

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**OHMİK ISITMA İŞLEMİNİN SÜTÜN EVAPORASYONUNDA KULLANIMI,
ELEKTRİKSEL İLETKENLİK, PERFORMANS ANALİZİ VE BAZI KALİTE
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Seda ARIÇ SÜRME

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Serdal SABANCI

TUNCELİ-2021

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**OHMİK ISITMA İŞLEMİNİN SÜTÜN EVAPORASYONUNDA KULLANIMI,
ELEKTRİKSEL İLETKENLİK, PERFORMANS ANALİZİ VE BAZI KALİTE
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Seda ARİÇ SÜRME
(18110102102)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Serdal SABANCI

TUNCELİ-2021

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**OHMİK ISITMA İŞLEMİNİN SÜTÜN EVAPORASYONUNDA
KULLANIMI, ELEKTRİKSEL İLETKENLİK, PERFORMANS ANALİZİ VE BAZI
KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Seda ARİÇ SÜRME
YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 30/06/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği/ oyçokluğu** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

Dr. Öğr. Üyesi Serdal
SABANCI
(Munzur Üni.)
DANIŞMAN

İmza:.....

Prof. Dr. Olcay KAPLAN
İNCE
(Munzur Üni.)
ÜYE

İmza:.....

Dr. Öğr. Üyesi Hamza
BOZKIR
(Munzur Üni.)
ÜYE

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

Doç. Dr. Murat KORUNUR

Enstitü Müdürü

İmza ve Mühür

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

Seda ARİÇ SÜRME

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Serdal SABANCI

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışma boyunca değerli katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Serdal SABANCI'ya, daha sonra bana pandemi ortamında tezimin yürütülmesi için laboratuvar ortamında destek veren hocam Arş. Gör. Ali GÖKSU'ya ve tezimin hazırlanması süresince yardımcı olan değerli hocam Arş. Gör. Dr. Emrah KARAKAVUK'a sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Her zaman yanımda manevi destek olan canım ailem; babam Faik ARİÇ, annem Halime ARİÇ, abim Serhat ARİÇ ve kardeşim Berna ARİÇ'e minnettarlığımı sunarım.

Tez dönemimde her türlü zorlukta yanımda duran eşim Emre SÜRME ve varlığı ile bana güç veren kızım Tuana SÜRME'ye teşekkür eder tarafımdan hazırlanan bu tez çalışmasını onlara atfederim.

Seda ARİÇ SÜRME
TUNCELİ-2021

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IV
TABLolar LİSTESİ	V
SEMBOLLER LİSTESİ	VI
KISALTMALAR LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1. Süt	4
2.2. Ohmik Isıtma.....	6
2.3. Ohmik Evaporasyon Konusunda Yapılan Bazı Çalışmalar	7
3. MATERYAL VE METOT.....	12
3.1. Malzemeler.....	12
3.2. Metot	12
3.2.1. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi	12
3.2.2. Geleneksel evaporasyon işlemi	12
3.3. Analizler.....	14
3.3.1. Elektriksel iletkenlik	14
3.3.2. Suda çözünür kuru madde tayini.....	15
3.3.3. Enerji ölçümlerinin yapılması	15
3.3.4. İşlem süresinin belirlenmesi.....	16
3.3.5. Renk değişiminin incelenmesi.....	16
3.3.6. Hidroksimetil furfural değişiminin incelenmesi.....	16
3.3.7. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon ve geleneksel evaporasyon işlemlerinin performans değerlendirmesi	16
3.4. İstatistiksel Değerlendirme.....	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Evaporasyon İşleminde Süre ve Sıcaklık Değişiminin Belirlenmesi.....	21
4.2. Elektriksel İletkenlik Değerinin Belirlenmesi.....	25
4.3. Ohmik Isıtma Destekli Evaporasyon İşleminde Zamana Bağlı Nem İçeriğinin Değişimi	31
4.4. Ohmik Isıtma Destekli Evaporasyon İşleminin Performans Değerlendirilmesi.....	32
4.5. Evaporasyon İşleminin Hidroksimetil Furfural İçeriği Üzerine Etkisi	35
4.6. Evaporasyon İşleminin Renk Değerleri Üzerine Etkisi	36
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	39
6. KAYNAKLAR.....	41
EKLER	46
ÖZGEÇMİŞ	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Süt evaporasyon için kullanılan evaporasyon işleminin şematik gösterimi (a- Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi, b-Geleneksel evaporasyon işlemi). 13	13
Şekil 4.1. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde süreye bağlı sıcaklık değişimi ... 24	24
Şekil 4.2. Ohmik ısıtmanın sıcaklığa ve elektriksel iletkenliğe etkisi..... 30	30
Şekil 4.3. Farklı güçlerde ohmik ısınma uygulamasının nem değişimine etkisi 32	32
Şekil 4.4. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon (ODE) işlemi ve geleneksel evaporasyon işlemine ait hidroksimetilfurfural (HMF) içerikleri..... 35	35
Şekil 4.5. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon ve geleneksel evaporasyon işlemi ile elde edilen renk sonuçları 38	38

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Elektriksel iletkenlik sıcaklık ilişkisini veren denklem ve istatistiksel katsayılar	26
Tablo 4.2. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon ve geleneksel evaporasyon işlemlerinden elde edilen performans verileri	34



SEMBOLLER LİSTESİ

g	:Gram
mL	:Mililitre
nm	:Nanometre
°C	:Santigrat derece
v/v	:Hacimce yüzde
µg	:Mikrogram
µL	:Mikrolitre
nm	:Nanometre
p	:İstatistiksel önem değeri
Kal	:Kalori
Hz	:Hertz
J	:Joule
Pa	:Pascal
L*	:Beyazlık
a*	:Kırmızılık
b*	:Sarılık
Cp	:Özgöl ısı değeri
Dak	:Dakika
S	:Saniye
T	:Sıcaklık
η	:Verim
Dest	:Yokolan terim
İn	:Giren terim
Out	:Çıkan
Loss	:Kayıp
Q	:Enerji
H	:Entalpi
S	:Entropi
Wr	:Uzaklaşan su miktarı
Fg	:Hissedilebilir enerji
Q	:Enerji akışı
V	:Volt
L	:İki elektrot arasındaki mesafe

KISALTMALAR LİSTESİ

KM	:Kuru madde
ODE	:Ohmik ısıtma destekli evaporasyon
HMF	:Hidroksimetil furfural
IP	:İyileştirme potansiyeli
FAO	:Birleşmiş milletler gıda ve tarım örgütü
FFA	:Serbest yağ asitleri
SÇKM	:Suda çözünür kuru madde
POM	:Polioksimetilen
TCOE	:Toplam harcanan ohmik ısıtma enerjisi
EX	:Ekserji
EC	:Elektriksel iletkenlik
MC	:Nem içeriği
G	:Geleneksel evaporasyon işlemi
A	:Yüzey alanı

ÖZET

Bu çalışma kapsamında nem içeriği 7.85 ± 0.02 kg su/kg KM süt örneği ohmik ısıtma destekli evaporasyon (ODE) ve geleneksel evaporasyon işlemi kullanılarak yaklaşık 3 ± 0.12 kg su/kg KM içeriğine kadar konsantre edildi. ODE işlemi kullanılarak konsantre edilen süt örneğinin işlem süresince sıcaklık değişimi, toplam işlem süresi ve elektriksel iletkenlik değeri incelenmiştir. Ayrıca geleneksel evaporasyon işlemi ve ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi ile konsantre edilen sütün performans ve bazı kalite özellikleri incelenmiş ve iki yöntem istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi kullanılarak 3 farklı voltaj gradyanında (7-11 V/cm) 20 °C'den kaynama noktasına kadar sütün ısınma süresinin 10-30 dakika arasında olduğu ve artan voltaj gradyanının ise işlem süresini kısalttığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Başlangıç nem içeriği 7.85 ± 0.02 kg su/kg KM değerinde olan süt örneğinin yaklaşık 3 ± 0.12 kg su/kg KM değerine kadar evaporasyon süresinin ise 31-92.5 dakika arasında değiştiği ve artan voltaj gradyanının işlem süresi üzerine olumlu etkisi olduğu, ayrıca geleneksel evaporasyon işleminin ise 41 dakika olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Evaporasyon işlemi sırasında artan konsantrasyona bağlı olarak kaynama noktasında yaklaşık 1 °C artış olduğu tespit edilmiştir. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde nem içeriğinin yaklaşık 3 ± 0.12 kg su/kg KM içeriğine kadar konsantrasyonu sırasında zaman ile nem ilişkisi arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve R^2 değerinin ise 0.99'dan büyük olduğu belirlenmiştir.

Gelişen teknoloji ile birlikte sistem ve/veya işlem verimliliği önemli bir parametre olarak dikkate alınmaktadır. Mevcut çalışmada ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminin performans değerleri incelenmiş ve enerji verimlilik değerinin %67.1-56.3 arasında değiştiği geleneksel evaporasyon işleminin enerji verimliliğinin ise %37.1 olduğu tespit edilmiştir. Ekserji verimlilik değerinin ise %59.3-49.7 arasında değiştiği ve geleneksel evaporasyon işleminde elde edilen ekserji değerinin ohmik ısıtma işleminden daha düşük ve %32.7 olduğu tespit edilmiştir.

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminden elde edilen konsantrede sütün hidroksimetilfurfural (HMF) ve renk özellikleri incelenmiştir. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi ile elde edilen konsantre süt örneklerinin HMF değerinin 10.2-18.0 mg/L arasında olduğu geleneksel evaporasyon işlemi ile elde edilen süt örneğinin HMF içeriğinin ise 17.7 mg/L düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde elde edilen HMF içeriğinin daha düşük olduğu ancak işlem süresinin azalan voltaj gradyanına bağlı olarak artmasının HMF içeriğini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak nem içeriği 7.85 ± 0.02 kg su/kg KM değerindeki süt ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi ile başarılı bir şekilde yaklaşık 3 ± 0.12 kg su/kg KM değerine kadar konsantre edilmiştir. Ohmik ısıtma uygulamasında, işlem süresinin daha kısa, enerji ve ekserji verimliliği bakımından daha yüksek verim elde edilmiştir. Kalite özellikleri açısından HMF içeriği daha düşük konsantre süt örneği 11 ve 9 V/cm ohmik uygulamalarında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ohmik ısıtma, evaporasyon, elektriksel iletkenlik, enerji, ekserji, kalite

ABSTRACT

Usage Of Ohmic Heating Process in Milk Evaporation, Electrical Conductivity, Performance Analysis and Determination of Some Quality Properties

In this study, the moisture content of 7.85 ± 0.02 kg water/kg DM milk sample was concentrated to a content of approximately 3 ± 0.12 kg water/kg DM using ohmic heating assisted evaporation (OHAE) and traditional evaporation process. The temperature change, total processing time and electrical conductivity value of the concentrated milk sample using the OHAE process were investigated. In addition, the performance and some quality characteristics of concentrated milk by traditional evaporation process and ohmic heating assisted evaporation process were examined and the two methods were compared statistically.

The heating time of milk from 20°C to boiling point was between 10-30 minutes at 3 different voltage gradients (7,11 V/cm) using OHAE and increasing voltage gradient shortened the processing time ($p < 0.05$). The evaporation time of the milk sample with an initial moisture content of 7.85 ± 0.02 kg water/kg DM to approximately 3 ± 0.12 kg water/kg DM value varies between 31-92.5 minutes and the increasing voltage gradient has a positive effect on the processing time. In addition, it was determined that the traditional evaporation process was completed in 41 minutes ($p < 0.05$). During the evaporation process, it was determined that there was an increase approximately 1°C in the boiling point, depending on the increasing concentration. In OHAE process, there was a linear relationship between time and moisture during the milk concentration to about 3 ± 0.12 kg water/kg DM content, and the R^2 value was greater than 0.99.

With the developing technology, system and/or process efficiency is considered as an important parameter. In the present study, the performance values of OHAE process were examined and the energy efficiency value ranged between 67.1-56.3% and the energy efficiency of the traditional evaporation process was 37.1%. The exergy efficiency value varies between 59.3-49.7% and the exergy value obtained in the conventional evaporation process is 32.7% lower than the ohmic heating process.

Hydroxymethylfurfural (HMF) and color properties of the concentrated milk obtained from OHAE evaporation process were investigated. The HMF value of the concentrated milk samples were between 10.2-18.0 ppm, and the HMF content of the milk sample obtained by the traditional evaporation process was 17.7 ppm. The HMF content of sample from OHAE process is lower, but the increase in the processing time due to the decreasing voltage gradient affects the HMF content negatively.

As a result, the moisture content of 7.85 ± 0.02 kg water/kg DM milk was successfully concentrated to a value of approximately 3 ± 0.12 kg water/kg DM by OHAE. In the ohmic heating application, shorter processing time and higher efficiency in terms of energy and exergy efficiency were obtained. Concentrated milk sample with lower HMF content in terms of quality characteristics was obtained in 11 and 9 V/cm ohmic applications.

Key Words: Ohmic heating, evaporation, electrical conductivity, energy, exergy, quality

1. GİRİŞ

Tarih boyunca, gıdaların muhafazası amacıyla uygulanan en önemli yöntemlerin başında ısıtma işlemi gelmektedir. Sanayide özellikle ürünlerin ısıtılması amacıyla indirekt ısıtma işlemi kullanılmaktadır (Sabancı, 2017). Bu amaç için sanayide fosil yakıtlardan elde edilen buhar ısı kaynağı olarak tercih edilmektedir. Ancak fosil yakıtların kullanılması çevreye zararlı olup aynı zamanda uygulama sırasında indirekt ısıtma ile bölgesel ısınmalar meydana gelmesi gibi olumsuzluklara neden olmaktadır. Bölgesel ısınma olması özellikle üründe kalite kaybı, aroma kaybı, istenmeyen bileşen oluşumu ve üründe kabuk oluşumuna neden olmaktadır (Sabancı, 2017).

Isıtma işlemi sanayide pastörizasyon, sterilizasyon, kurutma, destilasyon ve evaporasyon gibi ısı transferinin önemli olduğu işlemlerin yanında ekstraksiyon gibi önemli ayırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Isıl işlemin bu kadar geniş bir çalışma alanı olması ve yukarıda bahsedilen dezavantajları nedeniyle sanayide ısıtma uygulamaları ile ilgili farklı yenilikçi ve minimal işlem özelliğine sahip ısıtma teknikleri araştırılmakta ve bulunmaktadır (Cassano ve ark., 2003). Bu araştırma teknikleri mikrodalga ısıtma, ohmik ısıtma, radyo frekans ısıtma ve kızıl ötesi ısıtma olarak tanımlanmaktadır (Baysal ve ark., 2011).

Isıtma işleminin önemli uygulamalarından olan evaporasyon işlemi sanayide özellikle ürünlerin muhafazası amacıyla pek çok ürün için kullanılmaktadır. Gıdalarda evaporasyon işlemi fiziksel olarak üründe bulunan suyun uzaklaşması olarak tanımlanmaktadır. Evaporasyon işleminin en önemli avantajları; üründen uzaklaşan suya bağlı olarak su aktivitesi değeri azalmakta ve ürün mikrobiyolojik olarak daha güvenli hale gelmektedir. Bunun yanı sıra suyun uzaklaşması ile ürünün hacmi azalması ile ürünün daha fazla depolanması, azalan hacme bağlı olarak taşıma maliyeti düşmektedir (Onsekizoğlu ve ark., 2010; Sabancı, 2017). Ayrıca evaporasyon işlemi kendinden sonra uygulanacak teknoloji için önemli bir basamaktır. Örneğin şeker kristalizasyonu amacıyla ve kurutma işlemi öncesi ürünlere uygulanmaktadır (Geankoplis, 2003). Sanayide uygulanan evaporasyon işlemlerinin büyük evaporatörlere ihtiyaç duyması, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve uygulama sırasında üründe kalite kayıpları olması nedeniyle alternatif teknikler ile evaporasyon işlemi araştırmacılar tarafından incelenmektedir. Bu tekniklerin başında ohmik ısıtma ve mikrodalga ısıtma gelmektedir (Bozkır ve Baysal, 2017; Sabancı, 2017).

Ohmik ısıtma işlemi iki elektrot arasında bulunan ürünün alternatif akım geçirilerek ürün içerisinde ısı jenerasyonu meydana gelerek ısınma prensibine dayanmaktadır (İçier, 2012). Ohmik ısıtma işlemi homojen, hızlı ve verimli bir ısıtma tekniği olarak tanımlanmaktadır. Ohmik ısıtma kullanarak evaporasyon işlemi atmosferik ve vakum altında olmak üzere iki şekilde incelenmiştir (Sabancı, 2017). Literatürde özellikle deniz suyu (Assiry, 2011; Assiry ve ark., 2010), portakal (Darvishi ve ark., 2019), üzüm (Tunç ve ark., 2021), koruk suyu (Çevik, 2021), vişne suyu (Sabancı ve İçier, 2017; Sabancı ve İçier, 2020; Sabancı ve İçier, 2019), domates suyu (İçier ve ark., 2021; Boldaji ve ark., 2015) ve nar suyu (Çokgezme ve ark., 2017; İçier ve ark., 2017; Sabancı ve ark., 2018) gibi pek çok meyve suları araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Yazarların bilgisi dahilinde ise süt örneğinin ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi ile yapılmış bir adet çalışmaya rastlanmıştır. İlgili yayın detaylı olarak literatür özeti kısmında açıklanmıştır (Parmar ve ark., 2018).

Mevcut tez çalışmasında süt örneği 7.85 ± 0.02 kg su/ kg kuru madde (KM) içeriğinden ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi ile yaklaşık 3 ± 0.12 kg su/ kg KM içeriğine kadar konsantre edildi. Konsantrasyon işlemi süresince toplam işlem süresi ve sıcaklık dağılımları incelendi ve ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi sırasında zamana bağlı nem içeriği değeri tespit edildi. Ohmik ısıtma işlemi için önemli bir parametre olan elektriksel iletkenlik değeri incelendi. Ayrıca atmosferik koşullar altında elde edilen konsantre süt örneğinin performans değerleri tespit edilip, geleneksel evaporasyon işlemi ile karşılaştırıldı. Mevcut tez çalışmasının ohmik ısıtma destekli evaporasyon (ODE) işlemi kullanılarak 7.85 ± 0.02 kg su/kg KM içeriğindeki süt örneğinin evaporasyonu incelenmiş ve çalışmanın amaçları aşağıda sıralanmıştır. Buna göre:

- ODE işlemi ile sütün 7.85 ± 0.02 kg su/kg KM içeriğinden yaklaşık 3 ± 0.12 kg su/kg KM içeriğine kadar konsantre edilmesi,
- ODE işlemi ile sütün ısınma periyodu ve kaynama periyodu süresince sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi,
- ODE işlemi ile sütün ısınma ve kaynama periyodundaki elektriksel iletkenlik değerinin incelenmesi, sıcaklık ve nem içeriğine bağlı olarak elektriksel iletkenlik ilişkisinin incelenmesi,
- ODE işlemi ve geleneksel evaporasyon işlemi ile elde edilen konsantre süt örneği üretiminin enerji/ekserji değerlerinin belirlenmesi ve istatistiksel olarak karşılaştırılması,

- ODE işlemi ve geleneksel evaporasyon işlemi ile elde edilen konsantre sütün bazı kalite özelliklerinin karşılaştırılmasıdır.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Süt

Sütün tarihi, insanların avcılık ve toplayıcılıktan daha yerleşik bir yaşam biçimine geçişe başladığı Neolitik Çağ'da başladığı düşünülmektedir. Bu da besin elde etmek için kaynaklar bulmada yeni olanaklar sağlamıştır. Tarım uygulamalarının gelişmeyle birlikte en önemlisi; etlerine, kürklerine ve tabii ki sütlerine sürekli erişim anlamına gelen hayvanların evcilleştirilmesiydi. Geviş getiren hayvanları (keçiler, inekler ve koyunlar) evcilleştirme girişimleri 11.000 yıl önce Orta Doğu'da başlamıştır. Yüzyıllar boyunca süt, çiftlik hayvanlarının yetiştirildiği her yerde arzu edilen ve değerli bir besin kaynağı haline gelmiş ve hala gelişmeye devam etmektedir (Eren, 2018).

Makro ve mikro birçok besin maddesi içeren süt, beslenme fizyolojisi açısından önemli bir besin kaynağı olarak bilinmektedir. Sağlık uzmanları tarafından süt ve süt ürünlerini tüket(il)meye teşvik edilmesi tavsiye edilmektedir. Süt ve süt ürünleri kalsiyum ve fosfor başta olmak üzere önemli mineraller ve başta riboflavin olmak üzere B grubu vitaminlerin kaynağını oluşturmaktadır. Bağışıklık üzerindeki olumlu etkisi ve kalsiyum emilimini sağlama, diş çürüklerine karşı korumada ve vücut ağırlığını korumadaki etkisi, kan basıncını ve kanser riskini azaltmadaki etkisi süt proteinlerinin vücuttaki büyüme ve gelişmedeki önemini ortaya koymaktadır (Çebi ve ark., 2018).

Süt; memeli hayvanların yavrusunun ihtiyacı olan tüm besin unsurlarını içeren ve hayvandan hayvana değişiklik gösteren doğadaki tek gıda maddesi olarak tanımlanmaktadır. Sütün enerji içeriği karbonhidratlar, yağlar ve proteinlerden oluşmakta ve çeşidine göre farklılık göstermektedir. 100 mL sütte 65 kal, 4.7 g karbonhidrat, 3.8 g yağ ve 3.3 g protein bulunmaktadır. Vücudun yenilenmesi, büyümesi ve çalışması için dengeli beslenme; gerekli enerji ve besin öğelerinin her birinin yeterli oranlarda alınmasıdır. Sağlıklı ve doğru beslenme alışkanlığı edinmede okul çağı büyük önem taşımaktadır. Bu dönemde enerjiye, proteinlere, vitaminlere ve minerallere daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır çünkü fizyolojik, psikolojik ve sosyal gelişimin hızlı olduğu bir dönemdir. Düzenli olarak süt ve süt ürünleri tüketmek çocukların büyümelerinin ideal oranda gerçekleşebilmesi, yeterli ve dengeli beslenmesinin sağlanmasında büyük önem taşımaktadır (Şahinöz ve Özdemir, 2017).

Sütün beslenmedeki yeri her geçen gün önemini artırmaktadır. Ülkemizde süt ve süt ürünleri, hem üretim hem de tüketim açısından değerlendirildiğinde hala istenilen düzeye

ulaşamamıştır. Kişi başına düşen süt tüketimi Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde, ortalama 331 kg/yıl, ülkemizde ise bu durum 171 kg/yıl olduğu rapor edilmiştir. Gençlere beslenme konusunda alışkanlıklar kazandırarak sağlıklı bir toplum oluşturmak gerekmektedir. Gençlerde sık görülen özellikle öğün atlama (kahvaltı, öğle yemeği), daha fazla hazır yemek tüketimi beslenme davranışlarıdır ve beslenmede bozukluklara yol açmaktadır (Şahinöz ve Özdemir, 2017).

Türkiye, dünya süt üretiminden 2016 yılında 16.8 milyon ton üretimi ile %2.55'lik pay almakta ve en büyük süt üreticileri arasında 10. sırada yer almaktadır. Tarımsal üretim değeri içinde hayvansal üretimin payı %34, süt üretiminin payı ise %14'tür. Ülkemizde gıda sanayi içinde %15 üretim değerine sahip süt ve süt ürünleri sanayisi, sütün bileşiminde önemli birçok besin öğelerini barındırması, insan yaşamı boyunca tüketilmesi gereken temel bir besin maddesi olması ve ülke ekonomisine sağladığı değer açısından oldukça önemli bir alt sektördür. Süt ürünleri açısından değerlendirildiğinde, içme sütü, tereyağı, yoğurt, peynir ve diğer fermente süt ürünleri ve bunların çeşitlilik göstermesi ve tüketim aşamasına kadar geçen çalışmalar düşünüldüğünde, süt ve süt ürünlerinin ülke ekonomisi için önemi çok net anlaşılabılır (Gün ve ark., 2018).

Şu anda, küresel süt üretimine 5 hayvan türü hakimdir: süt sığırları, manda, keçiler, koyunlar ve develerden oluşmaktadır. FAO verilerine göre (2010) 2009 yılı toplam dünya süt üretimi 696.6 milyon ton olarak gerçekleşmiştir; bunun %83.3'ü (580.5 milyon ton) inek sütü, %13'ü (90.3 milyon ton) manda sütü %2.2'si (15.1 milyon ton) keçi sütü, %1.3 (9 milyon ton) koyun sütü ve %0.2 (1.6 milyon ton) deve sütü olarak rapor edilmiştir (FAO 2019).

Konsantre süt ise özellikle süt tozu üretiminde kullanılmakla beraber yoğurt vb. ürünlerin suda çözünür kuru madde içeriğindeki artış sağlanmaktadır. Ayrıca özellikle ülkemizde yoğun olarak kullanılmasa da Orta Asya ülkelerinde yaygın şekilde konsantre süt kullanılmaktadır. Ayrıca ülkemizde süt ve şeker konsantre edilerek süt reçeli de konsantre süt ürünlerine verilebilecek önemli ürünlerin başında gelmektedir (Parmar ve ark., 2018). Bu nedenle süt ürününün konsantre edilmesi sırasında güncel yöntemin kullanılması ve bazı fiziksel, kimyasal özelliklerin değerlendirilmesinin literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2.2. Ohmik Isıtma

Joule ısıtma, elektriksel direnç ısıtma, elektro iletim gibi farklı şekillerde isimlendirilen ohmik ısıtma, gıdanın 50-60 Hz frekansta alternatif akım geçen sistemde direnç olarak kullanılması ve ürün içerisinde ısı jenerasyonu ile ürünün ısınma prensibine dayanmaktadır (İçier, 2012). Gıda maddesinin sahip olduğu elektriksel iletkenlik değerine bağlı olarak gıdanın içinden geçen akıma bağlı olarak elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşmektedir. Özellikle yüksek elektriksel iletkenlik değerlerine sahip sıvı gıdalarda hızlı ve homojen bir sıcaklık artışı oluşmaktadır (Kaur ve Singh, 2016). Ohmik ısıtma kısa işlem süresi, homojen ve hacimsel olarak ısınma sağlanması nedeniyle yüksek kalitede ürün sağlamaktadır. Aynı zamanda elektrik enerjisinin direkt olarak gıdaya verilmesi ve gıda içerisinde ısı enerjisine dönüşmesi nedeniyle oldukça verimlidir, diğer yandan ısınma sırasında ve sonrasında yan ürün oluşturmadığı için çevreci bir sistem olarak da bilinmektedir (Baysal ve ark., 2011).

Ohmik ısıtma; ısıtma, pastörizasyon, pişirme vb. amaçlarla alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır ve ohmik ısıtma ile nispeten daha iyi ürünler elde edildiği farklı çalışmalar ile ortaya konmaktadır. Günümüzde enerji açısından verimli üretim sistemlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Ohmik ısıtmanın geleneksel vakum sistemlerine entegrasyonu, verimli enerji kullanımı ile yüksek kaliteli konsantre ürün üretimine katkı sağlayabilir (Sastri, 2008).

Ohmik ısıtma, son 15 yılda ortaya çıkan en yeni işleme teknikleri alternatiflerinden birisi olarak bilinmektedir. Ohmik ısıtma, gelişmiş bir ısıtma işlemidir. Yiyeceklerin içinden ısının dahili olarak üretildiği alternatif bir akımı geçirir. Günümüzde ohmik ısıtma bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Elektriksel kontrolü, gıda bileşenlerinin elektriksel iletkenlikleri eşit şekilde ısı üretmek için gıda matrisleri boyunca kontrol ederek kullanılabilir. Ohmik ısıtma ile elektriksel ön işlemin yoğunluğu azaltılabileceğini göstermiştir. Ohmik ısıtma, hacimsel olarak gıda sisteminin kütlesinin tamamını ısıtabilir bir ısıtma işlemi olarak görünmektedir. Daha hızlı ısınma sağlayarak gelenekselden daha az enerji tüketimi ve daha iyi kalite sağladığı rapor edilmiştir. Tek tip ısıtma, sistemin anında kapanma yeteneği ve düşük bakım maliyetleri ohmik ısıtma sisteminin diğer ana avantajlarıdır (Baysal ve ark., 2011; İçier, 2012; Nayak ve ark., 2015).

Yüksek sıcaklıklara ani olarak çıkabilmesi nedeniyle ohmik ısıtma işleminde ısınma süresi çok kısa sürmekte bu da ürün kalitesini olumlu şekilde etkilemektedir. Meyve suları

(Darvishi ve ark., 2011, 2013; İçier ve Ilıcalı, 2005; İçier ve Ilıcalı 2004; Yıldız ve ark., 2009), süt (İçier ve Tavman, 2006; Parmar ve ark., 2018), et ve et ürünleri (Çevik ve İçier, 2018; İçier ve ark., 2014; Sabancı, 2020; Yıldız-Turp ve ark., 2013; Zell ve ark., 2009), çorba (İçier, 2012) gibi tekdüze elektriksel iletkenliğe sahip olan gıda maddelerinde ısıtma, pastörizasyon, sterilizasyon gibi amaçlarla kullanılabilen ohmik ısıtma sistemi kolaylıkla aseptik sistemlere adapte edilebilmektedir (Baysal ve ark., 2011; İçier, 2012). Homojen bir ısınma sağladığı için karıştırma işlemine ihtiyaç duyulmaması nedeniyle hassas gıdaların ısıtılmasında kullanıma uygun olduğu bilinmektedir. Ayrıca gücün kesilmesinden sonra ısı birikim olmaması nedeniyle de sistem kontrolü kolay olmaktadır. 50-60 Hz frekanstaki alternatif akım kullanılarak işlem gerçekleştirilebildiği için oldukça basit güç kaynakları kullanılarak ısıtmanın yapılması ve üretim hattına adapte edilebilmesi nedeniyle kurulum maliyetinin de oldukça düşük olduğu bilinmektedir (Baysal ve ark., 2011).

Bunların yanında ohmik ısıtmanın bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle homojen olmayan elektriksel iletkenlik değerlerine sahip gıda maddelerinin ısıtılması sırasında gıda içerisinde farklı sıcaklık dağılımları olması kullanım alanını kısıtlamaktadır. Elektrik akımının sürekli olabilmesi için elektrot temasının kesilmemesi gerekmektedir aksi durumda yüzeylerde yer yer yanmalar gerçekleşmektedir. Bunun yanında yüksek gerilim değerlerine çıkılması nedeniyle sistemi kullanacak personelin eğitimli olması gerekmektedir. Ayrıca sürekli olarak yalıtımın en iyi şekilde sağlanması gerekmektedir (Baysal ve ark., 2011; İçier, 2012; Sabancı, 2017).

2.3. Ohmik Evaporasyon Konusunda Yapılan Bazı Çalışmalar

Ohmik ısıtma gıda endüstrisinde ısıtma, pastörizasyon ve sterilizasyon amacı ile yaygın olarak kullanılmaktadır (Baysal ve ark., 2011). Bunun yanı sıra son yıllarda ohmik ısıtma evaporasyon amacıyla da kullanılmaya başlanmıştır. Literatürde ohmik evaporasyon işleminin atmosferik koşullarda yapıldığı çalışmalara son yıllarda rastlanmakla beraber, vakum altında yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Aşağıda bu çalışmalar detaylandırılmıştır.

Gaily (1999), vakum koşulları altında ohmik evaporasyon yöntemiyle yaptıkları çalışmada, ananas suyunu %40 SÇKM içeriğine kadar konsantre etmiştir. Evaporasyon işleminin 65 °C ve 45 °C’de uygulanabilirliği test etmiş, elektriksel iletkenlik (E.İ) değişimi incelemiş ve enerjetik değerlendirilmesi yapmıştır. Ancak yapılan tez çalışması ulaşımı kısıtlı olduğu için sonuçlar değerlendirilememiştir.

Wang ve Chu (2003), portakal suyunu vakum altında ohmik evaporasyon kullanarak konsantre etmişler ve özet olarak sunulan çalışmada, vakum ohmik evaporasyon işleminin geleneksel yöntemle kıyasla portakal suyunun kalite özelliklerini daha iyi koruduğu rapor etmişlerdir.

Assiry ve ark. (2010), atmosferik koşullar altında ohmik ısıtma işlemini (6.35-11.04 V/cm) kullanarak deniz suyunun buharlaştırılması sırasında elektriksel iletkenlik değerini incelemişlerdir. Voltaj gradyanı arttıkça elektriksel iletkenlik değerinin arttığı ve elektriksel iletkenlik değerinin 55-399.6 mS /cm arasında değiştiği belirlenmiştir. Elektriksel iletkenlik değerinin sıcaklık ile doğrusal ilişkisi olduğu, kaynama başladıktan sonra kabarcık meydana geldiği ve elektriksel iletkenlik değerinde azalış olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca artan SÇKM içeriğine bağlı olarak kritik bir noktadan sonra elektriksel iletkenlik değerinin azaldığı bildirilmiştir.

Ohmik ısıtma işlemi ile atmosferik basınç altında deniz suyunun evaporasyonu sağlanmıştır. Evaporasyon işlemi farklı voltaj gradyanında (24-87 V/cm) uygulanmıştır. İşlem süresince elektriksel iletkenlik, enerji kazanım oranı ve enerji tüketim değerleri incelenmiştir. Elektriksel iletkenlik değerinin; düşük voltaj gradyanlarında yüksek olduğu, buharlaşan su miktarının belirli bir orana ulaştığında ise artış gösterdiği, ancak bu değer üstünde olumsuz etkilendiği rapor edilmiştir. Enerji verimlilik değerinin %81-93.5 arasında değiştiği ve enerji tüketimininse 4550-5051 kJ/kg arasında olduğu saptanmıştır (Assiry, 2011).

Atmosferik koşullarda domates suyu örneklerinin ohmik evaporasyon ve sıcak hava üfleli kurutucu (105 °C, 1 m/s hava akış hızına) ile yaklaşık %30 kuru madde içeriğine düşürülmüştür. İşlem 6-16 V/cm aralığında 6 farklı voltaj gradyanında uygulanmıştır. Domates suyu örneklerinin başlangıç nem içerikleri %90 iken işlem sonunda %70 oranlarına kadar düşürülmüştür. 16 V/cm voltaj gradyanının, minimum enerji tüketimi ve maksimum su uzaklaştırma etkinliğine sahip olduğu rapor edilmiştir. Ohmik evaporasyon işlemi uygulanarak işlem süresinin % 80-97 arasında kısaldığı rapor edilmiştir (Hosainpour ve ark.,2014).

Boldaji ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada atmosferik koşullar altında 5 farklı voltaj gradyanı (6,8,10,12 ve 14 V/cm) ile ohmik evaporasyon uyguladıkları domates suyu örneklerinde bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki değişimleri incelemişlerdir. Optimum evaporasyon zamanı, pH, renk ve enerji tüketimi bakımından en iyi voltaj gradyanının 14

V/cm olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca voltaj gradyanının artmasına bağlı olarak evaporasyon süresinin % 83.2 düzeyinde azaldığı bildirilmiştir.

25 kPa mutlak basınç altında %17.5 SÇKM içeriğine sahip nar suyu örnekleri, farklı voltaj gradyanlarında (7.5-12.5 V/cm) ohmik ısıtma işlemine tabi tutarak %40 SÇKM içeriğine kadar konsantre edilmiştir. Evaporasyon süresince elektriksel iletkenlik değişimi incelenmiş olup, ısınma süresince elektriksel iletkenlik değerinin artışının doğrusal bir eğilimde olduğu saptanmıştır. Evaporasyon işlemi boyunca ise kritik SÇKM içeriğine kadar elektriksel iletkenlik değerinin artış gösterdiği daha sonra ise azalma gösterdiği saptanmıştır. Ayrıca %40 SÇKM içeriğine kadar ulaşma süresi vakum altında evaporasyon işlemi ile karşılaştırılmış ve en kısa işlem süresinin 45 dak ile 12.5 V/cm ile elde edildiği belirlenmiş, vakum altında evaporasyon işleminin (geleneksel evaporasyon işlemi) ise 79 dak saptanmıştır (İcier ve ark., 2017).

Nar suyu örneklerini 25 kPa mutlak basınç altında 7.5-12.5 V/cm aralığında değişen voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma işlemine tabi tutarak %40 SÇKM içeriğine kadar konsantre edilmiştir. Performans değerlendirmeleri hem enerjetik hem de ekserjetik olarak gerçekleştirilmiş, vakum altında geleneksel evaporasyon işlemi ile karşılaştırılmıştır. Voltaj gradyanı arttıkça, enerji tüketiminin azaldığı ancak güç değerlerinin arttığı saptanmıştır. %30 SÇKM içeriğinde, özgül su uzaklaşma oranı, enerji verimliliği ve ekserji verimliliği değerlerinin en yüksek değerlerde olduğu rapor edilmiştir. Hem işlem hem de sistem bazında en yüksek enerji verimliliğinin 12.5 V/cm voltaj gradyanında elde edildiği rapor edilmiştir (Çokgezme ve ark., 2017).

Vişne suyunun farklı voltaj gradyanı uygulamaları ile 65 °C’de %65 SÇKM içeriğine kadar konsantre edilmiş ve elde edilen ürünün kalite özellikleri, işlem süresince elektriksel iletkenlik değeri, performans ve reolojik özellikleri incelenmiştir. Isınma periyodunda sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerinin arttığı, evaporasyon süresince ise kritik SÇKM içeriğine kadar bu artışın devam ettiği ve daha sonra azaldığı rapor edilmiştir. Ayrıca işlem süresi üzerine voltaj gradyanının olumlu etkisi olduğu bulunmuştur. Performans değerlendirmesi sistem ve proses olarak incelemiş, performans değerinin işlem uygulamalarında daha yüksek olduğu ve voltaj gradyanının arttıkça verim değerlerinin arttığı rapor edilmiştir. Kalite özellikleri bakımından ise özellikle toplam fenolik madde miktarının ve renk özelliklerinin geleneksel yöntemle göre iyi olduğu rapor edilmiştir. Yapılan genel değerlendirme sonucunda, ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminin geleneksel

evaporasyon işlemine alternatif bir teknoloji olarak kullanılabileceği rapor edilmiştir (Sabancı, 2017).

Çevik (2021), yapmış olduğu çalışmada koruk suyunu ohmik ısıtma kullanarak 4 farklı voltaj gradyanında (13-19 V/cm) %14.5 SÇKM içeriğinden %50 SÇKM değerine kadar konsantre etmiştir. Yapılan çalışmada ohmik evaporasyon işlemi sırasında toplam işlem süresi, elektriksel iletkenlik değeri ve toplam enerji değerini incelemiştir. %50 SÇKM değerine ulaşması için gerekli işlem süresinin 1020-2100 saniye arasında olduğu, elektriksel iletkenlik değerinin ısınma periyodunda sıcaklık arttıkça arttığı ve evaporasyon periyodu için ise %32 SÇKM değerine kadar arttığı ancak daha sonra ise azaldığı rapor edilmiştir. Ayrıca voltaj gradyanı azaldıkça toplam harcanan enerji değerinin arttığı belirtilmiş ve enerji verimliliği değerinin ise 71-75 arasında olduğu rapor edilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada uygulanan ohmik ısıtma koşullarının toplam işlem süresi, toplam enerji tüketimi ve enerji verimliliği üzerine etkisi olduğu rapor edilmiştir.

Sabancı (2021), yapmış olduğu çalışmada üzüm suyunu ohmik ısıtma kullanarak 3 farklı voltaj gradyanında (16-24 V/cm) atmosferik koşullar altında 5.75 kg su/kg kuru madde içeriğinden 2 kg su/kg kuru madde içeriğine kadar konsantre etmiştir. Isıtma işlemi sırasında elektriksel iletkenlik değeri 0.21 ile 0.77 S/m arasında, evaporasyon işleminde ise 0.77 ile 1.01 S/m arasında değiştiği bulunmuştur. Yapılan çalışmada ohmik evaporasyon işlemi elektriksel iletkenlik değeri ve evaporasyon işlemini termodinamik kanunları açısından incelemiştir. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminin üzüm suyu konsantrasyonunda kullanılabileceği ve ortalama %80 enerji verimliliği ile etkili bir sistem olarak kullanılabileceğini vurgulamıştır.

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemlerinin kalite özellikleri (Darvishi ve ark., 2019; Sabancı ve ark., 2019; Sabancı ve İçier, 2019), reolojik özellikler (Çevik ve ark., 2020; Sabancı ve İçier, 2020b), modelleme çalışmalarına (İçier ve ark., 2021) ait literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu çalışmaların mevcut tez çalışması ile alakalı olmaması nedeniyle detaylandırılmamıştır.

Ohmik ısıtma işlemi kullanılarak sütün evaporasyon çalışması, yazarların bilgisi dahilinde bir adet olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma incelendiğinde; Parmar ve ark. (2018), inek sütü, manda sütü ve karışık sütün (50:50) ohmik ısıtma işlemi kullanarak 13.3 V/cm voltaj gradyanında %22 değerine kadar konsantre etmişler, konsantre edilen süt örneğinin fiziko-kimyasal, reolojik, duyu ve mikrobiyal özellikler üzerindeki etkisini incelenmişler ve geleneksel evaporasyon işlemi ile karşılaştırmışlardır. Ohmik evaporasyon işlemi ile elde

edilen sütün, serbest yağ asitlerini (FFA), görünür viskoziteyi, hidroksimetilfurfural (HMF) içeriğini, renk değerlerini, yani kırmızılık (a^*) ve sarılık (b^*) değerlerini önemli ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir. Ancak konsantre sütün pH değeri ve beyazlığının (L^*) nemli ölçüde düştüğünü rapor etmişlerdir. Ohmik ısıtma işlemi kullanılarak konsantre edilen sütün, mikrobiyolojik sayımlarda önemli bir azalmaya neden olduğunu ve işlenmiş sütün daha uzun raf ömrüne sahip olduğunu vurgulamışlardır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon (ODE) işleminde kullanılan süt (inek sütü) örneği standardize edildi ve yerel marketten temin edildi. Temin edilen süt örnekleri laboratuvara geldikten sonra kullanılıncaya kadar 4 °C' de buzdolabında depolandı. Evaporasyon işlemine başlamadan önce buzdolabından çıkarıldı, ohmik ısıtma ve geleneksel evaporasyon işlemleri kullanılarak yaklaşık 3 ± 0.12 kg su/kg KM içeriğine kadar konsantre edildi.

3.2. Metot

3.2.1. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon sistemi, izole edilmiş bir trafo, güç kaynağı, test hücresi, elektrotlar ve bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 3.1). Evaporasyon işlemi atmosferik koşullar altında üç farklı voltaj gradyanında (7,9,11 V/cm) uygulanmıştır. Ohmik evaporasyon işleminde ön denemeler yapılmıştır ve 7 V/cm'nin altına düştüğünde işlem süresi çok uzun sürdüğü 11 V/cm'nin üzerinde olduğunda süt örneğinde ciddi köpüklenme meydana gelmiştir. Test hücre polioksimetilenden (POM) yapılmış ve iç boyutları 6×6×10 cm olarak ayarlanmıştır. Elektrotlar paslanmaz çelikten üretilmiş olup boyutları 6.2×0.1×15 cm olarak tasarlanmıştır. Akım, gerilim ve sıcaklık değerleri özel yapım mikroişlemci ile kaydedilmiştir. İzole T tipi ısıl eşler (Cole-Parmer, UK) sıcaklık ölçümleri için kullanılmıştır. Başlangıçta 7.85 ± 0.02 kg su/kg kuru madde olan 100 gram süt numunesi, yaklaşık 3 ± 0.12 kg su/kg kuru madde içeriğine konsantre edilmiştir. Tercih edilen kg su/kg kuru madde değeri, benzer çalışmalarda sütün buharlaşma uygulamaları dikkate alınarak seçilmiştir (Parmar ve ark., 2018). Sisteme ait detaylı fotoğraflar EK 1'de verilmiştir.

3.2.2. Geleneksel evaporasyon işlemi

Geleneksel evaporasyon işlemi için elektrikli ısıtıcı (Awox, Lotus, Türkiye) kullanılmıştır. 100 g süt örneği 7.85 ± 0.02 kg su/kg kuru madde, 3 ± 0.12 kg su/kg kuru madde içeriğine buharlaştırılmıştır. Sıcaklık değişimi T tipi ısıl eş (Cole-Parmer, İngiltere) ile

a



3.3. Analizler

3.3.1. Elektriksel iletkenlik

Elektriksel iletkenlik değeri evaporasyon işlemi sırasında Eşitlik (1) yardımı ile belirlenmiştir (İçier, 2003). Elektriksel iletkenlik (S/m) hesaplamasında kullanılacak akım ve gerilim değerleri özel üretilmiş bir mikroişlemci ile bilgisayara aktarılmıştır. Elde edilen veriler ile Eşitlik 1 yardımıyla elektriksel iletkenlik S/m cinsinden tespit edilmiştir.

$$\text{Elektriksel iletkenlik} = \frac{I}{V} \times \frac{L}{A} \quad (1)$$

Burada I, V, L ve A sırasıyla akımı (A), voltajı (V), iki elektrot arasındaki mesafeyi (m) ve elektrot temas alanını (m²) temsil etmektedir.

Evaporasyon işlemi süresince 100 g olarak ayarlanan sütün içerisindeki suyun uzaklaşması ile ağırlığı azalmaktadır. Bu da özellikle elektriksel iletkenlik değerinde kullanılan elektrot temas yüzey alanın değişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle örneğin zamana bağlı değişiminin belirlenmesi önemlidir. Zamana bağlı nem içeriğinin belirlenmesi için örnekler kg su/kg KM cinsinden Eşitlik 2 yardımıyla belirlenmiştir (Sabancı 2021). Sütün kuru madde değeri, 65 °C'de vakum altında kurutulmasıyla elde edilmiştir ve suda çözünür kuru madde içeriği, süt analizörü (LactoStar, Funke Gerber, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir.

$$M = \frac{m_w}{m_{KM}} \quad (2)$$

Burada M, m sırasıyla nem içeriğini (kg su/kg KM) ve kütleyi (kg) ifade ederken alt indislerden w ve KM ise sırasıyla su ve kuru maddeyi ifade etmektedir.

Ürünün evaporasyon işlemi sırasında herhangi bir zamandaki kütle değerini (t) belirlemek için sırasıyla Eşitlik 3 kullanılmıştır (Sabancı ve İçier, 2020a).

$$M_t = a \times t + b \quad (3)$$

Burada kullanılan a ve b denklem sabitlerini, t saniye cinsinden işlem süresini ifade etmektedir.

Herhangi t anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Eşitlik 4 kullanılmıştır.

$$M_t = \frac{m_{w,t}}{m_{KM}} \quad (4)$$

Burada sırasıyla M nem içeriğini (kg su/kg KM), m kütleyi (kg), t değerleri ise zamanı (s) göstermektedir. Alt indislerden w, KM ve t sırasıyla su, kuru madde ve zamanı göstermektedir.

Evaporasyon sürecinde sütun yoğunluğu uzaklaşan suya bağlı olarak değişmektedir. Yoğunluk değeri, işlem süresindeki artışa bağlı olarak artmaktadır. Sıcaklık ve kuru madde içeriğine bağlı olarak yoğunluk Eşitlik veya Eş. 5'e göre hesaplanmıştır (Minim ve ark, 2002). Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde hacim değeri azalmaktadır ve uzaklaşan suyun değerine bağlı olarak elektrot temas alanı değişmektedir. Temas alanı Eşitlik 5 ile belirlenmiştir (Çokgezme ve ark., 2017).

$$A_t = \frac{m_t}{p_{t \times L}} \quad (5)$$

Burada A, L ve t alt simgesi sırasıyla alanı (m²), iki elektrot arasındaki mesafeyi (m) ve zamanı (s) belirtmektedir.

3.3.2. Suda çözünür kuru madde tayini

Evaporasyon işlemi sonunda (ohmik ısıtma destekli evaporasyon ve geleneksel evaporasyon) yöntemleri kullanılarak elde edilen örneklerin ve hammaddenin suda çözünür kuru madde içerikleri, sıcaklık düzeltmesine sahip dijital refraktometre (Hanna, Portekiz) kullanılarak belirlenmiştir. İşlem sonunda ve öncesinde yaklaşık 2 mL örnek kullanılarak gerekli ölçümler yapılmıştır. Her bir örnek için 3 farklı tekerrür kullanılmıştır.

3.3.3. Enerji ölçümlerinin yapılması

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde meydana gelen enerji değerlerinin belirlenmesinde özel yapım mikro işlemci kullanılmıştır. Kullanılan mikroişlemci yardımıyla voltaj ve akım değerleri saniyede 1 kayıt altına alınmıştır. Örnekler hazneye konulduktan sonra ohmik ısıtma açılmasından itibaren akım ve voltaj değerleri kullanılarak Eşitlik 6 yardımıyla tespit edilmiştir (Sabancı ve İçier, 2020a).

$$Q_{ohmic} = \sum(V \times I \times t) \quad (6)$$

Burada kullanılan denklem simgeleri Q enerji değerini, I, V ve t değerleri sırasıyla akım (A), volt (V) ve t ise saniyeyi ifade etmektedir.

Geleneksel evaporasyon işleminde harcanan toplam enerji değerinin belirlenmesi için güçölçer (Awox, Lotus, Türkiye) kullanılmıştır. Isıtma işleminin başlaması cihaz kayıt altına alınmış ve toplam harcanan enerji değeri “J” cinsinden tespit edilmiştir.

3.3.4. İşlem süresinin belirlenmesi

0.001 kg ağırlık değerine sahip olan hassas terazi yardımıyla, örnekler ohmik ısıtma destekli evaporasyon sistemine yerleştirilmiş ve 7.85 ± 0.02 kg su/kg kuru madde nem içeriğine sahip olan 0.1 kg süt numunesi, 3 ± 0.12 kg su/kg kuru madde içeriğine düşünceye kadar evaporasyon işlemine tabi tutulmuştur. İşlem sırasında hassas terazide bulunan test hücresi ve örnek miktarı gerekli ağırlığa düşünce işlem sonlandırılmıştır.

3.3.5. Renk değişiminin incelenmesi

Örneklerin renk ölçümleri oda sıcaklığında renk cihazının (Konica Minolta, CR-400, Japan) ölçüm kabına doldurularak uygun ışık altında Hunter renk ölçüm sistemine göre (L^* , a^* , b^*) yapılmıştır.

3.3.6. Hidroksimetilfurfural değişiminin incelenmesi

Törnük ve ark. (2013), metodu modifiye edilerek 5 g süt örneği 100 mL saf su ile tamamlanarak 1:20 oranında seyreltilmiştir. 5000 rpm' de 10 dak santrifüj edildikten sonra süpernatanttan 2 mL alınarak 0,45 μ m'lik membran filtreden geçirilip ve viallere alınmış ve otomatik örnekleyiciye sahip HPLC (Schimadzu LC 20A, Japonya) cihazına enjekte edilmiştir. C18 kolon (250x4mm ID) (Supelco Ascentis) kolonuna (kolon sıcaklığı 25°C) hareketli faz olarak %1 asetik asit içeren ultrasaf su ve asetonitril (95:5) kullanılarak 20 μ L örnek enjekte edilmiştir. DAD dedektörü kullanılarak 284 nm'de analiz yapılmıştır. 1 mg/L den 100 mg/L'ye kadar HMF standardı hazırlanarak kalibrasyon grafiği yapılarak sonuçlar mg/L olarak belirlenmiştir.

3.3.7. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon ve geleneksel evaporasyon işlemlerinin performans değerlendirmesi

a) Enerji Analizi

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde enerji analizi için termodinamiğin birinci yasası kullanılmıştır. Genel enerji denkleminin hesaplanması amacıyla Eşitlik 7 kullanılmıştır.

$$E_{in} = E_{out} + E_{loss} \quad (7)$$

Burada E enerjiiyi ifade ederken, alt indislerden in, out ve loss sırasıyla giren, çıkan ve kayıp ifade etmektedir.

Ohmik evaporasyon işleminde meydana gelen kütle değişimini belirlemek hem enerji hem de ekserji hesaplaması için önemli bir basamaktır. Bu nedenle evaporasyon işlemlerinde meydana gelen kütle denkliği Eşitlik 8 yardımıyla tespit edilmiştir.

$$m_{p,in} = m_{p,out} + m_{wr} \quad (8)$$

Burada, denklem simgeleri m,p,in,out,wr simgeleri sırasıyla kütle, ürün, giren, çıkan ve uzaklaşan suyu ifade etmektedir.

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde giren enerji değeri ısıtma enerjisi olarak ohmik ısıtma enerjisi veya elektrik enerjisine (ısı kaynağı) ve ürünün başlangıç enerjisine bağlı olarak Eşitlik 9 ile tespit edilmiştir.

$$E_{in} = m_{p,in} \times h_{p,in} + Q_{source} \quad (9)$$

Burada kullanılan E, m, h ve Q değerleri sırasıyla enerji, kütle, entalpi ve enerji değerlerini ifade etmektedir. Alt indislerden p, in, source ise sırasıyla ürün, giren ve kullanılan enerji kaynağını ifade etmektedir.

Çıkan enerji değeri olarak, ürünün son enerjisi ile süttten uzaklaşan su buharı enerjisinin toplamı olarak Eşitlik 10 ile ifade edilmiştir.

$$E_{out} = m_{p,out} \times h_{p,out} + m_{wr} \times h_{fg} \quad (10)$$

Burada kullanılan E, m, h ve Q değerleri sırasıyla enerji, kütle, entalpi ve enerji değerlerini ifade etmektedir. Alt indislerden p, out, wr, fg ise sırasıyla ürün, çıkan, uzaklaşan su miktarını ve hissedilebilir enerji yani faz değişim enerjisini ifade etmektedir.

Ohmik ısıtma enerjisi, toplam işlem süresi dikkate alınarak Eşitlik 10 belirlenmiştir ve geleneksel evaporasyon işleminde kullanılan ısıtma enerjisi güç ölçer (Awox, Lotus, Türkiye) ile ölçülmüştür. Geleneksel evaporasyon işleminin toplam enerjisi, Eşitlik 11 ile hesaplanmıştır.

$$Q_G = \sum(q_{ısıtıcı} \times A_G \times t) \quad (11)$$

Burada kullanılan Q, q, A ve t sırasıyla enerji, enerji akışını (W/m²), yüzey alanı ve zamanı ifade ederken G alt indisi ise geleneksel evaporasyon işlemini temsil etmektedir.

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemindeki enerji verimliliği Eşitlik 12 ile hesaplanmıştır.

$$n_{enerji} = \frac{E_{out}}{Q_{source}} \times 100 \quad (12)$$

Burada kullanılan η simgesi verimliliği ifade etmektedir.

b) Ekserji analizi

Ekserji, faydalı iş potansiyeline sahip enerji olarak ifade edilmektedir. Proses verimliliğini daha iyi değerlendirmek için kullanılmaktadır. Ekserji analizi için termodinamiğin ikinci yasası kullanılmıştır (Çengel ve ark., 2008) ve bazı varsayımlar dikkate alınmıştır:

- Evaporasyon işlemi sırasında kimyasal ve nükleer reaksiyon meydana gelmemektedir.
- Her iki evaporasyon işlemi için, ekzerjetik değerlendirmenin yapıldığı ölüm durumu (T_0) için sıcaklık değeri 12°C olarak alınmıştır. Bunun temel nedeni, sütün başlangıç sıcaklığından ($+4^\circ\text{C}$) ve ortamdan (20°C) ortalama bir sıcaklık değerinin elde edilmiş olmasıdır. Ayrıca referans basınç değeri 101.325 kPa olarak kabul edilmiştir.

Ohmik evaporasyon ve geleneksel evaporasyon işlemi sırasında genel ekserji denklemi Eşitlik 13'deki gibi hesaplanmıştır.

$$\sum Ex_{in} = \sum Ex_{out} + \sum Ex_{dest} \quad (13)$$

Burada kullanılan Ex ekserji ifade ederken alt indislerden in, out ve dest sırasıyla giren, çıkan ve yok olan ekserjiyi ifade etmektedir.

İşlem sırasında giren ekserji değerini tespit etmek amacıyla giren ürün ve üründe kullanılan ısı kaynakları (ohmik ısıtma, geleneksel ısıtma kaynağı) dikkate alınmış ve Eşitlik 14'e göre hesaplanmıştır.

$$\sum Ex_{in} = m_{p,in} \times [h_{p,in} - T_0 s_{p,in}] + \left(1 - \frac{T_0}{T_{in}}\right) \times Q_{source} \quad (14)$$

Burada kullanılan Ex , m , h , s , T , ve Q değerleri sırasıyla ekserji, kütle, entalpi, entropi, sıcaklık ve enerji değerlerini ifade ederken, alt indislerden p, in, source ve 0 ise sırasıyla ürün, giren, kullanılan enerji kaynağını ve ölü durumu ifade etmektedir.

Çıkan ekserjisi değerinin hesaplamak için uzaklaşan süt içerisindeki su, konsantre ürünün son enerjisi ve kayıp enerji dikkate alınmış ve Eşitlik 15 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sum Ex_{out} = m_{p,out} \times [h_{p,out} - T_0 s_{p,out}] + m_{wr} \times [h_{fg} - T_i \times s_{fg}] + \left(1 - \frac{T_0}{T_{in}}\right) \times Q_{loss} \quad (15)$$

Burada kullanılan Ex , m , h , s , T , ve Q değerleri sırasıyla ekserji, kütle, entalpi, entropi, sıcaklık ve enerji değerlerini ifade ederken, alt indislerden p, out, loss, wr, fg ve 0 ise sırasıyla ürün, çıkan, kayıp, uzaklaşan su miktarını ve ölü durumu ifade etmektedir.

Ekserji hesaplaması sırasında kullanılan Eşitlik 16 entropi değerini belirlemek için kullanılmıştır.

$$S - S_0 = m \left(\frac{c_p + c_{p0}}{2} \right) \times \ln \frac{T}{T_0} \quad (16)$$

Burada kullanılan S, cp, m ve T sırasıyla entropi, ısı kapasite, kütle ve sıcaklığı ifade ederler, alt indislerden 0 ise ölü durumu ifade etmektedir.

Buradaki Cp, sütun özgül ısı değerini ifade eder. Ekserji analizi için kullanılan sütun özgül ısı değeri Minim ve ark. (2002), tarafından belirlenen eşitlikle belirlenmiştir.

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminin yok olan ekserji değerinin belirlenmesi Eşitlik 13 için önemli bir parametredir. Bu nedenle yok olan ekserji değeri Eşitlik 17 ile tespit edilmiştir. Bu sayede sistemde meydana gelen tersinmezlik değeri belirlenmiştir.

$$Ex_{dest} = S_{gen} \times T_{in} \quad (17)$$

Burada kullanılan Ex, S ve T sırasıyla ekserji, entropi ve sıcaklığı ifade ederler, alt indislerden dest, gen ve in ise yok olan, üretilen ve giren anlamına gelmektedir.

Değerlendirmesi için en son değer Eşitlik 17 ile hesaplanmıştır. Böylece, süreçte meydana gelen geri çevrilemezlik tespit edilmiştir. Yok olan ekserji değerinin belirlenmesinde kullanılan Sgen değeri Eşitlik 18 kullanılarak genel entropi eşitliği ile tespit edilmiştir.

$$\Delta S_{process} = S_{in} - S_{out} + S_{gen} \quad (18)$$

Burada kullanılan S entropi terimini ifade ederler, alt indislerden process, in, out ve gen işlem, giren, çıkan ve üretilen anlamına gelmektedir.

Hem ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminin hem de geleneksel evaporasyon işleminin ekserji verimliliği belirlenmesi sistemde iş potansiyelinin veriminin belirlenmesi için ise Eşitlik 19 kullanılmıştır.

$$n_{exergy} = \left(1 - \frac{Ex_{dest}}{Ex_{in}} \right) \times 100 \quad (19)$$

Burada kullanılan η, Ex sırasıyla verim ve ekserjiyi ifade ederken, alt indislerden dest ve in sırasıyla yok olan ve giren terimini ifade etmektedir.

Herhangi bir sistemin iyileştirme potansiyeli (IP) değeri belirlenerek işlemde iyileştirme yapıp yapılmayacağını belirlemek mümkündür. İki farklı evaporasyon yöntemlerinin ve voltaj gradyanlarında geliştirme potansiyelinin (IP) değerleri Eşitlik 20 ile belirlenmiştir. Çalışmaların değerlendirilmesinde IP değeri yüksek olan süreç iyileştirme ihtiyacı olarak yorumlanmaktadır (Çengel ve ark., 2008).

$$IP, i = \left(1 - \frac{n_{exergy,i}}{100} \right) \times (\sum Ex_{in,i} - \sum Ex_{out,i}) \quad (20)$$

Burada kullanılan IP, η , Ex sırasıyla iyileştirme potansiyeli, verim ve ekserjiyi ifade ederken, alt indislerden i, out ve in sırasıyla kullanılan sisteme göre ohmik ve geleneksel evaporasyonu, çıkan ve giren terimini ifade etmektedir.

3.4. İstatistiksel değerlendirme

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi ile geleneksel evaporasyon işleminin istatistiksel karşılaştırması için SPSS paket programı (IBM, ABD) kullanılmıştır. Performans katsayılarını, evaporasyon süresinin, elektriksel iletkenlik değerini ve kalite özelliklerini karşılaştırmak için tek yönlü bir ANOVA (Duncan testi) kullanılmıştır. Kullanılan istatistiksel değerlendirmede güven aralığı 0,95 olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Evaporasyon İşleminde Süre ve Sıcaklık Değişiminin Belirlenmesi

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon (ODE) işleminde zamana bağlı sıcaklık değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir. ODE işlemi ile evaporasyon işlemine tabi tutulan süt örneği 20 °C’den 100 °C’ye kadar ısıtılmış ve kaynama noktasından sonra kaynama işlemi ile evaporasyon işlemi hızlanmıştır. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi 3 farklı voltaj gradyanı kullanılarak yapılmıştır.

Buna göre 3 farklı voltaj gradyanı içinde artan işlem süresine bağlı olarak sıcaklık değerinin arttığı ve kaynama noktasına geldikten sonra ise sıcaklık değerinin neredeyse sabit olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ürüne verilen enerjinin hissedilebilir enerji olarak kullanılması ve kaynama noktasına geldikten sonra ise ohmik ısıtma tarafından verilen enerjisinin faz değişim enerjisi olarak kullanılmasıdır. Farklı ürünlerin evaporasyon işlemleri incelendiğinde, deniz suyunun ohmik ısıtma işlemi kullanılarak evaporasyonu sırasında benzer şekilde verilen enerji öncelikle ürünün ısınmasında (hissedilebilir enerji) kullanıldığı kaynama noktasına ulaştıktan sonra ise sabit şekilde sıcaklığın ilerlediği rapor edilmiştir (Assiry, 2011). Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi ile yapılan hem vakum altında hem de atmosferik koşullar altında yapılan diğer çalışmalardan olan domates suyu (Fadavi ve ark., 2018), vişne suyu (Sabancı ve İçier, 2017), nar suyu (İçier ve ark., 2017) ve üzüm suyunda (Darvishi ve ark., 2020) benzer şekilde ohmik ısıtma enerjisinin başta ısınma için kullanıldığı ve işlem süresi arttıkça ürünün ısındığı, ancak kaynama noktasına geldikten sonra ise sabit yakın eğilim gösterdiği rapor edilmiştir.

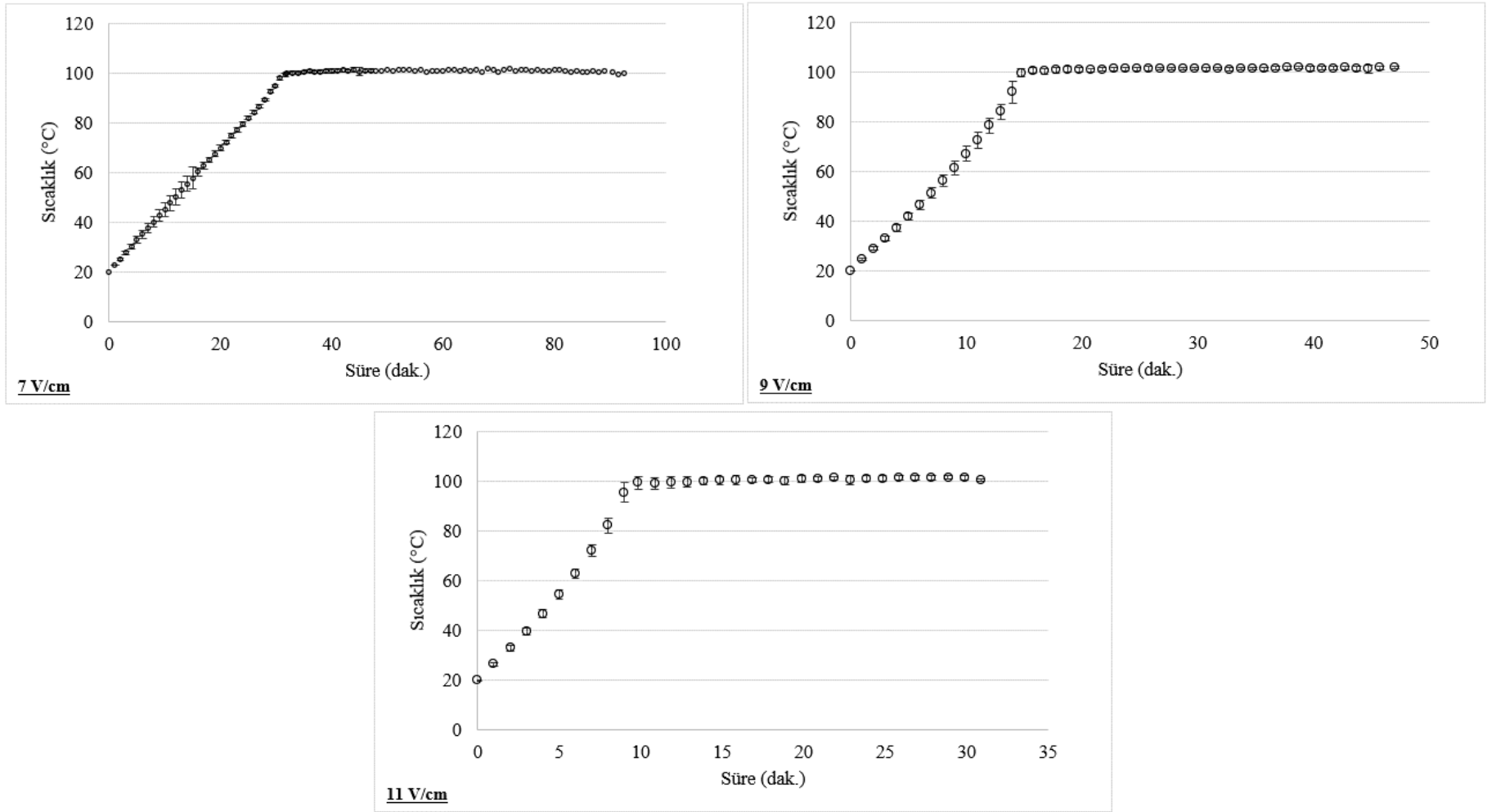
ODE işleminde kaynama noktasından sonra verilen ohmik enerjinin ürünün kaynamasına faz değişim enerji olarak kullanmıştır. Bu nedenle bu bölgede sıcaklık değerinin Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sabit ilerlediği tespit edilmiştir. Kaynama işleminin başlaması ile fiziksel olarak suyun uzaklaşması ile ürünün kuru madde konsantrasyonu artmaktadır. Ürün içerisinde artan konsantrasyon ise ürünün kaynama noktası üzerinde etkilidir. Yani kaynama işlemi sırasında konsantrasyonun artmasına bağlı olarak kaynama noktasında artış meydana gelmektedir. Mevcut tez çalışmasında süt örneğinin nem içeriğinin 7.85 ± 0.02 kg su/kg KM içeriğinden 3 ± 0.12 kg su/kg KM içeriğine kadar konsantre edilmiştir. Süt örneğinde azalan nem içeriği yani artan kuru madde konsantrasyonuna bağlı olarak artışın yüksek olmadığı belirlenmiş ve uygulamalar sonunda en yüksek sıcaklık

değerinin 100.96 °C olduğu belirlenmiştir. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi ile konsantre edilen farklı hayvan sütlerinin 13.3 V/cm voltaj gradyanı değerinde kuru madde içeriği %22 olana kadar konsantre edilmiştir. Konsantrasyon işlemi sırasında meydana gelen kaynama noktası artışı ise rapor edilmemiştir (Parmar ve ark., 2018). Ancak nar suyu örneğinin ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi kullanılarak vakum altında (65 °C) gerçekleşen evaporasyon işlemi ile %40 suda çözünür kuru madde içeriğine kadar konsantre edilmesi sırasında ise yaklaşık ± 1 °C kaynama noktası artışı oldu rapor edilmiştir (İçier ve ark., 2017). Yine benzer bir çalışmada farklı voltaj gradyanlarında vakum altında ohmik ısıtma kullanılarak gerçekleşen evaporasyon işleminde %65 SÇKM değerine kadar ortalama 3.2 °C'lik kaynama noktası artışı olduğu rapor edilmiştir (Sabancı ve İçier, 2017). Güncel yöntem olan mikrodalga kullanılarak vakum altında yapılan evaporasyon işlemi sırasında artan SÇKM değerinin kaynama noktası üzerine etkisi olduğu ve %65 SÇKM değerinde ürünün kaynama noktası sıcaklık artışının yaklaşık 2.7 °C olduğu rapor edilmiştir (Bozkır ve Baysal, 2017).

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlem süreleri sütün evaporasyonu sırasındaki değişimler ısıtma periyodu ve evaporasyon periyodu şeklinde iki kısımda incelenmiştir. Buna göre ohmik ısıtma işleminde ısıtma süresine ait zamana bağlı sıcaklık değişimi Şekil 4.1'de verilmiştir. Ohmik ısıtma işlemi ile yapılan evaporasyon uygulamasının ısınma periyodunda ise uygulanan voltaj gradyanının ısınma süresi üzerine etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminin ısıtma periyodunda 7 V/cm voltaj gradyanına bağlı uygulamada 100 °C'ye ulaşma süresi 30.1 ± 0.7 dakika iken artan voltaj gradyanı ile işlem süresinin kısaldığı belirlenmiştir. Buna göre 9 V/cm işlem süresinin 15.1 ± 0.8 dakika olduğu ve 11 V/cm voltaj gradyanı uygulamasında ise işlem süresinin 10.14 ± 0.8 olduğu tespit edilmiştir. Ohmik ısıtma işleminde beklenildiği gibi artan voltaj gradyanı uygulamasının işlem süresini önemli ölçüde kısalttığı belirlenmiştir. Bunun temel nedeni artan voltaj gradyanına bağlı olarak ürün içerisinde meydana gelen ısı jenerasyonunun arttığı ve bu artışın da uygulanan voltaj gradyanının karesi ile ters orantılı olması ile ilişkilendirilmiştir (Palaniappan ve Sastry, 1991).

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi sırasında nem içeriğinin zamanla değişimi Şekil 4.3'de verilmiştir. Sütün ilk nem içeriği değeri 7.85 ± 0.02 kg su/kg iken, nem içeriği değeri yaklaşık 3 ± 0.12 kg su/kg KM'ye ulaşana kadar evaporasyon işlemine devam edilmiştir. Evaporasyon işleminde üç farklı gerilim gradyanı (7,9,11 V/cm) kullanılmıştır. Hedef nem içeriği değerine ulaşıldığında işlem sonlandırılarak evaporasyon zaman değeri

kaydedilmiştir. Buna göre hedef nem içeriği değeri için işlem süreleri 11 V/cm için 31 ± 1.1 dak, 9 V/cm için 47 ± 1.2 dak ve 7 V/cm için 92.5 ± 2.1 dak olarak belirlenmiştir. Geleneksel evaporasyon işlemi ile süt evaporasyonunun hedef nem içeriğine ulaşma süresinin 41.10 ± 2.1 dakika olduğu saptanmıştır. Yüksek voltaj gradyanı ile evaporasyon uygulamasının geleneksel yöntemle göre daha kısa sürdüğü, düşük voltaj gradyanlı işlem süresinin ise geleneksel evaporasyon işlemine göre daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde, gerilim gradyanının artmasına bağlı olarak enerji değeri artmıştır. Voltaj gradyanı arttıkça örneklerin ısıtma sürelerinin kısaldığı rapor edilmiştir. Farklı evaporasyon çalışmaları incelendiğinde hem ısıtma hem de evaporasyon işlemleri için vişne suyu (Sabancı ve İçier, 2017), nar suyu (İçier ve ark., 2017), domates salçası (Boldaji ve ark., 2015), deniz suyu (Assiry, 2011; Assiry ve ark., 2010) ve portakal suyu (Darvishi ve ark., 2019) örnekleri ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde öncelikle 20 °C başlangıç sıcaklığından hedef evaporasyon sıcaklığına kadar ısıtma ve daha sonra hedef SÇKM değerine kadar voltaj gradyanı arttıkça işlem süresinin kısaldığı rapor edilmiştir.



Şekil 4.1. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde süreye bağlı sıcaklık değişimi

4.2. Elektriksel İletkenlik Değerinin Belirlenmesi

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi, 3 farklı voltaj gradyanı (7-11 V/cm) kullanılarak 20 °C'den 100 °C'ye kadar ısıtılmış ve evaporasyon sıcaklığına ulaşan örnekler verilen ohmik ısıtma enerjisi ile evaporasyon işlemi başlamıştır. Ohmik ısıtma işleminde incelenen önemli parametrelerden başında elektriksel iletkenlik değeri gelmektedir. Bu çalışma kapsamında uygulanan işlem süresine bağlı olarak elde edilen elektriksel iletkenlik ve eş zamanlı sıcaklık değerlerine ait değişim Şekil 4.2'de verilmiştir. Bu bağlamda ohmik ısıtma işlemi sırasında elektriksel iletkenlik değeri, ısıtma ve evaporasyon periyodu olacak şekilde incelenmiştir.

Isınma periyodunda elektriksel iletkenlik değerinin 3 farklı voltaj gradyanı için 20 °C'yle 100 °C arasında yaklaşık olarak 0.4-1.5 S/m arasında değiştiği tespit edilmiştir (Şekil 4.2). Ohmik ısıtma sırasında işlem süresi arttıkça elektriksel iletkenlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Süt, protein içeriği bakımından zengin bir ürün olması ve proteinlerin köpürme özelliği göstermesi nedeniyle işlem sırasında yüksek sıcaklıklara (90 °C'nin üzeri) çıkması ile köpürme meydana gelmiştir. Özellikle evaporasyon işleminde kullanılan voltaj gradyanlarından olan 11 V/cm üzerine çıkıldığında, işlem de ciddi köpük oluşumu meydana gelmiş ve test hücresinden örneğin taşıdığı tespit edilmiştir. Yazarların bilgisi dahilinde süt ve süt ürünleri ile sınırlı çalışma olduğu ve mevcut çalışmalar içerisinde dondurma örneğine ait elektriksel iletkenlik değerinin incelendiği tespit edilmiştir. Buna göre, İçier ve ark. (2005), Maraş usulü dondurma ve kaymaklı dondurma karışımını (dondurma miksi) ohmik ısıtma kullanarak 4 °C'den 80 °C'ye kadar farklı voltaj gradyanlarında (20-60 V/cm) ısıtma işlemine tabi tutmuşlardır ve elektriksel iletkenlik değerlerini incelemişlerdir. Maraş usulü dondurma karışımının 4 °C'de elektriksel iletkenliği yaklaşık 0.21 S/m, kaymaklı dondurma karışımının ise 0.1 S/m olduğu, 80 °C'de Maraş usulü dondurma karışımının elektriksel iletkenlik değeri 0.8 S/m, kaymaklı dondurma karışımının elektriksel iletkenlik değerinin ise 0.7 S/m olduğu rapor etmişlerdir. Aynı sıcaklıkta, örnekler arasında yağ oranı düşük olan Maraş dondurma karışımının elektriksel iletkenliğinin kaymaklı dondurma karışımından daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Ohmik ısıtma işleminin 20 °C'den 100 °C'ye kadar ısıtılması sırasında sıcaklık arttıkça 3 farklı voltaj gradyanı için (7-11 V/cm) elektriksel iletkenlik değerinde artış meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca yapılan incelemeler sonucunda sıcaklık ile elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir. 3 farklı voltaj gradyanı için

elde edilen model denklemi Tablo 4.1’de verilmiştir. Model uyumluluğu incelendiğinde regresyon katsayısının (R^2) 0.99’dan yüksek olduğu ve uyumluluk derecesinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Literatür çalışmasına bakıldığında sıcaklık ile elektriksel iletkenlik arasında farklı çalışmalarda doğrusal olduğu rapor edilmiştir (Çevik ve ark., 2014; Darvishi ve ark., 2011; Kutlu ve ark., 2021; Sabancı ve İçier, 2017; Yıldız ve ark., 2009).

Tablo 4.1. Elektriksel iletkenlik-sıcaklık ilişkisini veren denklem ve istatistiksel katsayılar

Bölge	Voltaj Gradyanı	Denklem	R^2
Isınma Bölgesi	7 V/cm	$0.0118xT + 0.201$	0.999
	9 V/cm	$0.0132xT + 0.1861$	0.994
	11 V/cm	$0.0134xT + 0.1991$	0.997

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, Sarang ve ark. (2008), farklı taze meyve ve et ürünlerinde ohmik ısıtma kullanılarak 25 °C’den 140 °C’ye kadar ısıtma işlemi yapmışlar ve elektriksel iletkenlik değerlerini incelemiştir. Çeşitli sıcaklıklarda ölçülen meyve örneklerinin elektriksel iletkenliği; golden cinsi elmada 25°C’de 0.067 S/m iken 140 °C’de 0.571 S/m, kırmızı elmada 25 °C’de 0.075 S/m iken 140 °C’de ise 0.577 S/m, şeftali de 25 °C’de 0.170 S/m iken 140 °C’de 1.299 S/m, armutta 25 °C’de 0.084 S/m iken 140 °C’de 0.642 S/m, ananas 25 °C’de 0.037 S/m iken 140 °C’de 0.575 S/m, çilekte 25 °C’de 0.186 S/m iken 140 °C’de 1.276 S/m olduğu rapor etmişlerdir. Farklı meyveler için sıcaklık artmasına bağlı olarak elektriksel iletkenlik değerinin arttığı ayrıca farklı meyvelerde elde edilen EC değerinin ürünlere göre farklılık gösterdiğini rapor etmişlerdir. Yine aynı çalışmada tavuk numunelerinin elektriksel iletkenlik değeri için ise göğüs örneği için 25°C’de 0.065 S/m iken, 140 °C’de ise 2.212 S/m, deri örneği için 25°C’de 0.549 S/m iken 140°C’de 1.960 S/m, uyluk örneği için 25 °C’de 0.348 S/m iken 140 °C’de 1.322 S/m, baget örneği için 25 °C’de 0.444 S/m iken 140 °C’de 1.601 S/m, ayrılabilir yağ örneği için 25 °C’de 0.035 S/m iken 140 °C’de 0.184 S/m olduğunu rapor etmişlerdir. Yine farklı sıcaklıklarda ölçülen sığır eti numunelerinin elektriksel iletkenliği alt gruptaki etler için 25 °C’de 0.489 S/m iken 140 °C’de 1.608 S/m, omuz eti örneği için 25 °C’de 0.487 S/m iken 140 °C’de 1.665 S/m, yan bel et örneği için 25 °C’de 0.371 S/m iken 140 °C’de 1.696 S/m, üst bölge et için 25 °C’de 0.491 S/m iken 140 °C’de 0.721 S/m olduğu rapor etmişlerdir. Farklı et ürünlerinin örneklerinin elektriksel iletkenlik değerinin örnek cinsine, örnek çeşidine, aynı grup et için örneğin alındığı bölgelere bağlı olarak değişiklik gösterdiğini

rapor etmişlerdir. Literatürde bulunan farklı örnekler için yapılan elektriksel iletkenlik çalışmaları detaylandırılırsa, Castro ve ark. (2004), çilek posası ve çilek hamuru örneklerinde ohmik ısıtma kullanarak 10 °C'den 100 °C'ye kadar ısıtma işlemi uygulamışlardır ve elektriksel iletkenlik değerlerini incelemişlerdir. Çeşitli sıcaklıklarda ölçülen çilek posası ve çilek hamuru örneklerinin elektriksel iletkenliği 0.002-0.005 S/m aralığında değiştiği rapor edilmiştir. Srivastav ve Roy (2014), domates suyunda ohmik ısıtma kullanılarak 32 °C'den 80 °C'ye kadar ohmik ısıtma kullanılarak ısıtma işlemi uygulamışlardır ve EC değerlerini incelemişlerdir. Domates suyunun EC değerinin 0.23-2.65 S/m aralığında değiştiği ve elektriksel iletkenlik üzerine voltaj gradyanı ve sıcaklığın olumlu etkisi olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca sıcaklık ve EC arasında doğrusal bir ilişki olduğunu rapor etmişlerdir. Darvishi ve ark. (2020), karadut suyunda ohmik ısıtma kullanarak 25 °C'den 90 °C'ye kadar değişen sıcaklıklar arasında ısıtma işlemi uygulamışlardır ve EC değerlerini incelemişlerdir. Karadut suyunun 25 °C 30 V/cm'de EC 0.5 S/m, 90 °C 18 V/cm'de ise EC 1.1 S/m olduğu rapor edilmiştir. EC değerinin sıcaklık artışına bağlı olarak arttığı ve voltaj gradyanının artması ile EC değerinin arttığını rapor etmişlerdir. Mevcut tez çalışması literatüre ile paralel sonuç olan sıcaklık arttıkça EC değerinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca süt örneğinin EC değerinin, yazarların bilgisi dahilinde literatürde bulunamadığı için EC değerinin belirlenmesi ilerleyen çalışmalar için önemli kaynak olduğu ve sistem tasarımları için veri sağlayacağı düşünülmektedir.

İçier ve ark. (2008), taze üzüm suyunda ohmik ısıtma kullanılarak 20 °C'den 90 °C'ye kadar farklı voltaj gradyanlarında (20,30 ve 40 V/cm) ısıtma işlemine tabi tutmuşlardır ve EC değerlerini incelemişlerdir. Taze üzüm suyunun EC 0.40-0.75 S/m aralığında değiştiği rapor edilmiştir. Ayrıca sıcaklık artışı ile elektriksel iletkenlik değerinin arttığı rapor edilmiştir.

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde evaporasyon periyodu incelendiğinde, evaporasyon başlangıcından sonlanmasına kadar elektriksel iletkenlik değerinin 7 V/cm için 1.27–1.89 S/m, 9 V/cm için 1.34–1.89 S/m ve 11 V/cm için ise 1.31–1.92 S/m olduğu belirlenmiştir. 3 farklı voltaj gradyanı içinde azalan nem içeriğinin elektriksel iletkenlik değeri üzerine artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Ancak 11 V/cm içeriğinde köpük oluşumunun diğer voltaj gradyanlarında fazla olduğu ve bunun nedeninin verilen enerji miktarının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Literatürde yapılan ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi incelediğinde, Boldaji ve ark. (2014), domates suyunun farklı voltaj gradyanlarında (6-14 V/cm) 9.33 kg su/kg KM

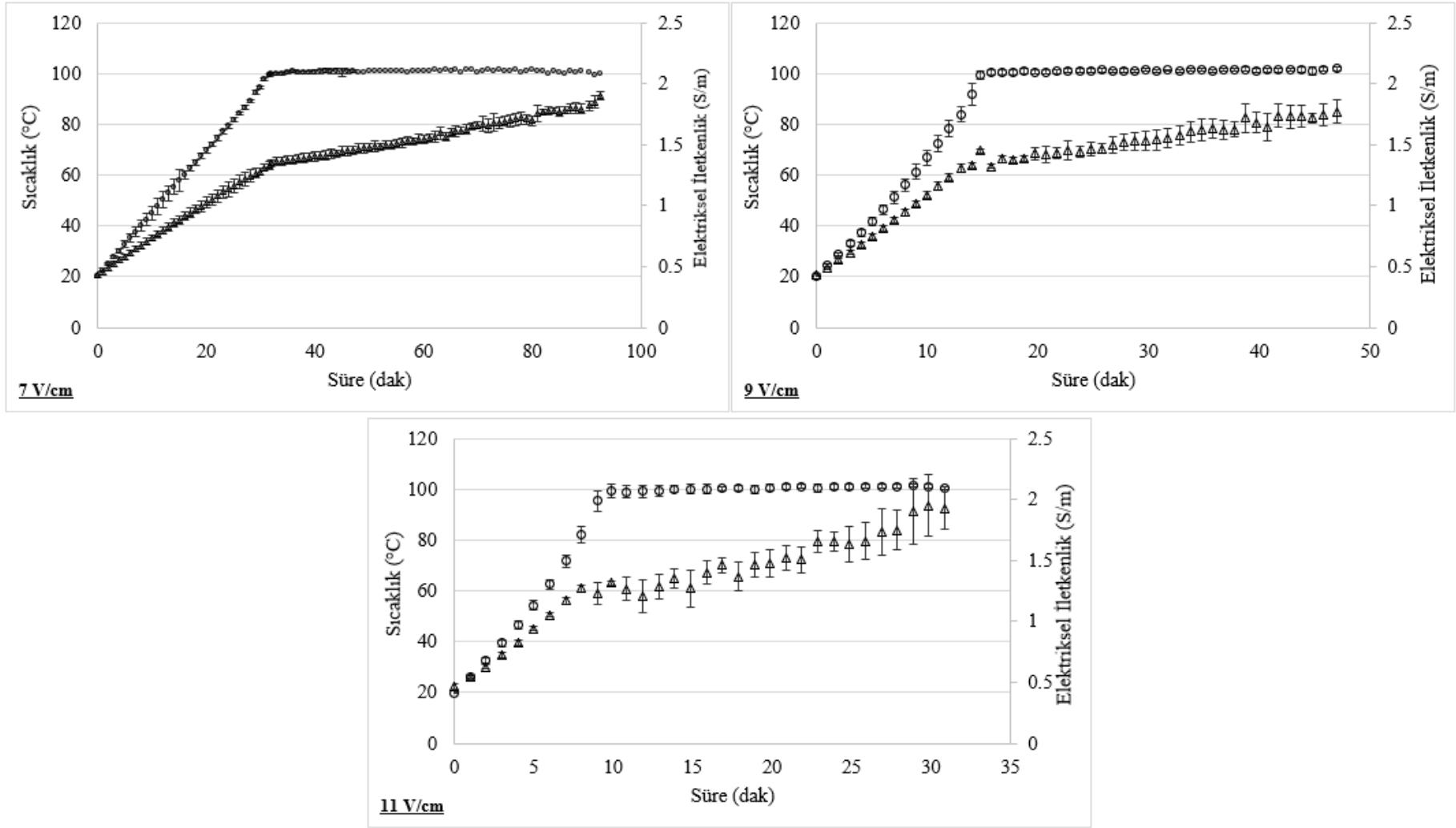
içeriğinden 2.2 kg su/kg KM içeriğine kadar konsantre etmişler ve EC değişimini incelemişlerdir. EC değerinin 3.19-8.95 S/m değerinde değiştiğini rapor etmişlerdir. Isınma periyodu boyunca sıcaklık arttıkça EC değerinin arttığı ancak kaynama başlaması beraber bir miktar azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Isınma periyodunda sıcaklık artmasına bağlı olarak EC değişiminin lineer olduğunu belirlemişlerdir. Daha sonra nem içeriği azaldıkça EC değerinin arttığını rapor etmişlerdir. Ancak kritik bir konsantrasyon değerinde aniden azalma olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmada EC değerinin voltaj gradyanından etkilendiği azalan voltaj gradyanın EC üzerine olumlu etkisi olduğu rapor edilmiştir. EC değerinin ani azalmasına neden olan konsantrasyon değerinin voltaj gradyanına bağlı olarak farklı olduğu rapor etmişlerdir. Mevcut çalışmada bu kadar yüksek konsantrasyon değerlerine ulaşılmadığı için EC değerinde azalma tespit edilmemiştir.

Vakum altında evaporasyon çalışmaları incelendiğin, İçier ve ark. (2017), nar suyunun 3 farklı voltaj gradyanı (7.5,10 ve 12.5 V/cm) kullanarak vakum altında (65 °C) %17.5 suda çözünür kuru madde (SÇKM) içeriğine sahip örneği %40 SÇKM içeriğine kadar konsantre etmişler ve EC değişimini incelemişlerdir. EC değerinin 0.55-0.82 S/m değerinde değiştiğini rapor etmişlerdir. Sabancı ve İçier (2017), vişne suyunun farklı voltaj gradyanları (10-14 V/cm) kullanarak %19.2 toplam çözünür kuru madde içeriğine sahip örneği %65 toplam çözünür kuru madde içeriğine kadar ohmik ısıtma ile evaporasyon işlemine (65 °C) tabi tutmuşlar ve hem ısıtma hem de evaporasyon işlemi sırasında EC değerini incelemişlerdir. Sıcaklık arttıkça yaklaşık 60 °C'ye kadar EC değerinin arttığı ve sıcaklık EC arasında doğrusal bir ilişki olduğunu rapor etmişlerdir. 60 °C'den sonra köpürmeler meydana geldiği, kaynama noktasından sonra ise kritik suda çözünür kuru madde içeriğine kadar EC değerinin arttığı ve kritik nokta sonrası ise EC değerinin azaldığını rapor etmişlerdir. Mevcut tez çalışmasında özellikle kaynama öncesi köpürme gözlenmiş ancak EC değerinin kaynamanın ilerlemesi ile azalma tespit edilmiştir.

Atmosferik koşullar altında yapılan çalışmalarda ise, Çevik (2021), koruk suyunu farklı voltaj gradyanları (13-19 V/cm) kullanarak suda çözünür kuru madde içeriği %50'ye ulaşana kadar konsantre etmiş ve EC değişimini incelemiştir. EC değerleri %32 suda çözünür kuru madde içeriğine ulaşana kadar artmış ve daha sonra nihai suda çözünür kuru madde içeriğine kadar düşüş gösterdiğini rapor etmiştir. Sabancı (2021), üzüm suyu numunesinin farklı voltaj gradyanlarında (16-24 V/cm) 5.75 kg su/kg KM içeriğinden 2 ± 0.3 kg su/kgKM içeriğine kadar konsantre etmiş ve EC değişimini incelemiştir. EC değeri, ısıtma işlemi sırasında 0.21 ile 0.77 S/m arasında, evaporasyon işlemi sırasında ise 0.77 ile

1.01 S/m arasında bulunduğu kaydedilmiştir. Darvishi ve ark. (2015), domates suyu örneklerinin farklı voltaj gradyanları (6-16 V/cm) 9.3 kg su/kg kuru madde içeriğinden 2.3 kg su/kg kuru madde içeriğine kadar konsantre etmişler ve EC değişimini incelemişlerdir. EC değerinin 2.36–12.38 S/m arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Mevcut iki çalışma ile sütün evaporasyonu karşılaştırıldığında EC değerinin azalma eğilimi göstermesi için kritik bir SÇKM değeri olduğu, ancak süt evaporasyonunda kritik SÇKM değeri gözlenmediği için EC değerinin azalmadığı tespit edilmiştir.



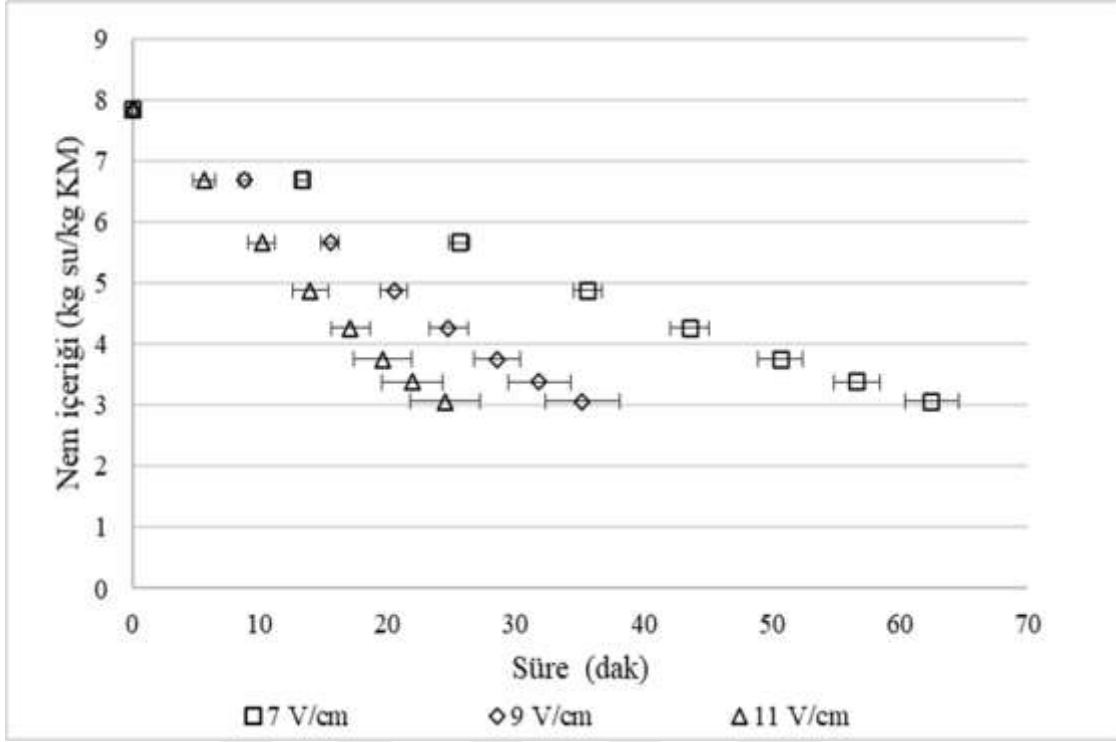


Şekil 4.2. Ohmik ısıtmanın sıcaklığa ve elektriksel iletkenliğe etkisi

4.3. Ohmik Isıtma Destekli Evaporasyon İşleminde Zamana Bağlı Nem İçeriğinin Değişimi

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon (ODE) işleminde zamana bağlı nem içeriği (kg su/kg KM) Şekil 4.3’de verilmiştir. ODE ile evaporasyon işlemine tabi tutulan süt (inek sütü) örneği 3 farklı voltaj gradyanı (7,9,11 V/cm) kullanılarak 7.85 ± 0.02 kg su/kg kuru madde içeriğinden yaklaşık 3 ± 0.12 kg su/kg kuru madde içeriğine konsantre edilmiştir ve zamana bağlı nem içeriğine bakılmıştır. Nem içeriğinin voltaj gradyanından etkilendiği, artan voltaja bağlı işlem süresinin kısalttığı rapor edilmiştir. Nem içeriğinin süreye bağlı azaldığı kaydedilmiştir. Zamana bağlı nem içeriği değişimi incelendiğinde doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Literatürde benzer çalışmalara bakıldığında; Hosainpour ve ark. (2014), domates suyunun farklı voltaj gradyanları (6-16 V/cm) kullanarak %90 nem içeriğine sahip örneği yaklaşık %70 nem içeriğine kadar ohmik ısıtma ile evaporasyon işlemine tabi tutmuşlar, artan voltaj gradyanı ile uzaklaşan nem miktarının arttığı ve zamana bağlı nem içeriğini 6 farklı model ile karşılaştırmışlardır. En uygun model olarak midilli modelini tespit etmişlerdir. Sabancı ve İçier (2017), vişne suyunun farklı voltaj gradyanları (10-14 V/cm) kullanarak %19.2 suda çözünür kuru madde içeriğine sahip örneği %65 suda çözünür kuru madde içeriğine kadar ohmik ısıtma ile evaporasyon işlemine tabi tutmuşlar ve zamana bağlı nem içeriği değişimini 7 farklı model ile karşılaştırmışlardır. En uygun model diğer çalışmaya benzer olacak şekilde midilli modelini tespit etmişlerdir. Sabancı (2021), üzüm suyu numunesinin farklı voltaj gradyanlarında (16-24 V/cm) 5.75 kg su/kg KM içeriğinden 2 kg su/kg KM içeriğine kadar ohmik ısıtma ile evaporasyon işlemine tabi tutmuş ve zamana bağlı nem içeriğini doğrusal olarak incelemiştir. Üzüm suyu numunesi 100 °C'ye ulaştıktan sonra kaynama işleminin başladığı ve benzer mevcut çalışmada olduğu gibi üzüm suyunun nem içeriğinin azalmaya başladığını kaydetmiştir. Ayrıca artan voltaj gradyanının hedef nem içeriğine ulaşma süresini kısalttığı rapor etmiştir. Çevik (2021), koruk suyunun farklı voltaj gradyanı kullanarak ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemine tabi tutmuş ve üssel model ile zaman arasındaki ilişkiyi karşılaştırmıştır. Voltaj gradyanı arttıkça işlem süresinin kısaltıldığını rapor etmiştir.



Şekil 4.3. Farklı güçlerde ohmik ısıtma uygulamasının nem değişimine etkisi

Özellikle mevcut çalışma literatürdeki çalışmalar ile uzaklaşan su içeriğinin uygulanan voltaj gradyanı ile etkilendiği sonucu paralel iken, zamana bağlı nem içeriğinin farklı çalışmalarda farklı model ile ifade edildiği tespit edilmiştir. Bunun temel nedeni de uygulanan ürüne, ortam koşullarına ve voltaj gradyanına bağlı olarak üründen uzaklaşan su içeriğinin değişmesine bağlı olarak farklı modeller ile ifade edildiği belirlenmiştir.

4.4. Ohmik Isıtma Destekli Evaporasyon İşleminin Performans Değerlendirilmesi

Ohmik ısıtma destekli sistemin verimliliğini değerlendirmek ve karşılaştırmak amacıyla enerji ve ekserji değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde 7.85 ± 0.02 kg su/kg kuru madde içeriğinden 3 ± 0.12 kg su/kuru madde içeriğine kadar azaltmak için gerekli olan toplam harcanan ohmik enerji değeri 231.61-276.69 kJ değeri arasında değiştiği, geleneksel elektrik enerji değeri ise 322.5 ± 25.6 kJ olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$).

Geleneksel ısıtma işleminde toplam harcanan enerji değerinin daha yüksek olduğu, ODE işleminde ise voltaj gradyanı arttıkça toplam harcanan enerji değerinin azaldığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Enerji verimliliğinde ise benzer eğilim olduğu en düşük enerji

verimliliğinin geleneksel evaporasyon işleminde elde edildiği, ODE işleminde ise azalan voltaj gradyanının enerji verimliliğini olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Geleneksel ısıtma işleminde indirekt ısıtma nedeniyle daha fazla enerji kaybı olduğu, ODE işleminde ise işlem süresinin artmasına bağlı olarak enerji kaybının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Ekserjetik değerlendirmeye göre ise ekserji verimi enerji veriminden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Enerji verimliliğine paralel sonuçlar ekserjetik değerlendirme sonucunda da elde edilmiştir. Buna göre en yüksek ekserji verimliliği (59.3 ± 1.0) değeri ODE işlemindeki 11 V/cm değerinde elde edilirken, en düşük ekserji verimi ise geleneksel evaporasyon (32.7 ± 0.9) işleminde elde edilmiştir. Voltaj gradyanındaki artışa bağlı olarak ekserji veriminin arttığı belirlenmiştir. IP değeri sistemin iyileştirilme potansiyelini ifade etmektedir. Buna göre en yüksek IP değeri geleneksel evaporasyon uygulamasında elde edilirken, ODE işleminde ise voltaj gradyanının azalmasına bağlı olarak IP değeri artmıştır. Yani iyileştirilmesi gereken işlemin geleneksel ısıtma yöntemi olduğu ve artan voltaj gradyanına göre iyileştirme gereksiniminin azaldığı belirlenmiştir. Özellikle ekserji analizi çalışmaları ohmik ısıtma işlemi ile sınırlıdır. Buna göre evaporasyon işleminde yapılan ekserji analizinde, voltaj gradyanının ekserji verimi verilmiş ve IP üzerinde etkisi olduğu ve artan voltaj gradyanının olumlu etkisi olduğu rapor edilmiştir ($p < 0.05$).

Benzer eğilim evaporasyon çalışmalarında elde edilmiştir. Sabancı ve İçier (2020), ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde vişne suyunun artan voltaj gradyanının toplam harcanan ohmik enerji değeri üzerine olumlu etkisi olduğunu, işlem sırasında voltaj gradyanı arttıkça toplam harcanan ohmik enerji değerinin azaldığını rapor etmişlerdir. Toplam harcanan ohmik enerji değerinin 285.26 ± 1.26 - 2815.06 ± 37.57 kJ değeri arasında değiştiğini ve en yüksek ekserji verimliliği değerinin 14 V/cm olduğunu rapor etmişlerdir. Konsantrasyon arttıkça IP değerlerinin arttığı ($p < 0.05$) ve artan voltaj gradyanının IP değerinde düşüşe neden olduğunu kaydetmişlerdir. Farklı ohmik uygulamalarında benzer eğilim olduğu voltaj gradyanının artmasına bağlı olarak enerji verimliliği ve toplam harcanan enerji değerini azaldığı belirtilmiştir. Bozkurt ve İçier (2010), yaptıkları çalışmada farklı başlangıç yağ içeriğine sahip silindirik kıyma örneklerini farklı voltaj gradyanlarında (20, 30 ve 40 V/cm) ohmik ve geleneksel olarak pişirmişlerdir. Ohmik pişirmenin geleneksel pişirmeden daha hızlı ve verim değerinin daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir ($p < 0.05$). Çokgezme ve ark. (2017), ohmik ısıtma destekli vakumlu evaporasyon işlemi ve vakumlu evaporasyon yöntemi kullanarak, nar suyunu % 17.5 suda çözünür kuru madde içeriğinden %40 suda çözünür kuru madde içeriğine farklı voltaj gradyanlarında (7.5-10-12.5 V/cm)

buharlaştırmışlardır. En yüksek harcanan toplam enerji değeri ($5844.20 \pm 29.89 \text{ J}$) 7.5 V/cm ($p < 0.05$)’de %40 SÇKM içeriğinde belirlenmiştir. Aynı toplam çözünür kuru madde içeriği için, voltaj gradyanı arttıkça ekserji verim değerinin arttığını ve iyileştirme potansiyeli (IP) değerinin azaldığını rapor etmişlerdir.

Kanjanapongkul (2017), yaptığı çalışmada pirinci pişirmek için ohmik ısıtma kullanmıştır. Ohmik pişirme işleminde harcanan enerji değeri, bir elektrikli pirinç pişirici tarafından harcanan toplam enerji değerinin yaklaşık $1/4$ ’ü kadar olduğu belirtilmiştir. Harcanan enerji değeri açısından değerlendirildiğinde, ohmik ısıtma işleminin toplam pişirme enerjisinin %70’inden fazla tasarruf sağladığı rapor edilmiştir. Kuriya ve ark. (2020), yaban mersini aromalı sütlü tatlıların kalite parametrelerinde ohmik ısıtma ve geleneksel yöntemin etkisini araştırmışlardır. Ohmik ısıtmanın geleneksel yöntemle kıyasla harcanan enerji değerinin daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir.

Tablo 4.2. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon ve geleneksel evaporasyon işlemlerinden elde edilen performans verileri

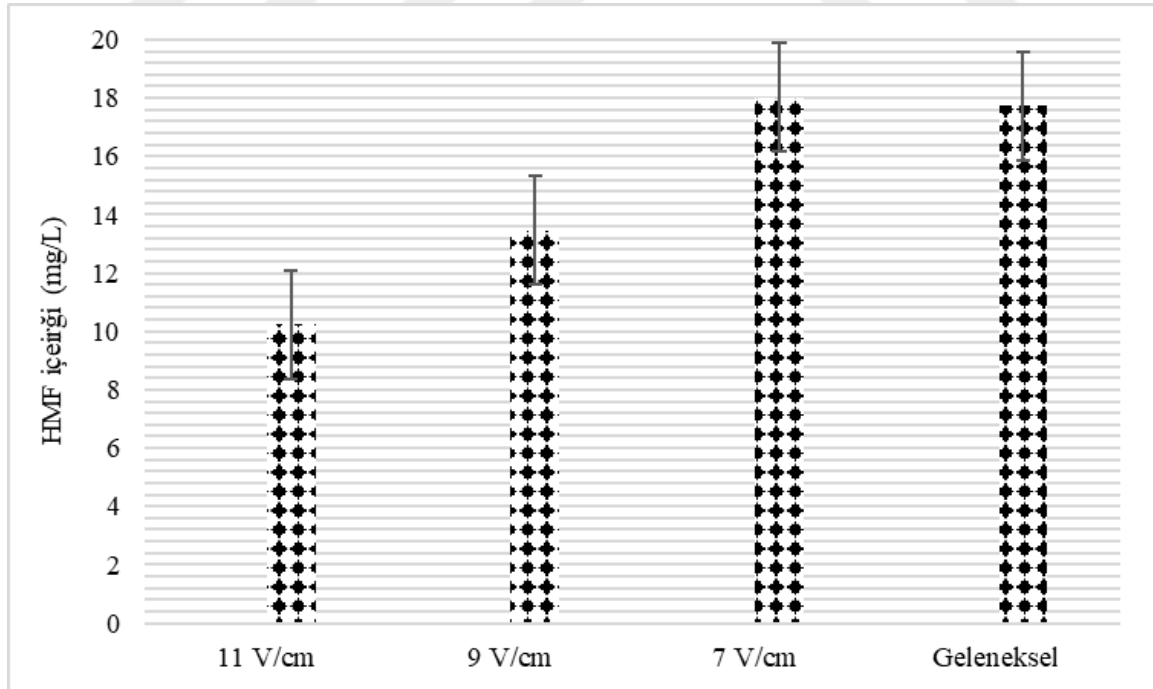
Yöntemler	Voltaj gradyanı (V/cm)	THE (kJ)	η_{Energy} (%)	$E_{X_{\text{dest}}}$ (kJ)	η_{Exergy} (%)	IP (kJ)
ODE	7	276.7 ± 5.6	56.3 ± 1.1	32.4 ± 1.3	49.7 ± 1.0	16.3 ± 1.1
	9	251.5 ± 1.0	61.8 ± 0.2	26.6 ± 0.3	54.6 ± 0.2	12.1 ± 0.3
	11	231.6 ± 4.0	67.1 ± 1.1	21.9 ± 0.9	59.3 ± 1.0	8.9 ± 0.6
Geleneksel Evaporasyon		420.6 ± 12.3	37.1 ± 1.1	65.9 ± 2.9	32.7 ± 0.9	44.4 ± 2.6

ODE: ohmik ısıtma destekli evaporasyon; THE: toplam harcanan ısıtma enerjisi; Ex: ekserji; IP: iyileştirme potansiyeli.

Literatür ile genel olarak mevcut çalışma karşılaştırıldığında uyumlu sonuçlar elde edilmiş olsa da, verimlilik değerlerinin bir miktar düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun temel nedeninin evaporasyon işleminin atmosferik koşullarda yapılması ve kaynama işleminin 100°C ’de gerçekleşmesi nedeniyle ortam ile sıcaklık farkının yüksek olması nedeniyle kayıp enerjinin değerinin yüksek olmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.5. Evaporasyon İşleminin Hidroksimetilfurfural İçeriği Üzerine Etkisi

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi ve geleneksel evaporasyon işlemi ile elde edilen konsantre süt örneklerinin hidroksimetilfurfural (HMF) içeriği Şekil 4.4'e verilmiştir. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde 3 farklı voltaj gradyanının HMF içeriklerinin 10.22 ± 0.34 mg/L ile 18.03 ± 1.46 mg/L arasında değiştiği tespit edilmiştir. HMF içeriğinin voltaj gradyanından etkilendiği artan voltaj gradyanının HMF içeriğini azalttığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Geleneksel evaporasyon işleminde elde edilen süt örneğinin HMF içeriğinin ise 17.72 ± 0.72 mg/L olduğu belirlenmiştir. Farklı voltaj gradyanından elde edilen HMF içeriklerinin geleneksel yöntem karşılaştırıldığında 11 V/cm ve 9 V/cm arasında anlamlı farklı olduğu ($p < 0.05$) ancak 7 V/cm ile benzer HMF içeriklerine istatistiksel olarak benzerliğe sahip olduğu belirlenmiştir ($p > 0.05$). Özellikle artan voltaj gradyanının işlem süresi üzerine olumlu etkisi olması ve işlem süresini kısaltmasının HMF içeriği üzerine etkisi olduğu düşünülmektedir. Geleneksel evaporasyon işleminin HMF içeriğinin bu kadar yüksek olmasının nedeni ise indirekt ısıtma olması ve bölgesel olarak yüksek sıcaklıklarla temas edilmesi olabilir. Bu nedenle ohmik ısıtmanın homojen ısıtma olması ve bölgesel ısıtma olmaması nedeniyle olumlu etkisi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.4. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon (ODE) işlemi ve geleneksel evaporasyon işlemine ait hidroksimetilfurfural (HMF) içerikleri

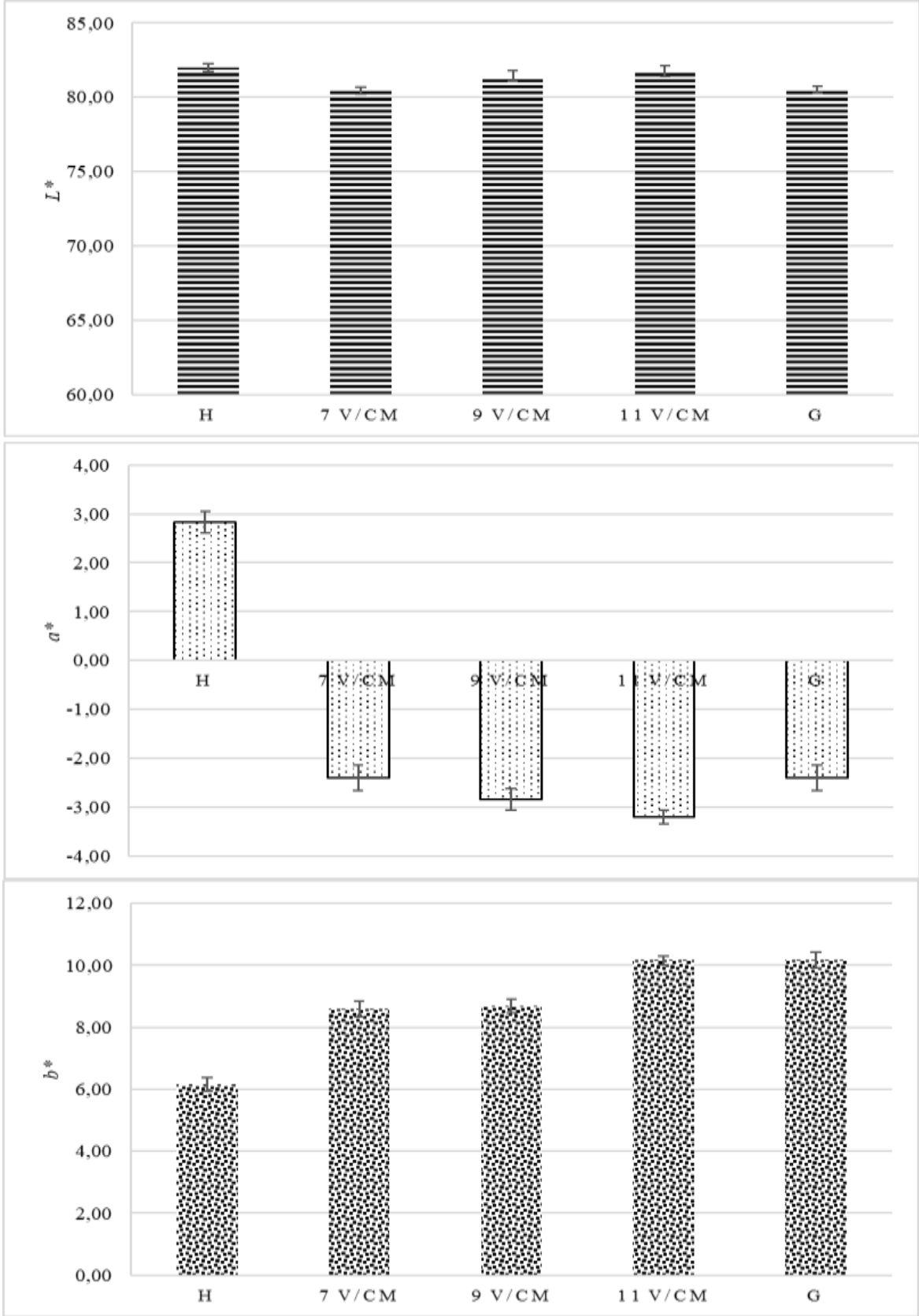
Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi ile yapılan çalışmalar incelendiğinde sınırlı çalışma olduğu tespit edilmiştir. Parmar ve ark. (2018), farklı süt örnekleri kullanılarak yaklaşık olarak %22 SÇKM değerine kadar konsantre edilmiş ve HMF değerindeki değişim incelenmiş ve geleneksel evaporasyon yöntemi ile karşılaştırılmıştır. HMF içeriğinin ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Mevcut tez çalışmasında farklı sonuç olması ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde işlem süresinin 73 dakika gibi oldukça yüksek olduğu ve HMF üzerinde etkisi olduğu düşünülmektedir. Vişne suyunun vakum altında evaporasyon uygulaması sonucunda yüksek voltaj gradyanı ile elde edilen konsantre vişne suyunun HMF değerinin daha düşük olduğu ve bunun nedeninin çalışma işlem süresi ile alakalı olduğu rapor edilmiştir (Sabancı ve İçier, 2019). Nar suyunun farklı voltaj gradyanı ile yapılan %40 SÇKM değerine kadar konsantre edilmiş ve HMF değerindeki değişimler incelenmiştir. Buna göre HMF miktarının geleneksel evaporasyon yöntemi ile karşılaştırıldığında vakum altında ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminin HMF miktarının da daha düşük olduğu rapor edilmiştir (Sabancı ve ark., 2018).

4.6. Evaporasyon İşleminin Renk Değerleri Üzerine Etkisi

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde elde edilen ürünlerin renk değişimleri L^* , a^* ve b^* değerleri incelenmiş ve geleneksel evaporasyon işlemi ile karşılaştırılmıştır. Buna göre evaporasyon işlemi sonunda elde edilen renk değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi ve geleneksel evaporasyon işlemi sonucunda elde edilen konsantre süt örneğinin L^* değerlerinin 81.76-80.46 arasında değiştiği, hammaddenin L^* değerinin ise 81.97 olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). İstatistiksel olarak 9 V/cm ve 11 V/cm uygulamalarında elde edilen L^* değerinin, geleneksel evaporasyon ve 7 V/cm'den elde edilen konsantre süt örneğinden farklı olduğu ancak geleneksel evaporasyon ve 7 V/cm'den elde edilen konsantre süt örneklerinin benzer olduğu belirlenmiştir ($p>0.05$).

Renk değerlerinde olan a^* değerinin (-3.20)-(-2.39) arasında değiştiği, hammaddenin a^* değerinin ise 2.83 olduğu tespit edilmiştir. 11 V/cm voltaj gradyanında elde edilen konsantre süt örneğini a^* değerinin diğer uygulamalardan farklı olduğu tespit edilmiş ($p<0.05$) ancak geleneksel ve 7 V/cm voltaj gradyanı ile elde edilen konsantre süt örneklerinin a^* renk değerlerinin istatistiksel olarak benzer olduğu bulunmuştur ($p>0.05$).

Konsantre süt örneklerinin b^* değerinin ise 8.59-10.16 arasında değiştiği, hammaddenin ise b^* renk değerinin ise 6.15 olduğu tespit edilmiştir. 11 V/cm ve 9 V/cm voltaj gradyanı uygulamasından elde edilen konsantre süt örneğinin b^* renk değerlerinin geleneksel evaporasyon ve 7 V/cm voltaj gradyanı uygulaması karşılaştırıldığında benzer olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$). Ancak 11 V/cm ve 9 V/cm'den elde edilen konsantre süt örneğinin ise geleneksel evaporasyon ve 7 V/cm voltaj gradyanı uygulamasından elde edilen konsantre süt örneklerinden farklı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Parmar ve ark. (2018), farklı hayvan örneklerinden elde edilen süt örneklerinin ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi kullanarak 13.3 V/cm voltaj gradyanında %22 SÇKM içeriğine kadar konsantre edilmiş ve renk özelliklerini incelemişlerdir. Konsantre süt örneklerinin renk değerleri üzerine etkisi olduğu ve parlaklık bakımından daha yüksek ürün elde edildiği rapor edilmiştir. Genel olarak renk değerleri zerine 11 V/cm voltaj gradyanının renklerini genel olarak daha iyi koruduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Ohmik ısıtma destekli evaporasyon ve geleneksel evaporasyon işlemi ile elde edilen renk sonuçları (H: Hammadde; G: Geleneksel Evaporasyon)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi 3 farklı voltaj gradyanı (7-11 V/cm) kullanılarak 7.85 ± 0.02 kg su/ kg KM içeriğine sahip süt başarı ile yaklaşık 3 ± 0.12 kg su/kg KM içeriğine konsantre edilmiştir. İşlem süresince sütün sıcaklık değişimleri incelemiş ve konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1 °C artış olduğu tespit edilmiştir.

Ohmik ısıtma işleminde incelenen en önemli parametrelerin başında elektriksel iletkenlik değeri gelmektedir. Atmosferik koşullar altında ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi sırasında elektriksel iletkenlik değeri hem ısınma periyodunda hem de evaporasyon periyodunda ayrı ayrı incelenmiştir. 3 farklı voltaj gradyanında ısınma periyodunda elektriksel iletkenlik değerinin 0.43-1.31 S/m arasında değiştiği, sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerinin arttığı ve sıcaklık ile elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Evaporasyon periyodunda 7.85 ± 0.02 kg su/kg KM değerine sahip süt örneğinin elektriksel iletkenlik değeri üzerine köpürmenin etkisi olduğu, 3 farklı voltaj gradyanı için elektriksel iletkenlik değerinin 1.27-1.89 S/m arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca nem içeriği azaldıkça elektriksel iletkenlik arttığı belirlenmiştir.

3 farklı voltaj gradyanı kullanarak ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminin zamana bağlı değişimi incelenmiş ve 3 farklı voltaj gradyanı için de işlem süresi ilerledikçe üründe bulunan nem içeriğinin azaldığı belirlenmiştir. Voltaj gradyanı arttıkça işlem süresi kısalmış yani üründen uzaklaşan su miktarı hızının arttığı tespit edilmiştir. Sütün nem içeriğinin zamanla ilişkisinin doğrusal olduğu ancak literatürde farklı ürünler için benzer ve/veya farklı modeller ile ifade edildiği belirlenmiştir. Özellikle literatüre benzer çalışmaların meyve suları için bulunsada farklı ürünler için süt, süt ürünleri ve sebze suları için sınırlı olduğu ve bu tarz çalışmaların artması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların laboratuvar ölçekli olduğu dikkat çekmektedir. Bu nedenle pilot ölçekli çalışmaların yapılması tavsiye edilmektedir.

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işleminde ekserji verimlilik değerlerinin enerji verimlilik değerlerinden daha düşük olduğu ve enerji ve ekserji verimliliği üzerinde uygulanan yöntemin istatistiksel olarak önemli etkisi olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Toplam harcanan enerji değerinin en yüksek geleneksel evaporasyon işleminde elde edilirken, artan voltaj gradyanı ile toplam harcanan enerji değerinin azaldığı belirlenmiştir. Enerji ve ekserji verimliliği üzerine uygulanan voltaj gradyanının etkisi olduğu, artan voltaj gradyanının

verimlilik değerleri üzerine olumlu etki gösterdiği tespit edilmiştir ($p<0.05$). Literatürde özellikle ohmik ısıtma ile sınırlı çalışmalarda performans değerlendirmesi yapıldığı belirlenmiş ve farklı işlemler için çalışmaların yapılması tavsiye edilmektedir.

Ohmik ısıtma destekli evaporasyon işlemi sırasında HMF içeriği en yüksek 7 V/cm değerinde elde edilse de istatistiksel olarak geleneksel evaporasyon yöntemi ile aynı olduğu belirlenmiştir. En düşük HMF değeri ise 11 V/cm’de voltaj gradyanında elde edilmiştir. Bunun da özellikle süt evaporasyonunda geleneksel evaporasyon işlemine alternatif bir ısıtma olduğu düşünülmektedir. Ancak farklı voltaj gradyanları ve farklı süt örnekleri ile daha çok süt çalışmasının yapılması ve alternatif diğer kalite özelliklerinin karşılaştırılması gereken çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle literatürde yapılacak farklı çalışmalar literatüre katkı ve pilot ölçekli işletmeler için veri kaynağı sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Assiry, A. M.** 2011. Application of ohmic heating technique to approach near-ZLD during the evaporation process of seawater. *Desalination*, 280(1–3):, 217–223. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.010>
- Assiry, A. M., Gaily, M. H., Alsamee, M., Sarifudin, A.** 2010. Electrical conductivity of seawater during ohmic heating. *Desalination*, 260(1–3):, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.015>
- Baysal, T., İçier, F., Baysal, H. A.** 2011. Güncel elektriksel ısıtma yöntemleri, *Sidas Medya Yayınları*.
- Bozkir, H., Baysal, T.** 2017. Concentration of apple juice using a vacuum microwave evaporator as a novel technique: Determination of quality characteristics. *Journal of Food Process Engineering*, 40(5):, 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12535>
- Cassano, A., Drioli, E., Galaverna, G., Marchelli, R., Di Silvestro, G., Cagnasso, P.** 2003. Clarification and concentration of citrus and carrot juices by integrated membrane processes. *Journal of Food Engineering*, 57(2):, 153–163. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00293-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00293-5)
- 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>
- Çevik, 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>
- Çevik, M., Faruk Çokgezme, Ö., Sabancı, S., İçier, F.** 2020. Ohmik destekli vakum altında evaporasyon sistemi ile konsantre edilen nar S suyunun reolojik özelliklerindeki değişimin incelenmesi. *Gıda The journal of Food*, 45(4):, 748–762. <https://doi.org/10.15237/gida.GD20049>
- Cevik, M., Sabancı, S., İçier, F., Yildiz, H.** 2014. Changes on rheological properties of pomegranate (*Punica granatum* L., cv. Hicaznar) juices during concentration process (Vol. 46).
- Cevik, Mutlu, İçier, F.** 2018. Effects of voltage gradient and fat content on changes of electrical conductivity of frozen minced beef meat during ohmic thawing. *Journal of Food Process Engineering*, 41(4):, 1–13. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12675>
- Cokgezme, O. F., Sabancı, S., Cevik, M., Yildiz, H., İçier, 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., Hosainpour, A., Nargesi, F., Fadavi, A.** 2015. Exergy and energy analyses of liquid food in an ohmic heating process: A case study of tomato production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 31:, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.06.012>
- Darvishi, H., Hosainpour, A., Nargesi, F., Khoshtaghaza, M. H., Torang, H.** 2011. Ohmic processing: Temperature dependent electrical conductivities of lemon juice. *Modern Applied Science*, 5(1):, 209. <https://doi.org/10.5539/mas.v5n1p209>
- Darvishi, H., Khostaghaza, M. H., Najafi, G.** 2013. Ohmic heating of pomegranate juice: Electrical conductivity and pH change. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 12(2):, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.08.003>
- Darvishi, H., Koushesh Saba, M., Behrooz-Khazaei, N., Nourbakhsh, H.** 2020. Improving quality and quantity attributes of grape juice concentrate (molasses) using ohmic heating. *Journal of Food Science and Technology*, 57(4):, 1362–1370. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04170-1>
- 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>
- Eren, E.** 2018. Eski anadolu toplumlarında beslenme alışkanlıkları nutrition habits in ancient anatolian populations. Sayı: Ek 1, 2:, 308–323.
- 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>
- FAO** 2019. Food and agriculture organization of the united nations. *FAOSTAT*.
- Gaily, M. H. M.** 1999. Design, construction and performance of an ohmic fruit juice evaporator. .
- Geankoplis, C. J.** 2003. Transport processes and separation process principles (C. J. Geankoplis, Ed.), New Jersey, : Pearson.
- Hosainpour, A., Darvishi, H., Nargesi, F., Fadavi, A.** 2014. Ohmic pre-drying of tomato paste. *Food Science and Technology International*, 20(3):, 193–204. <https://doi.org/10.1177/1082013213480360>
- İçier, F.** 2012. Ohmic heating of fluid foods. *Novel Thermal And Non-Thermal Technologies For Fluid Foods : Novel Thermal And Non-Thermal Technologies For Fluid Foods, Elsevier Inc.* : , 305–367. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381470-8.00011-6>
- İçier, F., Ilicali, C.** 2005. The effects of concentration on electrical conductivity of orange juice concentrates during ohmic heating. *European Food Research and Technology*,

220(3–4):, 406–414. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1043-x>

- İcier, F., Sengun, I. Y., Yildiz Turp, G., Arserim, E. H.** 2014. Effects of process variables on some quality properties of meatballs semi-cooked in a continuous type ohmic cooking system. *Meat Science*, 96(3):, 1345–1354. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.11.013>
- İcier, F., Tavman, S.** 2006. Ohmic heating behaviour and rheological properties of ice cream mixes. *International Journal of Food Properties*, 9(4):, 679–689. <https://doi.org/10.1080/10942910600547467>
- İcier, F., Yildiz, H., Sabanci, S., Cevik, M., Cokgezme, O. F.** 2017. Ohmic heating assisted vacuum evaporation of pomegranate juice: Electrical conductivity changes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39:, 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.014>
- İcier, F.** 2003. Gıdaların ohmik ısıtma yöntemiyle ısıtılmasının deneysel ve kuramsal olarak incelenmesi, Ege University.
- İcier, F., Ilicali, C.** 2004. Electrical conductivity of apple and sourcherry juice concentrates during ohmic heating. *Journal of Food Process Engineering*, 27(3):, 159–180.
- İcier, F., Yildiz, H., Sabanci, S., Cevik, M., Cokgezme, O.** 2017. Ohmic heating assisted vacuum evaporation of pomegranate juice: Electrical conductivity changes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39:, 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.014>
- İcier, Filiz, 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>
- 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>
- Kutlu, N., Isci, A., Sakiyan, O., Yilmaz, A. E.** 2021. Extraction of phenolic compounds from cornelian cherry (cornus mas l.) using microwave and ohmic heating assisted microwave methods. *Food and Bioprocess Technology*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02588-0>
- Nayak, B., Liu, R. H., Tang, J.** 2015. Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7):, 887–919. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.654142>
- Onsekizoglu, P., Bahceci, K. S., Acar, M. J.** 2010. Clarification and the concentration of apple juice using membrane processes: A comparative quality assessment. *Journal of Membrane Science*, 352(1–2):, 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2010.02.004>

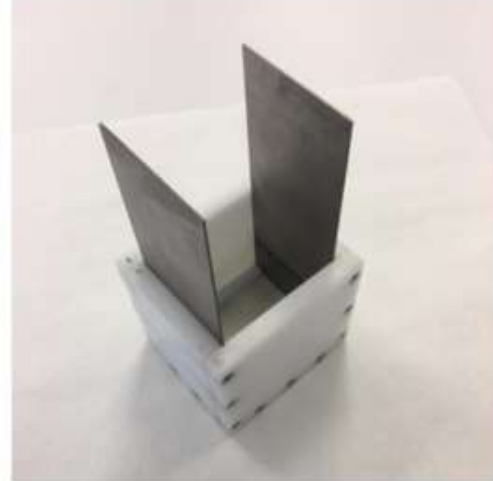
- Palaniappan, S., Sastry, S. K.** 1991. Electrical conductivities of selected solid foods during ohmic heating. *Journal of Food Process Engineering*, 14(3):, 221–236. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1991.tb00093.x>
- Parmar, P., Singh, A. K., Meena, G. S., Borad, S., Raju, P. N.** 2018. Application of ohmic heating for concentration of milk. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12):, 4956–4963. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3431-4>
- Sabanci, S.** 2017. Ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon sisteminin kurulumu, performans değerlendirmesi, işlemin deneysel ve kuramsal incelenmesi, Ege Üniversitesi.
- Sabanci, S.** 2020. Investigation of electrical conductivity value and cooking homogeneity during ohmic cooking of turkish sausage sucuk örneklerinin ohmik pişirilmesi sırasında elektrik iletkenlik değerinin ve pişirme homojenliğinin incelenmesi. *Öz. Int. J. Pure Appl. Sci*, 6(2):, 219–226. <https://doi.org/10.29132/ijpas.788791>
- 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., Cevik, M., Cokgezme, O. F., Yildiz, H., Icier, F.** 2018. Quality characteristics of pomegranate juice concentrates produced by ohmic heating assisted vacuum evaporation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, (4):. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9474>
- 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):. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9474>
- Sabanci, S., Icier, F.** 2017a. Applicability of ohmic heating assisted vacuum evaporation for concentration of sour cherry juice. *Journal of Food Engineering*, 212:.. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.004>
- Sabanci, S., Icier, F.** 2017b. 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.** 2020a. Enhancement of the performance of sour cherry juice concentration process in vacuum evaporator by assisting ohmic heating source. *Food and Bioproducts Processing*. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.05.004>
- Sabanci, S., Icier, F.** 2020b. Rheological behavior of sour cherry juices concentrated by ohmic and conventional evaporation processes under vacuum. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14832>
- 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>

- Şahinöz, S., Özdemir, M.** 2017. Üniversite öğrencilerinin süt ve süt ürünleri tüketim alışkanlıkları ve etkileyen faktörler. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(4):, 106–112.
- 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>
- 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>
- Wang, W. C., Chu, C. Y.** 2003. Study of vacuum evaporation by using ohmic heating. 2003 *IFT Annual Meeting Book of Abstracts*, , 59.
- Yildiz-Turp, G., Sengun, I. Y., Kendirci, P., Icier, F.** 2013, March 1. Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review. *Meat Science, Elsevier:* , 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.10.013>
- Yildiz, H., Bozkurt, H., Icier, F.** 2009a. Ohmic and conventional heating of pomegranate juice: Effects on rheology, color, and total phenolics. *Food Science and Technology International*, 15(5):, 503–512. <https://doi.org/10.1177/1082013209350352>
- Yildiz, H., Bozkurt, H., Icier, F.** 2009b. Ohmic and conventional heating of pomegranate juice: Effects on rheology, color, and total phenolics. *Food Science and Technology International*, 15(5):, 503–512. <https://doi.org/10.1177/1082013209350352>
- Zell, M., Lyng, J. G., Cronin, D. A., Morgan, D. J.** 2009. Ohmic heating of meats: Electrical conductivities of whole meats and processed meat ingredients. *Meat Science*, 83(3):, 563–570. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.07.005>

EKLER

EK1. ODE işlemine ait fotoğraflar



EK2. Hidroksimetilfurfural standart eğrisi

