında ise işlem süresinin uzaması nedeniyle AA kaybının daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, 30 V/cm voltaj gradyanında AA içeriği (330.3 ± 18.6 mg AAE/L) olarak ölçülmüş olup, 40 V/cm'ye kıyasla daha düşük bir değer göstermiştir. Bu bulgu, düşük voltaj seviyelerinde ısıtma sürecinin uzaması nedeniyle AA degradasyonunun arttığını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, geleneksel yöntemle

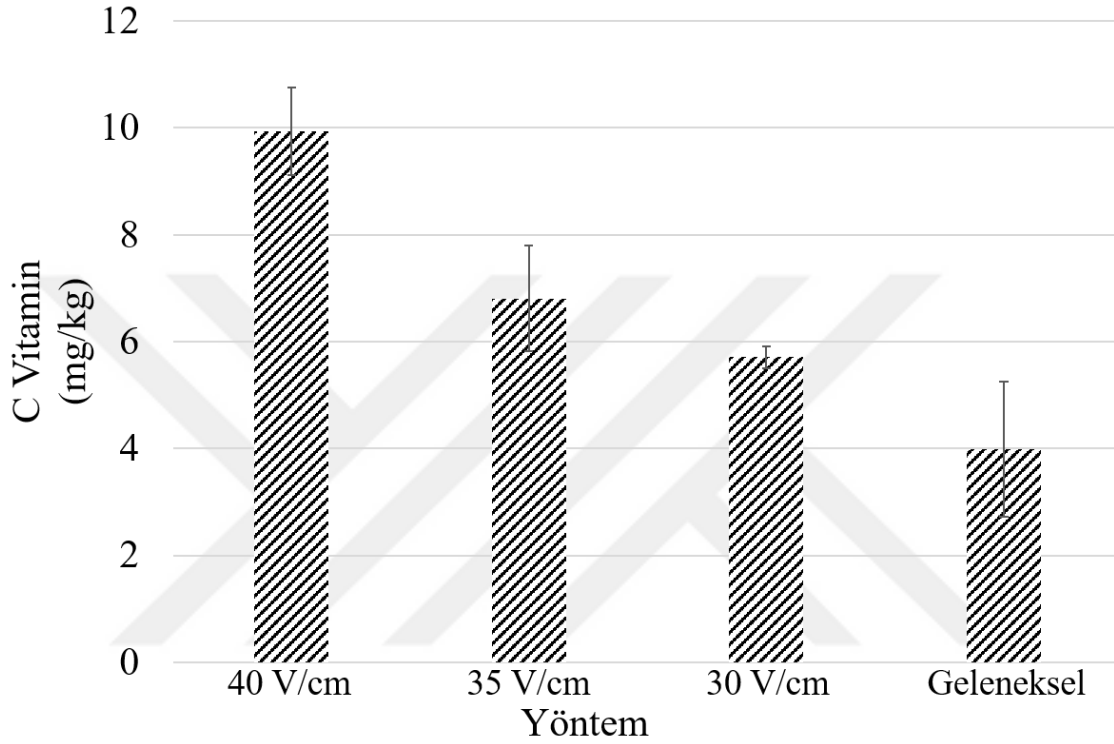
üretilen marmelatla AA miktarının en düşük seviyede bulunması, bu yöntemde maruz kalınan yüksek sıcaklık ve uzun işlem süresinin AA stabilitesini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Ohmik ısıtma yönteminin geleneksel ısıl işlemlere kıyasla AA içeriğini daha iyi koruduğunu ve ısıl hassas bileşiklerin bozulmasını azalttığını göstermektedir. Voltaj gradyanının artırılması, işlem süresini kısaltarak AA kaybını minimize edebilir.



Şekil 6. Farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtma yönteminin antioksidan aktivite değerleri

AA gibi önemli bir antioksidan olan C vitamini değerleri Şekil 7’de verilmiştir. Farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtmanın C vitamini içeriği üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve voltaj gradyanının artmasının C vitamini kaybını minimize ettiği belirlenmiştir. 40 V/cm voltaj gradyanı altında en yüksek C vitamini içeriği (9.94 ± 0.82 mg/kg) ölçülmüş, en düşük değer ise geleneksel yöntemde (3.99 ± 1.27 mg/kg) tespit edilmiştir. Bu sonuç, ohmik ısıtmanın daha hızlı ve homojen ısı transferi sağlaması nedeniyle C vitamini kaybını azalttığını göstermektedir. C vitamini (askorbik asit), oksidasyona son derece duyarlı bir bileşiktir ve uzun süreli yüksek sıcaklık maruziyeti, parçalanmasına neden olmaktadır. Geleneksel yöntemde C vitamini içeriğinin en düşük seviyede bulunması, uzun süreli ısıl işlem nedeniyle askorbik asit kayıplarının arttığını ortaya koymaktadır. Daha düşük voltaj gradyanlarında ise C vitamini kayıpları belirgin hale gelmiştir. Örneğin, 30 V/cm voltaj gradyanında C vitamini içeriği (5.71 ± 0.20 mg/kg) olarak ölçülmüştür ve 40 V/cm’ye kıyasla önemli bir azalma göstermektedir. Bu bulgu, düşük voltaj seviyelerinde ısıtma sürecinin uzaması nedeniyle askorbik asit

degradasyonunun arttığını göstermektedir. Benzer şekilde, 35 V/cm voltaj gradyanında (6.81 ± 0.98 mg/kg) ölçülen C vitamini miktarı da 40 V/cm'ye göre daha düşük bir değere sahip olmakla birlikte, geleneksel yöntemle kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Ohmik ısıtma voltaj gradyanı, sıcaklık, işlem süresi ve elektrot materyali gibi faktörler, antioksidan bileşiklerin korunmasında kritik rol oynamaktadır.



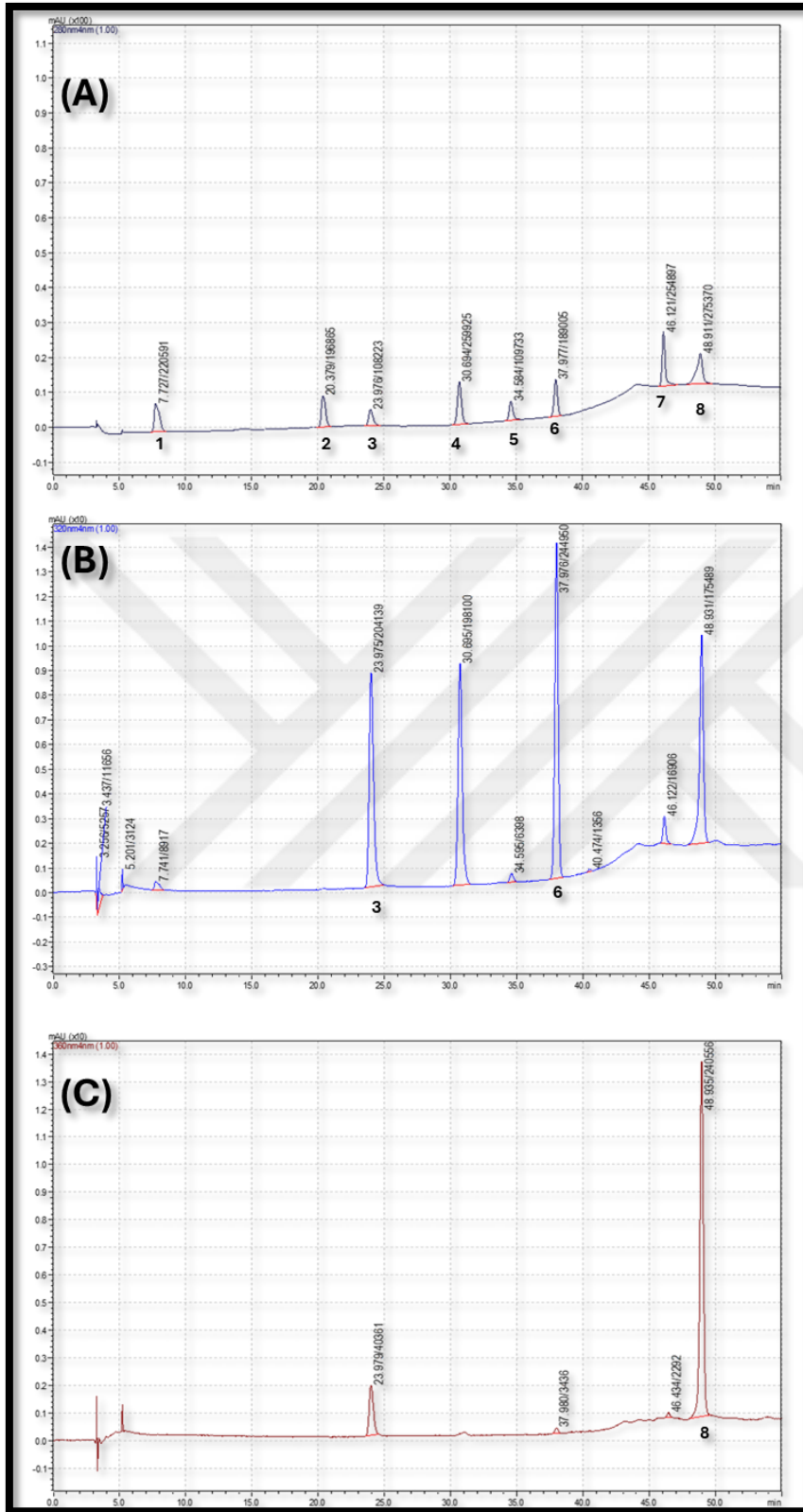
Şekil 7. Farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtma yönteminin C vitamini değerleri

Araştırmalar, ohmik ısıtmanın işlem süresini kısaltarak oksidatif kayıpları azalttığını ve fenolik bileşiklerin daha iyi korunmasını sağladığını göstermektedir. Darvishi ve ark., (2019), hibrit ohmik-vakum ısıtmanın portakal suyundaki toplam fenolik içerik ve askorbik asidin korunmasına yardımcı olduğunu bildirmiştir. Sabanci ve Icier (2017) ise nar suyu konsantrasyonunda ohmik ısıtmanın antioksidan kapasiteyi geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek seviyede tuttuğunu ortaya koymuştur. Makroo ve ark., (2017), karpuz suyu üzerinde yapılan bir çalışmada ohmik ısıtmanın fenolik oksidaz enzimini inaktive ederek antioksidan kayıplarını azalttığını belirtmiştir.

4.6 Fenolik Bileşiklerdeki Değişimler

Erik meyvesinde gallik asit, klorojenik asit, kateşin, epikateşin ve rutin gibi fenolik bileşikler yaygın olarak bulunmaktadır (Cosmulescu ve ark., 2015). Farklı gerilim düzeylerinde (30, 35 ve 40 V/cm) ohmik ısıtma yöntemi ve geleneksel yöntem ile üretilen erik marmelatlarında belirlenen fenolik bileşikler Tablo 1’de verilmiş, bu bileşiklerin kromatogramları ise Şekil 8’da sunulmuştur. Ohmik ısıtmanın 40 V/cm gerilim gradyanında uygulanması, örneklerdeki fenolik bileşiklerin daha iyi korunmasını sağlamıştır.





Şekil 8. Standart maddelere ait kromatogramlar: gallik asit (1), kateşin (2), klorojenik asit (3), vanilin (4), gallokateşin gallat (5), kumarik asit (6), protokateşuik asit (7) ve rutin (8), sırasıyla 280 nm (A), 320 nm (B) ve 360 nm (C) dalga boylarında ölçülmüştür.

Gallik asit miktarı sırasıyla 40, 35 ve 30 V/cm gerilimlerde 16.18 ± 0.80 , 13.17 ± 0.95 ve 12.10 ± 1.19 ppm olarak ölçülmüşken, geleneksel yöntemle işlenen örneklerde bu değer 9.61 ± 1.85 ppm'e düşmüştür (Tablo 1). Benzer şekilde, kateşin miktarı 40 V/cm uygulamasında 9.37 ± 0.49 ppm iken, geleneksel yöntemde 5.53 ± 0.91 ppm'e kadar azalmıştır. Klorojenik asit miktarı da 40 V/cm'de 77.05 ± 0.92 ppm ile en yüksek seviyede korunmuş; buna karşın geleneksel yöntemle elde edilen marmelatta 57.75 ± 12.79 ppm'ye düşmüştür. Rutin bileşiği de voltaj seviyesi arttıkça daha iyi korunmuş; 40 V/cm'de 23.75 ± 0.3 ppm olarak ölçülürken, geleneksel yöntemde 17.89 ± 3.53 ppm seviyesine gerilemiştir.

Buna karşın, vanilin, gallokateşin gallat ve kumarik asit miktarlarında her iki ısıtma yöntemiyle işlem gören örneklerde yalnızca hafif düzeyde değişiklik gözlemlenmiştir. Bu bulgular, fenolik bileşiklerin yüksek gerilim gradyanı (40 V/cm) altında daha iyi korunduğunu göstermektedir. Uzun süreli ısıya maruz kalan örneklerde fenolik bileşiklerin oksidatif ve termal bozunma nedeniyle kayba uğradığı düşünülmektedir.

Elde edilen sonuçlar, Karakavuk ve ark., (2022) tarafından yapılan çalışmayla da uyum göstermektedir. Söz konusu çalışmada, ohmik ısıtma ile işlenen elma suyunda fenolik bileşiklerin en iyi şekilde 17 V/cm gerilim gradyanında korunduğu rapor edilmiştir. Özellikle antioksidan özelliklere sahip gallik asit, klorojenik asit ve rutin gibi bileşiklerin yüksek voltaj seviyelerinde daha iyi korunduğu belirlenmiştir. Bu durum, ohmik ısıtma yönteminin fonksiyonel gıda üretiminde önemli bir alternatif olabileceğini ortaya koymaktadır.

Tablo 1. Ohmik ve geleneksel ısıtma yöntemleriyle işlem görmüş erik marmelatındaki fenolik bileşikler (ppm cinsinden, ortalama $\pm$ standart sapma).

Fenolik Bileşikler (ppm)	40 V/cm	35 V/cm	30 V/cm	Geleneksel
Gallik asit	$16.18 \pm 0.80^{*a}$	13.17 ± 0.95^b	12.10 ± 1.19^b	9.61 ± 1.85^c
Kateşin	9.37 ± 0.49^a	7.5 ± 0.60^b	6.9 ± 0.10^b	5.53 ± 0.91^c
Klorojenik asit	77.05 ± 0.92^a	75.5 ± 0.90^a	65.5 ± 2.20^{ab}	57.75 ± 12.79^b
Vanilin	9.71 ± 0.10^a	9.70 ± 0.20^a	9.65 ± 0.20^a	8.80 ± 1.30^a
Gallokateşin gallat	2.60 ± 0.00^a	2.62 ± 0.01^a	2.57 ± 0.01^a	2.61 ± 0.10^a
Kumarik asit	1.30 ± 0.01^a	1.20 ± 0.03^a	1.10 ± 0.03^a	1.30 ± 0.10^a
Rutin	23.75 ± 0.30^a	23.20 ± 0.30^{ab}	20.10 ± 0.70^{bc}	17.89 ± 3.53^c
Protokatekuik asit	ND**	ND	ND	ND

* Standart sapma

** Belirlenemedi

^{a_c} Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı fark göstermektedir ($p < 0.05$).

4.7. Hidroksimetilfurfural (HMF) değerinin belirlenmesi

Hidroksimetilfurfural (HMF), gıdalarda ısıtma işlemi sırasında şekerlerin Maillard reaksiyonu veya karamelizasyon yoluyla parçalanması sonucu oluşan bir bileşiktir ve özellikle işlenmiş meyve bazlı ürünlerde kalite göstergesi olarak değerlendirilmektedir. HMF oluşumu, sıcaklık, işlem süresi ve pH gibi faktörlerden etkilenmekte olup, yüksek sıcaklıklarda ve uzun işlem sürelerinde artış göstermektedir. Bu çalışmada, farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtmanın erik marmelatındaki HMF oluşumuna etkisi incelenmiştir. Elde edilen veriler, voltaj gradyanı arttıkça HMF seviyelerinin düştüğünü göstermektedir. En düşük HMF miktarı 40 V/cm voltaj gradyanında (23.9 ± 0.8 mg/kg) belirlenirken, en yüksek değer geleneksel yöntemde (36.4 ± 1.9 mg/kg) ölçülmüştür. Ohmik ısıtmanın, doğrudan iç ısıtma mekanizması sayesinde geleneksel yöntemlere kıyasla daha kısa sürede hedef sıcaklığa ulaşması, reaksiyon sürelerini kısaltarak HMF oluşumunu azaltmaktadır. Daha düşük voltaj gradyanı uygulanan örneklerde, özellikle 30 V/cm'de (34.62 ± 1.5 mg/kg), HMF seviyesinin geleneksel yöntemle daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, düşük voltaj seviyelerinde ısınma sürecinin uzaması ve dolayısıyla Maillard reaksiyonlarının daha uzun süre gerçekleşmesi olabilir. Geleneksel yöntemde daha uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalma durumu, HMF oluşumunu artıran bir diğer faktördür. Ohmik ısıtmanın HMF oluşumu üzerindeki etkisine dair yapılan çalışmalarda, işlem süresinin kısaltılmasının HMF miktarını azaltmada kritik bir faktör olduğu belirtilmektedir.

Parmar ve ark. (2018) tarafından yürütülen çalışmada, süt konsantrasyonu amacıyla ohmik ısıtma uygulanmış ve işlem süresine bağlı olarak HMF oluşumunda belirgin artış gözlemlenmiştir. Bu çalışmada paslanmaz çelik elektrotlar kullanılmış ve sistem 13.33 V/cm'lik voltaj gradyanı altında çalıştırılmıştır. HMF içeriği, işlem süresi uzadıkça artmış; özellikle 60. ve 75. dakikalarda keskin bir yükseliş göstermiştir. Ohmik işlemle elde edilen sütlerde HMF değerleri, pastörize ($0.95\text{--}2.14$ $\mu\text{mol/L}$), UHT ($3.46\text{--}5.75$ $\mu\text{mol/L}$) ve sterilize süt ($15.52\text{--}21.38$ $\mu\text{mol/L}$) örneklerinden daha yüksek bulunmuştur.

Silva ve ark. (2020), dulce de leche üretiminde ohmik ısıtmayı geleneksel yöntemle karşılaştırmış ve bu iki yöntem arasında HMF içeriği bakımından anlamlı farklar saptamıştır. 2–10 V/cm arasında değişen voltaj gradyanları ile yapılan işlemde paslanmaz çelik (316) elektrotlar kullanılmıştır. Geleneksel yöntemle üretilen üründe HMF miktarı 9.53 $\mu\text{mol/L}$ iken, ohmik ısıtma uygulanan örneklerde bu değer 7.64–8.54 $\mu\text{mol/L}$ aralığında kalmıştır. Bu bulgular, ohmik ısıtmanın daha kısa işlem süresiyle daha düşük HMF oluşumu sağladığını göstermektedir.

Alkanan ve ark. (2021), domates salçası üretiminde ohmik ısıtma destekli vakum buharlaştırma (OH-VC) yönteminin geleneksel yöntemle kıyasla HMF oluşumu üzerindeki etkisini incelemiştir. Paslanmaz çelik elektrotlar kullanılarak 1.82–3.64 V/cm voltaj gradyanlarında uygulanan sistemde, OH-VC yönteminde HMF içeriği 1.055 ± 0.052 ppm olarak ölçülmüş, buna karşın geleneksel yöntemle üretilen örneklerde bu değer 3.494 ± 0.077 ppm olmuştur. Böylece, ohmik vakum yöntemiyle HMF oluşumunun %69.79 oranında azaldığı bildirilmiştir.

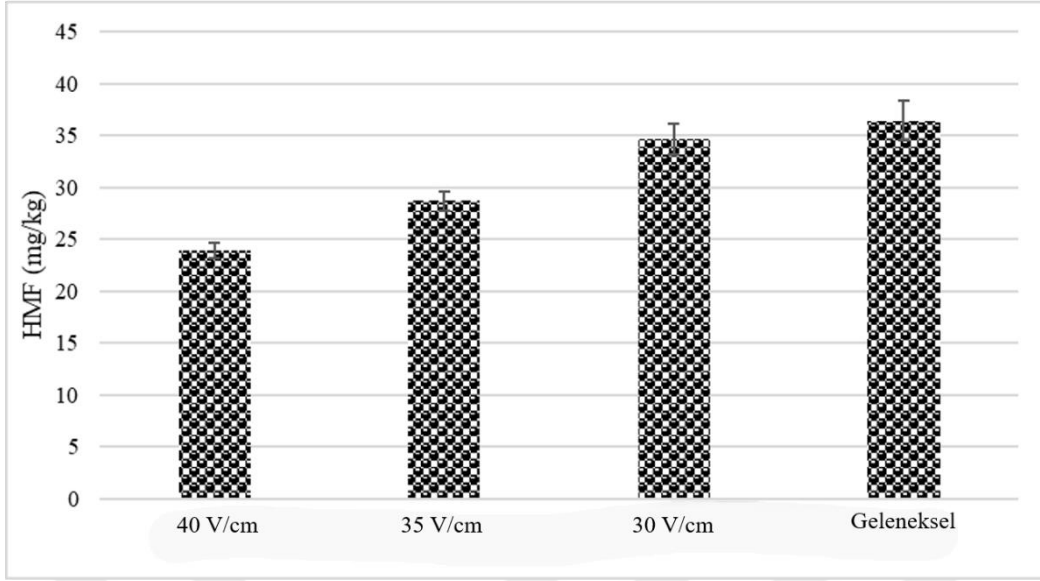
Darvishi ve ark. (2019) tarafından portakal suyunda gerçekleştirilen çalışmada, ohmik vakum ısıtma (OHVC), atmosferik ohmik ısıtma (OHAC) ve konvansiyonel vakum buharlaştırma (CVH) yöntemleri karşılaştırılmıştır. 10–30 V/cm voltaj gradyanı uygulanan bu çalışmada paslanmaz çelik (316L) elektrotlar kullanılmıştır. HMF değerleri doğrudan sayısal olarak verilmemiş olmakla birlikte, OHVC yönteminin HMF oluşumunu en düşük seviyede tuttuğu ifade edilmiştir. Aynı zamanda bu yöntem, vitamin C ve fenolik bileşik kaybını da en aza indirmiştir.

Sabancı ve İçier (2020), vişne suyunun ohmik destekli vakum buharlaştırma (OVE) ve geleneksel vakum buharlaştırma (VE) yöntemleriyle konsantre edilmesini karşılaştırmışlardır. Uygulamada 10, 12 ve 14 V/cm voltaj gradyanları ve titanyum elektrotlar kullanılmıştır. HMF miktarları doğrudan belirtilmemekle birlikte, ohmik ısıtmanın toplam işlem süresini kısaltarak HMF oluşumunu azalttığı, ayrıca enerji ve ekserji verimliliğinde iyileşme sağladığı rapor edilmiştir.

Sabancı ve İçier (2017) tarafından yapılan önceki bir çalışmada da benzer şekilde vişne suyu %65 TSS'ye kadar konsantre edilmiş ve OVE yönteminde geleneksel yöntemle göre daha kısa sürede hedef konsantrasyona ulaşıldığı, bunun da HMF oluşumunu sınırladığı belirtilmiştir. Bu çalışmada da titanyum elektrotlar tercih edilmiştir.

Karakavuk ve ark. (2022) tarafından yürütülen çalışmada, elma suyunun ohmik ısıtma (OE) yöntemiyle konsantrasyonu gerçekleştirilmiş ve bu süreçte farklı voltaj gradyanlarının (13, 15 ve 17 V/cm) kalite parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Paslanmaz çelikten üretilmiş düz plakalı elektrotlar ile gerçekleştirilen sistemde, elma suyu 20 °C'den 100 °C'ye kadar ısıtılmış ve her bir uygulama atmosferik koşullarda sürdürülmüştür. HMF (hidroksimetilfurfural) içeriği, voltaj gradyanına bağlı olarak anlamlı değişiklik göstermiştir. Özellikle, HMF değeri konvansiyonel evaporasyon yönteminde 15.278 ± 0.94 ppm ile en yüksek seviyeye ulaşırken, bu değer 13 V/cm için 12.057 ± 0.11 ppm, 15 V/cm için 8.214 ± 0.55 ppm, ve 17 V/cm için 5.891 ± 0.18 ppm olarak ölçülmüştür. Neticede, artan voltaj gradyanının HMF oluşumunu istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azalttığı ve elma suyunun toplam fenolik madde içeriği (TPC) ve antioksidan aktivite (DPPH) gibi kalite parametrelerinde koruyucu etki sağladığı belirtilmiştir.

Yukarıda belirtilen çalışmalarda özellikle Meyve suyu ve reçel gibi ürünlerde geleneksel termal işlem süreçlerinde yüksek HMF seviyeleri rapor edilirken, ohmik ısıtmanın kontrollü sıcaklık artışı sağlamasıyla bu seviyelerin düşürülebileceği gösterilmiştir. Bu bağlamda, ohmik ısıtma yöntemi, erik marmelatında HMF oluşumunu geleneksel yöntemlere kıyasla önemli ölçüde azaltarak, ürünün kalite parametrelerini iyileştiren bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Optimum işlem koşullarının belirlenmesi ve sıcaklık-voltaj süresi dengesinin dikkatli bir şekilde ayarlanması, HMF oluşumunu en aza indirmek açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 9. Farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtmanın erik marmelatındaki HMF değerleri

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak erik marmelatı üretimi gerçekleştirilmiş ve bu yöntemin ürün kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada, 30, 35 ve 40 V/cm olmak üzere üç farklı voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtma işlemi ile elde edilen marmelatlar, geleneksel yöntemle üretilen örneklerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, ohmik ısıtmanın özellikle fonksiyonel bileşenlerin korunumu, renk stabilitesi ve işlem süresinin azaltılması açısından etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Uygulanan voltaj gradyanlarının artması ile hem ısınma hem de evaporasyon sürelerinin anlamlı şekilde kısaldığı belirlenmiştir. Örneğin, toplam işlem süresi 30 V/cm için 1530 saniye, 35 V/cm için 1140 saniye ve 40 V/cm için 870 saniye olarak kaydedilmiştir. Voltaj arttıkça işlem süresinin kısalması, sistemdeki elektriksel iletkenliğin artışı ile ilişkilidir. Ohmik ısıtma sırasında iletkenliğin sıcaklıkla birlikte yükseldiği, ancak kaynama sürecinde örnek matrisindeki TSS artışına ve köpük oluşumuna bağlı olarak efektif elektriksel iletkenlikte düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. Bu durum, özellikle iyon hareketliliğinin azaldığı konsantrasyon fazlarında daha belirgin hâle gelmiştir.

Fonksiyonel bileşenler açısından değerlendirildiğinde, toplam fenolik madde (TPC) ve antioksidan aktivite (AA) değerlerinin voltaj gradyanı arttıkça yükseldiği görülmüştür. En yüksek TPC ve AA değerleri 40 V/cm uygulamasında saptanmıştır. Bu durum, ohmik ısıtmanın kısa sürede etkili ısı transferi sağlayarak fenolik bileşenlerin oksidatif ve termal degradasyonunu sınırlandırmasıyla açıklanabilir. Benzer şekilde, C vitamini içeriğinin de ohmik ısıtma yöntemi ile daha yüksek seviyelerde korunduğu belirlenmiştir.

Renk analizleri sonucunda, yüksek voltaj gradyanlarında toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin azaldığı ve ürünün daha homojen ve canlı bir renk yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, hidroksimetilfurfural (HMF) oluşumunun, geleneksel yöntemle kıyasla ohmik ısıtma uygulamalarında daha düşük seviyelerde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu bulgu, ohmik ısıtmanın daha kısa sürede işlem tamamlaması ve sıcaklık dağılımının daha kontrollü olmasıyla ilişkilidir.

Sonuç olarak, ohmik ısıtma yöntemi, geleneksel yöntemlere göre daha kısa işlem süresi, daha iyi renk ve fonksiyonel bileşen korunumu, ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi

gibi çok sayıda avantaja sahiptir. Ayrıca, elektriksel iletkenlik parametresinin dikkatle izlenmesi, işlem optimizasyonu açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, ohmik ısıtmanın marmelat gibi yarı katı ürünlerin üretiminde etkili ve uygulanabilir bir alternatif teknoloji olduğu sonucuna varılmıştır. Gelecekte farklı meyve türleri ve formülasyonlarla yapılacak ilave çalışmalar, bu yöntemin endüstriyel ölçekte kullanım potansiyelini daha da güçlendirecektir.



6. KAYNAKLAR

- Ajala, S.** (2012). Production and Quality Evaluation of Ginger-Flavoured Banana Marmalade. http://www.rpublication.com/ijeted/ijeted_index.htm
- Alkanan, Z. T., Altemimi, A. B., Al-hilphy, A. R. S., Cacciola, F., & Ibrahim, S. A.** (2021). Application and effects of ohmic-vacuum combination heating on the quality factors of tomato paste. *Foods*, 10(12), 1–19. <https://doi.org/10.3390/foods10122920>
- Alkanan, Zina. T., Al-Hilphy, Asaad. R. S., Altemimi, A. B., Mandal, R., & Pratap-Singh, A.** (2021). Comparison of quality characteristics of tomato paste produced under ohmic-vacuum combination heating and conventional heating. *Applied Food Research*, 1(2), 100014. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100014>
- Allali, H., Marchal, L., & Vorobiev, E.** (2010). Blanching of strawberries by ohmic heating: Effects on the kinetics of mass transfer during osmotic dehydration. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 406–414. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0115-5>
- Anvoh, K. Y. B., Bi, A. Z., & Gnakri, D.** (2009). Production and Characterization of Juice from Mucilage of Cocoa Beans and its Transformation into Marmalade. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(2), 129–133.
- Aslam, R., Shafiq Alam, M., Kumar Vishwakarma, R., & Maqsood, S.** (2024). Ohmic heating assisted vacuum evaporation chamber: Finite element analysis and evaluation of parameters for processing of amla juice. *Computers and Electronics in Agriculture*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109249>
- Bozkurt, H., & Icier, F.** (2010). Ohmic cooking of ground beef: Effects on quality. *Journal of Food Engineering*, 96(4), 481–490. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.030>
- Castro, I., Teixeira, J. A., Salengke, S., Sastry, S. K., & Vicente, A. A.** (2003). The influence of field strength, sugar and solid content on electrical conductivity of strawberry products. *Journal of Food Process Engineering*, 26(1), 17–29. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2003.tb00587.x>
- Castro, I., Teixeira, J. A., Salengke, S., Sastry, S. K., & Vicente, A. A.** (2004). Ohmic heating of strawberry products: Electrical conductivity measurements and ascorbic

- acid degradation kinetics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5(1), 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2003.11.001>
- Cevik, M.** (2021). Electrical conductivity and performance evaluation of verjuice concentration process using ohmic heating method. *Journal of Food Process Engineering*, e13672. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13672>
- Cevik, M., & Icier, F.** (2021). Comparison of quality attributes of minced beef samples thawed by ohmic and conventional methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2), e15122. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15122>
- Cokgezme, O. F., Sabanci, S., Cevik, M., Yildiz, H., & Icier, F.** (2017). Performance analyses for evaporation of pomegranate juice in ohmic heating assisted vacuum system. *Journal of Food Engineering*, 207, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.03.015>
- Darvishi, H., Mohammadi, P., Fadavi, A., Koushesh Saba, M., & Behrooz-Khazaei, N.** (2019). Quality preservation of orange concentrate by using hybrid ohmic – Vacuum heating. *Food Chemistry*, 289, 292–298. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.043>
- Eliot-Godéreaux, S. C., Zuber, F., & Goullieux, A.** (2001). Processing and stabilisation of cauliflower by ohmic heating technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(01\)00047-9](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(01)00047-9)
- Fadavi, A., Yousefi, S., Darvishi, H., & Mirsaeedghazi, H.** (2018). Comparative study of ohmic vacuum, ohmic, and conventional-vacuum heating methods on the quality of tomato concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 225–230. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2018.03.004>
- Gökmen, V., & Artık, N.** (2006). Reçel üretimi ve kalite kriterleri. *Gıda Dergisi*, 31(1), 25-32.
- Icier, F.** (2003). Gıdaların ohmik ısıtma yöntemiyle ısıtılmasının deneysel ve kuramsal olarak incelenmesi.
- Icier, F.** (2011). Ohmic Heating of Fluid Foods. *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*, 305–367. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381470-8.00011-6>
- Icier, F., Cokgezme, Ö. F., Döner, D., Bayana, D., Kaya, O., & Çabas, B. M.** (2021). Mathematical modelling of vacuum ohmic evaporation process. *Innovative Food*

- Science and Emerging Technologies, 67, 102560.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102560>
- Icier, F., & Ilicali, C.** (2004). Electrical conductivity of apple and sourcherry juice concentrates during ohmic heating. *Journal of Food Process Engineering*, 27(3), 159–180.
- Icier, F., & Ilicali, C.** (2005). The use of tylose as a food analog in ohmic heating studies. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.07.011>
- Icier, F., & Işık, E.** (2005). Ohmic heating of liquid foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(6), 473–486.
- Karakavuk, E., Goksu, A., & Sabanci, S.** (2022). Investigation of electrical conductivity and bioactive quality during ohmic evaporation process of Apple juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, August, 1–12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17036>
- Kaur, N., & Singh, A. K.** (2016). Ohmic Heating: Concept and Applications—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(14), 2338–2351. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.835303>
- Knirsch, M. C., Alves dos Santos, C., Martins de Oliveira Soares Vicente, A. A., & Vessoni Penna, T. C.** (2010). Ohmic heating - a review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 21, Issue 9, pp. 436–441). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.06.003>
- Marra, F., Zell, M., Lyng, J. G., Morgan, D. J., & Cronin, D. A.** (2009). Analysis of heat transfer during ohmic processing of a solid food. *Journal of Food Engineering*, 91(1), 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.08.015>
- Mizrahi, S.** (1996). Leaching of soluble solids during blanching of vegetables by ohmic heating. *Journal of Food Engineering*. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00074-7](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00074-7)
- Mohsen, S., Murkovic, M., El-Nikeety, M., & Abdelmaksoud, T.** (2013). Ohmic heating technology and quality characteristics of mango pulp. *Journal of Food Industries and Nutrition Science*, 3(1), 69–83.
- Özdemir, M., Koyuncu, T., & Demirtaş, M.** (2018). Türkiye'de meyve üretim potansiyeli ve değerlendirme yolları. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(2), 89-97.
- Parmar, R. S., Ananthanarayan, L., & Lele, S. S.** (2018). Ohmic heating for milk concentration: Evaluation of quality parameters and comparison with conventional

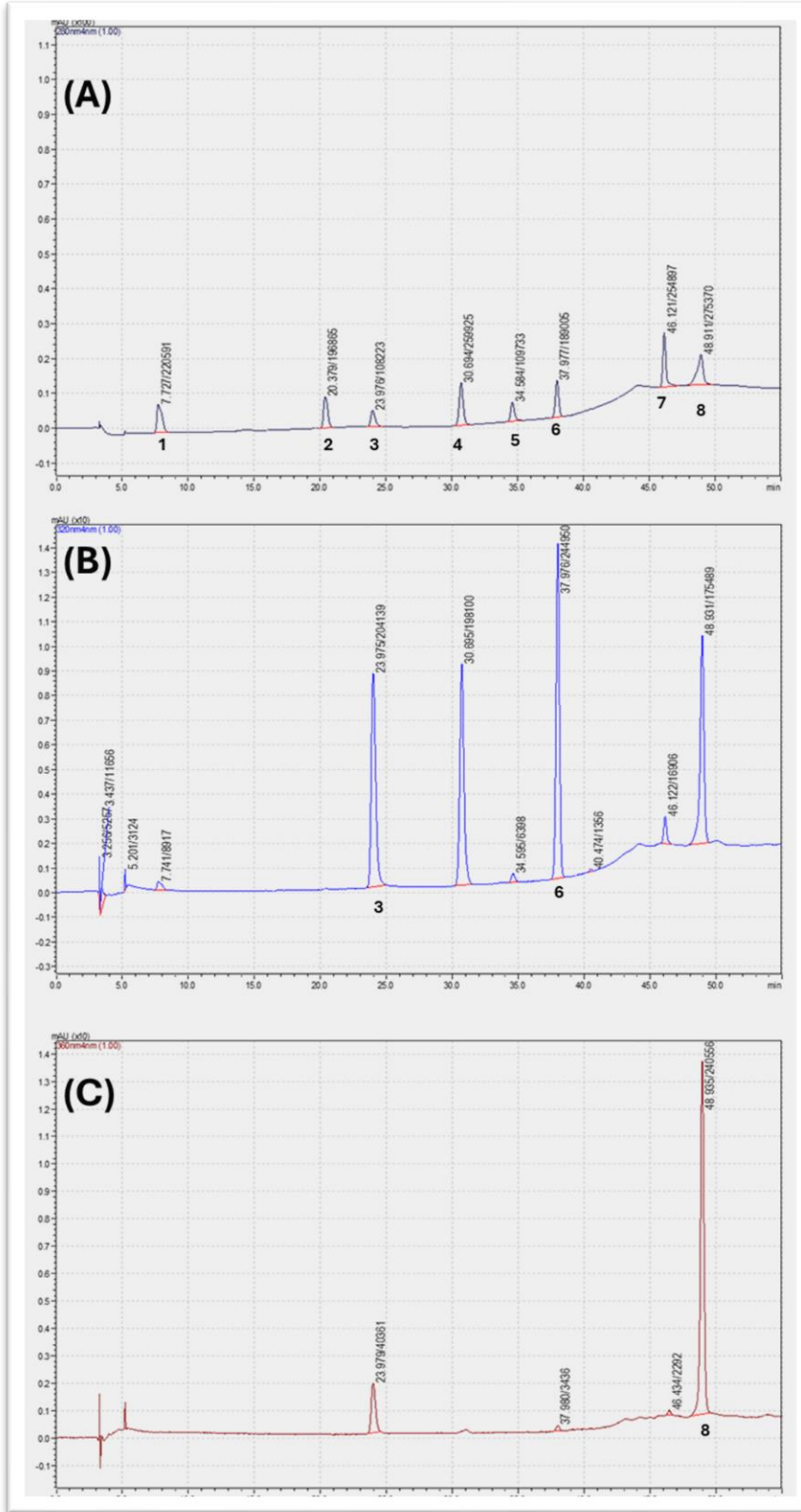
- methods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.013>
- Patras, A., Brunton, N. P., Da Pieve, S., & Butler, F.** (2010). Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, and color of fruit smoothies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(4), 590-595.
- Reznick, D.** (1996). Ohmic heating of fluid foods : Ohmic heating for thermal processing of foods : Government, industry, and academic perspectives. *Food Technology* (Chicago), 50(5).
- Ruan, R., Ye, X., Chen, P., Doona, C. J., & Taub, I.** (2002). The Nutrition Handbook For Food Processors (C. J. K. Henry & C. Chapman, Eds.; 1st ed., pp. 407–422). Woodhead Publishing Series in Food Science.
- Rubio-Arraez, S., Ferrer, C., Capella, J. V., Ortolá, M. D., & Castelló, M. L.** (2017). Development of Lemon Marmalade Formulated with New Sweeteners (Isomaltulose and Tagatose): Effect on Antioxidant, Rheological and Optical Properties. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12371. <https://doi.org/10.1111/JFPE.12371>
- Rubio-Arraez, S., Sahuquillo, S., Capella, J. V., Ortolá, M. D., & Castelló, M. L.** (2015). Influence of Healthy Sweeteners (Tagatose and Oligofructose) on the Physicochemical Characteristics of Orange Marmalade. *Journal of Texture Studies*, 46(4), 272–280. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12127>
- Sabanci, S.** (2021). A study on electrical conductivity and performance evaluation of ohmic evaporation process of grape juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5), e15487. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15487>
- Sabanci, S., & Icier, F.** (2017). Applicability of ohmic heating assisted vacuum evaporation for concentration of sour cherry juice. *Journal of Food Engineering*, 212, 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.004>
- Sabanci, S., & Icier, F.** (2022). Evaluation of an ohmic assisted vacuum evaporation process for orange juice pulp. *Food and Bioprocess Processing*, 131, 156–163. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2021.09.009>
- Sabanci, S., Cevik, M., Cokgezme, O. F., Yildiz, H., & Icier, F.** (2019). Quality characteristics of pomegranate juice concentrates produced by ohmic heating

- assisted vacuum evaporation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(5), 2589–2595. <https://doi.org/10.1002/JSFA.9474>
- Sabanci, S., & Icier, F.** (2019). Effects of Vacuum Ohmic Evaporation on Some Quality Properties of Sour Cherry Juice Concentrates. *International Journal of Food Engineering*, 15(9). <https://doi.org/10.1515/IJFE-2019-0055/MACHINEREADABLECITATION/RIS>
- Samaranayake, C. P., & Sastry, S. K.** (2005). Electrode and pH effects on electrochemical reactions during ohmic heating. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 577(1), 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2004.11.026>
- Sarang, S., Sastry, S. K., & Knipe, L.** (2008). Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 351–356. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2007.12.012>
- Sastry, S.** (2008). Ohmic Heating and Moderate Electric Field Processing. *Food Science and Technology International*, 14(5), 419–422. <https://doi.org/10.1177/1082013208098813>
- Sastry, S. K., & Li, Q.** (1996). Modeling the ohmic heating of foods : Ohmic heating for thermal processing of foods : Government, industry, and academic perspectives. *Food Technology (Chicago)*, 50(5).
- Sastry, S. K., & Palaniappan, S.** (1992). Ohmic heating of liquid–particle mixtures. *Food Technology*, 46(12), 64–67.
- Sastry, S. K., & Salengke, S.** (1998). Ohmic heating of solid-liquid mixtures: A comparison of mathematical models under worst-case heating conditions. *Journal of Food Process Engineering*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1998.tb00463.x>
- Sezer, D., Erdoğan Tokatlı, K., & Demirdöven, A.** (2016). Çakal Eriği ve Yonuz Eriği Marmelatları. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*, 33(2016–1), 125–125. <https://doi.org/10.13002/jafag899>
- Shirsat, N., Lyng, J. G., Brunton, N. P., & McKenna, B.** (2004). Ohmic processing: Electrical conductivities of pork cuts. *Meat Science*. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.12.003>
- Sicari, V., Pellicanò, T. M., Laganà, V., & Poiana, M.** (2018). Use of orange by-products (dry peel) as an alternative gelling agent for marmalade production: Evaluation of antioxidant activity and inhibition of HMF formation during different storage

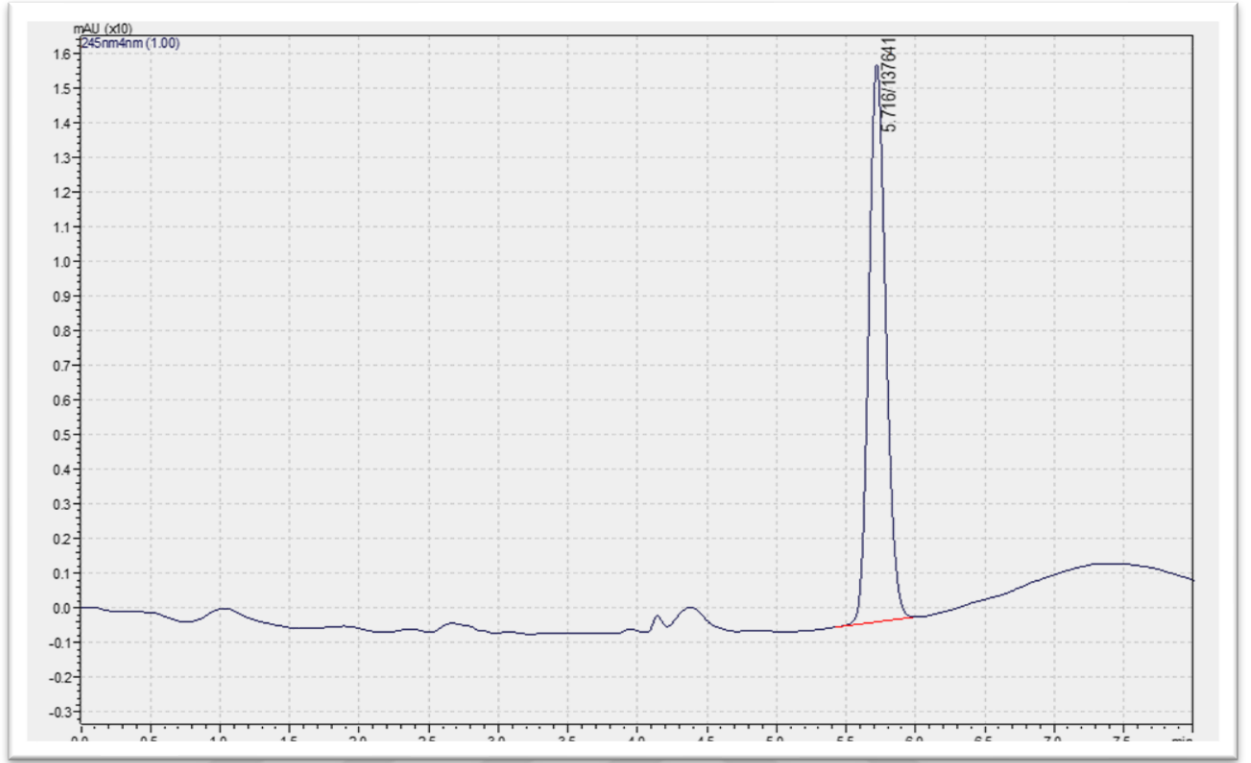
- temperature. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2).
<https://doi.org/10.1111/jfpp.13429>
- Silva, C. F., Pereira, A. L. F., & Souza, R. M.** (2020). Comparative study between conventional and ohmic heating for dulce de leche production: HMF content and quality parameters. *Journal of Dairy Science*, 103(5), 4578–4585.
<https://doi.org/10.xxxx/jds.2020.xxxxxx>
- Tanweer, S., Mehmood, T., Zainab, S., & Shehzad, A.** (2018). Physico-Chemical and Organoleptic Perspectives of Ginger Marmalade. *Journal of Food Processing & Technology*, 09(09). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000752>
- Torkian, B. M., Borghei, A. M., Beheshti, B., & Hosseini, S. E.** (2015). The process of producing tomato paste by ohmic heating method. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 3598–3606. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1424-5>
- Tunç, M. T., Akdoğan, A., Baltacı, C., Kaya, Z., & Odabaş, H. İ.** (2021). Production of grape pekmez by Ohmic heating-assisted vacuum evaporation. *Food Science and Technology International = Ciencia y Tecnologia de Los Alimentos Internacional*, 1082013221991616. <https://doi.org/10.1177/1082013221991616>
- Uçan Türkmen, F., Bingöl, B. N., Şahin, E., Özkaraman, F., & Tekin, Z.** (2019). Production of traditional marmalade with mixed fruit based plum (*Prunus domestica*). *GIDA*, 44(4), 707–718. <https://doi.org/10.15237/gida.GD19065>
- Vangapandu, V. R., & Bitra, V. S. P.** (2023). Optimization of Process Parameters of Ohmic Heating-Assisted Vacuum Evaporation of Guava Juice and Quality Assessment of Its Concentrate. *Food and Bioprocess Technology*, 16(7), 1609–1624. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03019-y>
- Yilmaz, T., Başaran, A., & Civi, C.** (2018). Induction Assisted Fruit Processing: A Case Study Apricot Marmalade Production. In S. Salman, R. Karapınar, D. Kavak, & A. Kılıçer (Eds.), *Current Academic Studies in Engineering Sciences* (pp. 521–529). IVPE. <https://www.researchgate.net/publication/330620227>
- Zhao, Y., Kolbe, E., & Flugstad, B.** (1999). Method to characterize electrode corrosion during ohmic heating. *Journal of Food Process Engineering*.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1999.tb00472.x>
- Zhou, K., Sun, S., & Cai, Y.** (2021). Nutritional and functional properties of plums. *Journal of Functional Foods*, 82, 104511.

EKLER

EK1. Fenolik dağılımın HPLC görüntüsü



EK2. Erik örneklerinde C vitamini'ne ait kromatogram



EK3. Erik örneklerinde hidroksimetilfurfural (HMF) bileşiğine ait kromatogram (284 nm dalga boyunda).

