

**OHMİK ISITMA DESTEKLİ EKSTRAKSİYON İŞLEMİ İLE
LİMON KABUĞU TOZUNDAN PEKTİN ÜRETİMİ VE
PERFORMANS İNCELEMESİ**

Seda ÇİLİNGİR BEKÇİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

DANIŞMAN
Doç. Dr. SERDAL SABANCI

TUNCELİ-2024

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**OHMİK ISITMA DESTEKLİ EKSTRAKSİYON İŞLEMİ İLE LİMON
KABUĞU TOZUNDAN PEKTİN ÜRETİMİ VE PERFORMANS
DEĞERLENDİRMESİ**

Seda ÇİLİNGİR BEKÇİ
(190010002)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Serdal SABANCI

TUNCELİ-2024

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**OHMİK ISITMA DESTEKLİ EKSTRAKSİYON İŞLEMİ İLE LİMON KABUĞU
TOZUNDAN PEKTİN ÜRETİMİ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ**

Seda ÇİLİNGİR BEKÇİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 15/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza	İmza	İmza
Doç. Dr. Serdal SABANCI (Munzur Üni.)	Doç. Dr. Esma Nur GEÇER (Munzur Üni.)	Dr. Öğr. Üyesi Ferit AK (Munzur Üni.)
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

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

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

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.

15.01.2024

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 ÇİLİNGİR BEKÇİ

Danışman
Doç. Dr. Serdal SABANCI

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu araştırmanın belirlenmesi, gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesi sırasında değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp büyük bir sabırla beni dinleyip yol gösteren ve yine tüm ilgisi ve emeği ile bana yardımcı olabilmek için elinden geleni sunan, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, samimiyetini benden esirgemeyen,, hem hayattaki mücadelesi ile hem de gelecekteki mesleki hayatımda kendisini rol model aldığım saygıdeğer hocam, danışmanım Sayın Doç. Dr. Serdal SABANCI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları esnasında benden yardımlarını esirgemeyen, değerli bilgileri ile bana yol göstererek danışman hocam ile birlikte desteklerini her zaman yanımda hissettiğim kıymetli hocam Doç. Dr. Mutlu ÇEVİK'e, Arş. Gör. Ali GÖKSU'ya, teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını bir an olsun esirgemeyen, her türlü yardımlarını sunan değerli hocalarım, Dr. Öğr. Üyesi Hatice Pınar YÜKSEL'e, Dr. Öğr. Üyesi Zeynep EROĞLU'na, Dr. Öğr. Üyesi Emrah KARAKAVUK'a ve çalışmam boyunca beni motive ederek hep yanımda olan iyi niyeti ve yardımseverliğiyle birlikte strese girip güldüğümüz canım arkadaşlarım Gülseven DURAN'a, Özge GÜLMEZ'e ve Pınar BÜYÜDÜ'ye ayrıca teşekkür etmek isterim.

Son olarak da, hayallerimin her zaman peşinden gitmemi sağlayan, hayatımı incelikler üzerine kurmamı sağlayan, attığım her adım ve aldığım her kararda koşulsuz hep yanımda olan ve bana güvenen canım annem Nursel ÇİLİNGİR'e, babam Sait ÇİLİNGİR'e, elinden geleni daima yapan kardeşim Sezen ÇİLİNGİR'e ve her konuda destek olan sevgili eşim Murat BEKÇİ'ye sonsuz teşekkürler.

Bu tezde kullanılan ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sistemi TÜBİTAK 218-O-135 nolu projenin alt yapısı ile yapılmıştır. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Seda ÇİLİNGİR BEKÇİ

TUNCELİ-2024

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.....	3
2.1. Pektin.....	3
2.2. Ekstraksiyon.....	4
2.3. Ohmik ısıtma.....	5
2.4. Ohmik Ekstraksiyon.....	7
2.5. Ohmik Isıtma Destekli Ekstraksiyon İşlemi İle Pektin Üretimi.....	9
3. MATERYAL YÖNTEM.....	12
3.1. Materyal.....	12
3.2 Ekstraksiyon yöntemleri.....	13
3.2.1. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi.....	13
3.2.2 Geleneksel ekstraksiyon işlemleri.....	13
3.4. Sıcaklık Dağılımı.....	14
3.5. Elektriksel İletkenlik Değişimi.....	15
3.6. Güç Ölçümleri.....	15
3.7. pH Ölçümü.....	16
3.8. Pektin Verimi.....	16
3.9. Pektinde Ekvivalent Ağırlığının Belirlenmesi.....	18
3.10. Pektinin Metoksil İçeriğinin Belirlenmesi.....	18
3.11. Pektinde anhidronik asit analizi.....	18
3.12. Pektinde Esterleşme Derecesinin Belirlenmesi.....	19
3.13. Performans Değerlerinin İncelenmesi.....	19
3.13.1. Enerji analizleri.....	20
3.13.2. Ekserji analizi.....	21
3.14. İstatistiksel Değerlendirme.....	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	23
4.1. Isınma Süresi ve Sıcaklık Dağılımları.....	23
4.2. Elektriksel İletkenlik Değeri.....	26
4.3. Pektin Verimi.....	27
4.4. Ohmik Isıtma Destekli Ekstraksiyon İşleminin Güç Ölçüm Değerleri.....	30
4.5. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işleminin performans özellikleri.....	32
4.5. Pektinde Ekvivalent Ağırlık (EA).....	34
4.6. Pektinde Metoksil İçeriği.....	36
5. SONUÇLAR VE ÖNERİ.....	40
6. KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon (OIDE) (a) ve geleneksel pektin üretimi (TPP) prosesinin (b) şematik gösterimi	14
Şekil 3.2.	Pektin eldesi amacıyla ekstraksiyon işleminde devam eden işlem basamakları	17
Şekil 4.1.	OIDE işlemi sırasında farklı katı/sıvı oranlarında 30 dakika boyunca 90°C'lik ekstraksiyon işlemi sırasında sıcaklık değişimi	25
Şekil 4.2.	Farklı katı/sıvı oranındaki ekstraksiyon çözeltilerinin elektiriksel iletkenlik değerleri	27
Şekil 4.3.	Farklı işlem sürelerinde OIDE işleminde elde edilen pektin verimi	29



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Limon kabuğu tozunun ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi sırasındaki ısınma süreleri.....	24
Tablo 4.2. Limon kabuğu tozunun farklı sıcaklık, farklı katı/sıvı oranı ve farklı bekleme sürelerindeki ohmik ekstraksiyon (OIDE) sonrası ve geleneksel ekstraksiyon sonrası pektin verimi.....	28
Tablo 4.3. Farklı işlem koşullarında pektin üretimi sırasında elde edilen toplam harcanan ohmik ısıtma enerjisi ve SPÜK değeri	31
Tablo 4.4. Farklı işlem koşullarında pektin üretimi sırasında elde edilen Exergy değeri ve IP değeri.....	34
Tablo 4.5. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon yöntemi ile geleneksel yöntem ile yapılan ekstraksiyon yönteminde pektinde eküvalent ağırlık değeri ve metoksil içeriği	38

SEMBOLLER LİSTESİ

g	: Gram
mL	: Mililitre
°C	: Santigrat derece
Dak	: Dakika
S	: Saniye
T	: Sıcaklık
Kg	: Kilogram
I	: Akım (Amper)
V	: Voltaj
OIDE	: Ohmik ısıtma Destekli Ekstraksiyon
Cm	: Santimetre
I	: Akım (Amper)
V	: Voltaj

KISALTMALAR LİSTESİ

OIDE	: Ohmik Isıtma Destekli Ekstraksiyon
FAO	: Gıda ve Tarım Organizasyonu
EX	: Ekserji
EC	: Elektriksel İletkenlik
UAE	: Ultrason Destekli Ekstraksiyon
USDA	: Amerika Birleşik Devletleri tarım bakanlığı
FDA	: Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi
EFSA	: Uluslararası kuruluşlar ve Avrupa Topluluğu Gıda Güvenliği Ajansı
SPK	: Spesifik Performans Katsayısı
SPÜK	: Spesifik Pektin Üretim Katsayısı
SÇKM	: Suda Çözünür Kuru Madde



ÖZET

Ohmik ısıtma işlemi homojen, verimli ve hızlı ısıtma olarak bilinir. Bu çalışmada, limon kabuğundan pektin ekstraksiyonunun ohmik ısıtma kullanılarak analiz edilmesi, spesifik pektin üretim katsayısının (SPÜK, mg/kJ) değerlendirilmesi ve geleneksel pektin üretimi ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ohmik ısıtma işleminin etkisini detaylı olarak ortaya koymak için, geleneksel yöntem kullanılarak pektin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiş ve elde edilen pektin maddesinin fizikokimyasal özelliklerindeki değişim ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile karşılaştırılmıştır. Ekstraksiyon işlemi 3 farklı sıcaklıkta (70-80-90 °C), 3 farklı katı:sıvı oranında (1:30, 1:40, 1:50 g/ml), 3 farklı ekstraksiyon bekletme süresinde (0-15-30 dk) ve sabit pH'da (sitrik asit ile ayarlanmış pH:2) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre ekstraksiyon koşulları pektin verimini etkilemiştir. Sıcaklık ve ekstraksiyon bekletme süresi arttıkça pektin veriminde artış gözlemlenmiştir. Genel olarak, ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon (OIDE) işleminin 30 dakikalık pektin verimleri, aynı koşullar altında geleneksel pektin ekstraksiyonundan elde edilen pektin verimlerine benzer olduğu görülmüştür. Pektin üretiminin performans değerlendirmesi 90 °C için yapılmış olup, 3 farklı katı/sıvı oranı için enerji verimliliği %69'un üzerinde bulunmuştur. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon yönteminin geleneksel ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla daha yüksek enerji ve ekserji verimliliği ile benzer kalite özelliklerinde pektin elde edilmesine olanak verdiği belirlenmiştir. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işleminin farklı meyve kabuğu tozlarında pektin üretimi amacıyla alternatif bir yöntem olarak uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Geleneksel pektin ekstraksiyon yöntemine alternatif olarak OIDE işleminin uygulanabileceği belirtilmiştir. Bu istatistiksel karşılaştırılma amacı ile SPSS paket programı (IBM, ABD) kullanılmıştır. Pektin üretimi sırasında termodinamik açıdan enerji ekserji verimi, ekserji yokolan değerlerinin karşılaştırılması, sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması, pektin verimi vb. karşılaştırmak için çoklu karşılaştırma olan ANOVA testinde yararlanılmış ve işlemler üzerine etkileri arasındaki farklılıklar, Tamamen Rastgele Deneme Desenine göre, tek yönlü varyans (Post Hoc- Duncan testi) analizi kullanılmıştır. Kullanılan istatistiksel değerlendirmede güven aralığı 0.95 olarak kabul edilmiştir.

Anahtar Kelime: Ohmik ısıtma, limon tozu, pektin, performans, enerji

ABSTRACT

Pectin Production From Lemon Peel Powder By Ohmic Heating Assisted Extraction Process And Performance Evaluation

Ohmic heating process is known as homogeneous, efficient and fast heating. In this study, it was aimed to analyze pectin extraction from lemon peel using ohmic heating, evaluate the specific pectin production coefficient (SPÜK, mg/kJ) and compare it with traditional pectin production. In order to reveal the effect of the ohmic heating process in detail, pectin extraction was carried out using the traditional method and the change in the physicochemical properties of the resulting pectin substance was compared with the ohmic heating assisted extraction process. The extraction process was conducted at three different temperatures (70, 80, and 90 °C), three different solid-to-liquid ratios (1:30, 1:40, and 1:50 g/ml), and three different extraction retention times (0, 15, and 30 minutes) while maintaining a constant pH of 2 adjusted with citric acid. According to the results, extraction conditions affected pectin yield. An increase in pectin yield was observed as the temperature and extraction holding time increased. In general, the 30-min pectin yields of the ohmic heating-assisted extraction (OIDE) process were found to be similar to the pectin yields obtained from conventional pectin extraction under the same conditions. The performance evaluation of pectin production was made for 90 °C, and the energy efficiency was found to be over 69% for 3 different solid/liquid ratios. It has been determined that the ohmic heating-assisted extraction method allows obtaining pectin with similar quality characteristics with higher energy and exergy efficiency compared to traditional extraction methods. It was concluded that ohmic heating assisted extraction process can be applied as an alternative method for pectin production in different fruit peel powders. It has been stated that the OIDE process can be applied as an alternative to the traditional pectin extraction method. SPSS package program (IBM, USA) was used for this statistical comparison. The thermodynamic energy exergy efficiency, exergy dissipation values, temperature values, and pectin yield were compared during pectin production using the ANOVA test, a multiple comparison test. To compare the differences between the effects of the treatments, the one-way analysis of variance (Post Hoc-Duncan test) was used according to the Completely Randomized Trial Design. The confidence interval was accepted as 0.95 in the statistical evaluation used.

Keywords: Ohmic heating, lemon powder, pectin, performance, energy

1. GİRİŞ

Pektin, yeşil olmayan bitkilerin hücre duvarında ve hücreler arası bölgelerde doğal olarak bulunan kompleks yapıya sahip polisakkarit gruplardır. Pektinin büyük bir kısmını α -(1-4) glikozidik bağıyla bağlanan D-galakturonik asit yapılarından oluşmaktadır. Pektin maddesi ekstraksiyon yöntemlerindeki farklılıklarından dolayı molekül ağırlığı geniş bir aralıkta değişmektedir.(Mukhiddinov vd., 2000; Ridley vd., 2001). Pektin gıda sanayisinde, jelleştirici, kıvam arttırıcı, su tutma kapasitesini arttırmak ve stabilizatör amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı gıda endüstrisinde meyve ve sebze sularında, reçellerde, pasta jölelerinde, marmelatlar, şekerlemelerde, meyveli krema ve süt ürünlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Koh vd., 2014; May, 1997).

Ticari olarak, geleneksel pektin ekstraksiyonu işlemi pektince zengin ürünün belirli bir pH derecesi (0.7-2) ve sıcaklık (60 -100 °C) aralığında değişen çözgen içerisinde 1-3 saat süreye tabii tutularak ekstrakte edilmesi işlemidir. Geleneksel ekstraksiyon işlemi oldukça basit bir yöntem olmakla beraber bazı dezavantajlara da sahiptir. Ekstraksiyon sıcaklığın yüksek olması ve/veya uzun işlem prosesleri sonucunda pektin maddesinin yapısında bozulmalara veya pektinin kalite özelliklerinde önemli kayıplar meydana gelmektedir. Bu nedenle geleneksel ekstraksiyon işlemi sonucunda elde ürünün pektin verimi ve kalitesi olumsuz etkilenmektedir. Geleneksel ekstraksiyon işleminin sahip bu dezavantajlar araştırmacıları yeni alternatif güncel teknoloji uygulamalarının kullanımına yöneltmiştir. Bu bağlamda pektin ekstraksiyonu amacıyla ultrases (Bagherian vd., 2011; Minjares-Fuentes vd., 2014; Xu vd., 2014), yüksek hidrostatik basınç (Guo vd., 2012), vurgulu elektrik alan (Bagherian vd., 2011), ılımlı elektrik alan (Oliveira vd., 2016), mikrodalga (Wang vd., 2007) ve ohmik ısıtma ekstraksiyon (Kaur ve Singh, 2016a) uygulamaları bulunmaktadır. Bu tekniklerden homojen ısıtma ve yüksek verimlik gibi özellikleri ile ohmik ısıtma işlemi öne çıkmaktadır.

Gelişen teknolojiye bağlı olarak geleneksel ısıtma işlemine güncel ve alternatif teknikler ortaya çıkmaktadır. Bu tekniklerin başında Joule ısıtma ve elektriksel direnç ısıtma olarak da adlandırılan ohmik ısıtma işlemi gelmektedir. Ohmik ısıtma işlemi iki elektrot arasında temas halinde bulunan sıvı veya katı örnekten alternatif akımın geçirilmesi ve gıda maddesinin direnç göstererek ısınması prensibine dayanmaktadır. Sıvı veya katı ürün içerisinde geçen alternatif akımın bir kısmı iletilmekte bir kısmı ise absorblanarak ısı enerjisine dönüşmektedir (İçier, 2012). Isınma hızı gıdanın kompozisyonuna, dokusuna, su

içeriğine ve iyonik bileşiklere sahip olmasına, elektriği iletme ve elektrik enerjisini absorblama özelliklerine bağlı olması nedeniyle üründen ürüne farklılık göstermektedir. Özellikle ısııl özellikleri iyi olan bir ürün ohmik ısıtma işlemi ile hızlı ve homojen bir şekilde ısıtılabilir. Ohmik ısıtma işlemi gıdaların işlenmesi amacıyla pastörizasyon, sterilizasyon, haşlama, evaporasyon, çözündürme, pişirme ve ekstraksiyon gibi ısııl işlemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak yapılan ekstraksiyon çalışmalarına bakıldığında, çalışmaların renk maddeleri ve yağ bileşenlerinin ekstraksiyonu üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (Jittanit vd., 2017; Loypimai vd., 2015; Pereira vd., 2016; Pootao ve Kanjanapongkul, 2016).

Bu tez çalışmasında, geleneksel ekstraksiyon yöntemine alternatif olarak, pektin ekstraksiyon işlemini hızlı ve verimli enerji kullanımı sağlayabilecek ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon (OIDE) sisteminin kurulumu ve limon kabuğu tozundan OIDE işlemi ile pektin üretiminin uygulanabilirliğinin incelenmesi ve geleneksel yöntem ile kıyaslanması gerçekleştirilmiştir. Limon kabuğu tozu örneklerinden elde edilen pektin elde etmek amacıyla organik asit kullanılmış ve pH değeri 2 olarak ayarlanmıştır. Bunun yanı sıra farklı sıcaklık değerleri ve sabit voltaj gradyanı kullanılarak pektin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon (OIDE) işlemi kullanarak farklı üretim koşulları ve geleneksel yöntem kullanılarak pektin üretiminin performans değerleri ve bazı pektinin kalite özellikleri incelenmiştir.

2.LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Pektin

Pektin, hücre yapısına katkıda bulunduğu için hemen hemen tüm bitkilerde bulunan yüksek moleküler ağırlıklı bir karbonhidrat polimeridir. Pektin ayrıca, polimerdeki ana atom zincirinin galakturonik asit ve ramnozdan oluştuğu yan zincirlerin ise arabinoz, fukoz, galaktoz ve ksilozdan oluşan polisakkarit bazlı bir polimerdir. Pektin, birincil hücre duvarlarında ve bitkilerinin hücreler arası boşluklarında oluşur. Bitki hücrelerinin orta lamellerinde bulunan protopektinden elde edilir. Protopektin çözünmez ancak meyve olgunlaştıkça veya bir asit ortamında ısıtıldığında çözünür pektine dönüştürülür (Chen, 2014; Thakur vd., 1997; Tharanathan vd., 2007).

Pektinin yapısı ile ilgili bölümleri ayrıntıları ile anlatacak olursak; pektin, büyük ölçüde narenciye meyvesinin kabuk kısmında bulunur ve bu oran yaklaşık %0.5-3.5'dir. Olgunlaşma sürecinde pektinler, çözünmeyen bir maddeden (olgunlaşmamış meyve) suda çözünür bir maddeye (olgunlaşmış meyve) dönüşür. Pektin, birkaç yüz ila bin galakturonik asit monomer biriminin bir omurga oluşturan α -(1→4)-glikosidik bağ yoluyla bağlandığı lineer yapıya sahip bir polimerdir. Pektinin ortalama moleküler ağırlığı 50 ile 150 kDa arasında değişmektedir. Pektin molekülünün omurgası, belirli bölgelerde galaktoz, mannoz, glikoz ve ksilozun yan zincirlerinin oluşabileceği α -(1→2) rhamnopyranos birimleri ile ikame edilir. Galakturonik asidin metil esterleşmesi pektinde meydana gelir. Metil esterleştirme temelinde, iki farklı pektin türü vardır: yüksek metoksil ve düşük metoksil pektin. Yüksek metoksil pektinler, %50'den fazla esterlenmiş galakturonik asit kalıntıları ile karakterize edilirken, düşük metoksil pektinler, %50'den az esterlenmiş galakturonik asit kalıntıları ile karakterize edilir (Mudgil, 2017; Thakur vd., 1997).

Pektin terimi, moleküler ağırlıklarına, kimyasal konfigürasyonlarına ve nötr şeker içeriğine göre değişen bir dizi polimeri kapsar ve farklı bitki türleri, farklı fonksiyonel özelliklere sahip pektin üretir. Pektin, asit meyve substratında negatif yüklü bir kolloiddir. Bu kolloide şeker eklendiğinde pektin-su dengesi bozulur ve sıvıları destekleyebilen lifli bir ağ kurulur. Fiber ağ, reçeller, jöleler ve konserve için gerekli jeli oluşturur. Pektin tersinir bir kolloiddir. Suda çözülebilir, çöktürülebilir, kurutulabilir ve fiziksel özelliklerinde herhangi bir değişiklik olmaksızın yeniden çözülebilir (Smith, 2003).

Pektin sadece narenciye kabuklarında bulunmamak ile büyük ölçüde diğer meyve ve sebzelerde de bulunur. Bu bağlamda pektin elma posası, şeker pancarı ve ayçiçeği başı gibi

diğer bitki dokularından üretilebilir, ancak çoğu ticari pektin, pektinin alkol ile çözeltiden çökeltilmesiyle turunçgil kabuklarından ve elma posasından elde edilir (Güzel ve Akpınar, 2017).

Pektin kelimesi, pektinin jel oluşturma yeteneğini yansıtan, sert ve sert anlamına gelen Yunanca pektos kelimesinden gelir (Flutto, 2003). Pektin, uygun koşullar altında suda çözündüğünde jel oluşturan bir madde grubudur.

Pektin, alkollü ve alkolsüz içeceklerde viskozlaştırıcı olarak kullanılır ve yüksek esterli pektinler, ağızda his iyileştirici olarak da kullanılabilir. Bu kullanım, meyve içeriği azaltılmış meyve suyu veya şekersiz alkolsüz içecekler için yaygın olarak geliştirilmiştir. Düşük konsantrasyonlu pektin çözeltileri Newtonian olarak kabul edilebilir ve düşük viskozite gösterir. Bu özellik, meyve suları ve alkolsüz içeceklerde pektinin kullanımı için büyük önem taşımaktadır, çünkü kullanılan konsantrasyon nadiren %0.5'i aşmaktadır (Flutto, 2003a). Pektin ayrıca ilaç endüstrisinde ilaç dağıtım sistemleri için kullanılmaktadır (Antunes vd., 2021).

2.2. Ekstraksiyon

Genel olarak ekstraksiyon, bir katı veya sıvıdan farklı bir solvent veya faza bileşik(ler)in transferini ifade etmektedir. Ekstraksiyon, istenen ürünlerin hammaddelerin içerisinde ayırmanın ilk adımıdır. Ekstraksiyon yöntemleri, özütleme ilkesine göre çözücü ile özütleme, damıtma yöntemi, presleme ve süblimleştirmeyi içerir. Solvent ekstraksiyonu ise be yöntemlerin içerisinde en yaygın kullanılanıdır (Abdulmutaleb Hammood vd., 2021; Radoiu vd., 2020). Ürünlerin ekstraksiyonu bazı aşamalardan geçmektedir. Bunları sırasıyla şöyle anlatabiliriz; (1) solventin katı matrise nüfuz etmesi; (2) çözünenin, çözücüler içinde çözünmesi; (3) çözünen katının matristen ayrılması; (4) ekstrakte edilen çözünenlerin toplaması. Yukarıdaki adımlarda yayılmayı ve çözünürlüğü artıran herhangi bir faktör, ekstraksiyonu etkileyecek yani kolaylaştıracaktır. Ekstraksiyon verimliliğini etkileyecek faktörler; ekstraksiyon solventinin özelliklerine, hammaddelerin partikül boyutuna, solvent-katı oranına, ekstraksiyon sıcaklığına ve ekstraksiyon süresine bağlıdır (Cacace ve Mazza, 2003; Flórez vd., 2015). Çözücü seçimi, çözücü ekstraksiyonu için en önemli basamaktır. Çözücü seçiminde; seçicilik, çözünürlük, maliyet ve güvenlik göz önünde bulundurulmalıdır. Benzerlik yasasına göre, (benzer benzeri çözer) çözünenin polaritesine yakın bir polarite değerine sahip solventlerin daha iyi performans göstermesi muhtemeldir ve bunun tersi de geçerlidir. Alkoller (Etanol ve Metanol), fitokimyasal araştırmalar için

çözücü ekstraksiyonunda evrensel çözücülerdir. Genel olarak, partikül boyutu ne kadar ince olursa, ekstraksiyon sonucu o kadar iyi olacaktır. Çözücülerin penetrasyonu ve çözünen maddelerin difüzyonunun artması nedeniyle küçük partikül boyutu ile ekstraksiyon verimliliği artacaktır. Bununla birlikte, çok ince parçacık boyutu, katı içinde çözünen maddenin aşırı absorpsiyonuna ve sonraki filtrasyonda işlemlerinde zorluğa neden olacaktır. Yüksek sıcaklıklar çözünürlüğü ve difüzyonu artırır. Ancak çok yüksek sıcaklıklar solventlerin kaybolmasına neden olarak istenmeyen safsızlıkların ekstraktlarda görülmesine ve ısıya dayanıklı bileşenlerin ayrışmasına neden olabilir. Belirli bir zaman aralığında ekstraksiyon süresinin artmasıyla ekstraksiyon verimi artar. Fakat katı maddenin içinde ve dışında çözünen madde dengesine ulaşıldıktan sonra zamanın artması ekstraksiyonu etkilemeyecektir. Çözücü-katı oranı ne kadar büyük olursa, ekstraksiyon verimi o kadar yüksek olur; bununla birlikte, çok yüksek bir çözücü-katı oranı, aşırı ekstraksiyon çözücüsüne neden olur ve tekrar konsantre ürün elde etmek için uzun bir zaman gerekir (Belkheiri vd., 2021).

Maserasyon, perkolasyon, dekoksiyon, soksalet ve geri akış ekstraksiyonu dahil olmak üzere geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinde genellikle organik solventler kullanılır ve büyük hacimde solventler ve uzun ekstraksiyon süresi gerektir (Alara vd., 2021; Zhang vd., 2018). Ultrason destekli ekstraksiyon, Darbeli elektrik alan ekstraksiyonu, Enzim destekli ekstraksiyon, Hidro damıtma ve buhar damıtma, Süper kritik sıvı ekstraksiyonu, basınçlı sıvı ekstraksiyonu ve mikrodalga destekli ekstraksiyon gibi bazı modern veya daha yeşil ekstraksiyon yöntemleri de doğal ürün ekstraksiyonunda uygulanmış ve bazı avantajlar sunmaktadır. Bunlar arasında, daha düşük organik solvent tüketimi, daha kısa ekstraksiyon süresi ve daha yüksek seçicilik gibi bazı avantajlar sunarlar (Płotka-Wasyłka vd., 2017; Zhang vd., 2018).

Modern ekstraksiyon yöntemlerini avantajlarının yanında, ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması, kullanılan sitemden elde edilecek ürünlere uygun olmaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

2.3. Ohmik ısıtma

Ohmik ısıtma işlemi, joule ısıtma, elektro-pure ısıtma gibi farklı isimlerle literatürde anılmaktadır. Günümüzde elektriksel ısıtma tekniklerinin başında gelmekte ve giderek ilgi artmaktadır. Ohmik ısıtma işlemi düşük frekans olan 50-60 Hz arasında uygulanması nedeniyle ürün içerisinde iyonize olamamaktadır. Bu nedenle ürün içerisinde herhangi bir

radyasyon kalıntısı bırakmamaktadır. Bunun yanı sıra ohmik ısıtma işlemi diğer teknolojilerde olduğu gibi (mikrodalga ısıtma, radyo frekans ısıtma, vurgulu elektriksel) elektromanyetik/elektriksel alan oluşturmaya gerek duyulmamaktadır. Ohmik ısıtma işleminde ürün elektrik devresini tamamladığı için penetrasyon problemi bulunmamaktadır. Çünkü akım özellikle sıvı ürün içerisinde homojen geçmekte ve ürünün her yeri eşit ısınmasına olanak tanımaktadır (Baysal vd., 2011; Filiz Icier, 2011; Sastry, 2008a).

Ohmik ısıtma işlemi basit şekilde iki elektrot arasında bulunan gıda maddesini elektrik devresinin direnci gibi davranmasını sağlamaktadır. Ohmik ısıtma işlemini tanımlamak gerekirse iki elektrot arasında bulunan üründen alternatif akım geçirilerek ürün içerisinde bir ısı jenerasyonu meydana getirerek ısınma prensibine dayanmaktadır. Ohmik ısıtma işleminde kullanılan gıdanın dokusu, nem içeriği, iyonik bileşenleri ve ürünün kompozisyonu bağlı olarak elektriksel iletkenliği ve oluşan ısı jenerasyonu miktarı değişmektedir. Ohmik ısıtma işleminin en önemli basamağı gıda maddesinin veya kullanılan ürünün elektrotla temas etmesidir. Elektrot arasında bulunan üründen akım geçerek aktarılan enerjinin bir kısmı, ürün tarafından absorplanırken bir kısmı da iletilmektedir. Absorplanan kısım elektrik enerjisine dönüşmektedir. Ohmik ısıtma işleminde akım ürün içerisinde homojen geçirilmesi sağlanırsa (sıvı gıdalarda homojen geçmektedir) ürünün her bölgesi homojen ısınmasını sağlamaktadır. Ohmik ısıtma işlemi pek çok araştırmacı tarafından homojen, verimli ve hızlı ısıtma olarak ifade edilmektedir (Cevik ve Icier, 2018; O.F. Cokgezme vd., 2017; Karakavuk vd., 2022; Sabancı ve Icier, 2020; S Sabancı ve Icier, 2017; Serdal Sabancı ve Icier, 2022; Yıldız vd., 2009). Ohmik ısıtma işleminde özellikle sıvı ürünlerde yüksek verimlilikte enerji dönüşümü meydana gelmekte ve %95'in üzerinde enerji verimliliğine sahip olup, 20°C'den 80°C'ye oldukça düşük saniyelerin altında ısıtma işlemi sağlanmaktadır (F. Icier ve Ilıcalı, 2005; Filiz Icier ve Ilıcalı, 2004). Ohmik ısıtma işlemi sayesinde gıda ürünlerinin yüksek sıcaklıklara oldukça kısa sürelerde ısıtılması sağlanmada ve ısıl işlem uygulanan gıda maddesinin az zarar görmesi sağlanarak duyuşal olarak yüksek kalitede ve güvenli gıda ürününün elde eldesi sağlanmaktadır (Kaur ve Singh, 2016b; Makroo vd., 2020; Sastry, 2008b; Sengun vd., 2014).

Ohmik ısıtma uygulaması meyve suları, süt ve yumurta gibi sıvı ısıtılması (pastörizasyonu ve sterilizasyonunda) alternatif elektriksel ısıtma yöntemi olarak değerlendirilmesinde uluslararası platformda FDA, USDA gibi önemli kurum/kuruluşlar tarafından uygun görülmüştür (Sabancı, S.,2017). Ancak ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile ilgili, yazarların bilgisi dahilinde, sınırlı sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir.

Uluslararası kuruluşlar ve Avrupa Topluluğu Gıda Güvenliği Ajansı (EFSA)'nın alt komiteleri, ohmik ısıtma gibi güncel elektriksel işleme yöntemleri (ohmik ısıtma) konusunda çalışmaların artmasını desteklemede, bu elektriksel ısıtma yöntemlerinin ticari üretimde kullanımlarına izin verilmesi amacıyla, bilimsel çalışmalardan elde edilecek verilerin önemli katkı sağlayacağını vurgulamaktadırlar (Sastry, 2008b). Ohmik ısıtma gıda endüstrisinde ısıtma (pastörizasyon, sterilizasyon), haşlama, çözündürme, evaporasyon, pişirme, destilasyon ve ekstraksiyon gibi pek çok alanlarda kullanılmaktadır (Bozkurt ve Icier, 2010a, 2010b, 2010d; Cabas ve Icier, 2021a; Chemat vd., 2017; Cilingir vd., 2021; Filiz Icier vd., 2010a; Marra vd., 2009; Sabancı vd., 2021; Saberian vd., 2018, 2017; Sengun vd., 2014).

Son yıllarda ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak yapılan ekstraksiyon çalışmalarına bakıldığında, çalışmaların renk maddeleri ve yağ bileşenlerinin ekstraksiyonu üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (Aamir ve Jittanit, 2017; Loypimai vd., 2015; Pereira vd., 2016; Pootao ve Kanjanapongkul, 2016). Rapor edilen çalışmalarda ohmik ısıtma işlemi kullanılarak uygulanan ekstraksiyon işleminin ekstraksiyon verimini arttırdığı ve elde edilen renk maddelerinin ve yağ bileşenlerinin kalite özelliklerini geleneksel yöntemlere göre daha az değiştiği rapor edilmiştir (Aamir ve Jittanit, 2017; Loypimai vd., 2015; Pootao ve Kanjanapongkul, 2016). Ancak ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak yapılan pektin ekstraksiyon işlemlerinde literatürde yazarların bilgisi dahilinde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Saberian vd., 2018, 2017). Yapılan mevcut çalışmalarda, farklı voltaj gradyanlarında, farklı ekstraksiyon sıcaklıklarında ve farklı işlem sürelerinde uygulanan ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile ekstraksiyon veriminin arttığı ve yüksek kalite özelliklerine sahip pektin elde edilebildiğini bildirmişlerdir.

2.4. Ohmik Ekstraksiyon

Ohmik ısıtma işlemi gıda endüstrisinde ekstraksiyon amacıyla yaygın bir şekilde kullanılabilen alternatif teknolojiler arasında yer almaktadır. Özellikle ekstraksiyon işlemi öncesinde ön işlem olarak uygulanması ile ekstraksiyon verimliliğini olumlu yönde arttırdığı birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Aamir ve Jittanit, 2017; Lakkakula vd., 2004).

Aamir ve Jittanit (2017), yılında yaptıkları çalışmada gac meyvesi çekirdeklerinden iki farklı voltaj gradyanında (5.6 ve 11.2 V/cm) ohmik ısıtma uygulayarak elde ettikleri yağ örneklerinin ekstraksiyon verimliliklerini geleneksel ekstraksiyon yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar geleneksel ekstraksiyon yöntemine kıyasla ohmik ısıtma işlemi uygulanmış örneklerde yağ veriminin çok daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Güncel başka bir çalışmada ise, Cabas & Icier, (2021b), pancar örneklerinden 40°C sabit ekstraksiyon sıcaklığında 3 farklı frekans değerinde (25, 100 ve 400 Hz), 3 farklı voltaj gradyanında (11, 17 ve 23 V/cm), ve 3 farklı ekstraksiyon ortamında ekstraksiyon işlemine tabii tutmuşlar ve optimizasyon prosedürünü uygulanmışlardır. Araştırmacılar, optimizasyon prosedürü sonucunda optimum ekstraksiyon koşulunun sulu etanol ekstraksiyon ortamında 17 V/cm voltaj gradyanında ve 400 Hz frekans değerinde olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar farklı voltaj gradyanı, frekans ve ekstraksiyon ortamının etkileşimlerinin etkili olduğu bildirmişlerdir.

Coelho vd., (2019) yılında domates kabukları ve tohumlarından ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile bioaktif bileşenlerin ekstraksiyonunu incelemişlerdir. Araştırmacılar 3 farklı voltaj gradyanında (4, 6 ve 11 V/cm), 3 farklı ekstraksiyon sıcaklığı (40, 55 ve 70°C) ve 3 farklı bekleme süresinde (0, 15 ve 30 dakika) ekstraksiyon işlemine tabii tutmuşlar ve bioaktif bileşenlerin ekstraksiyon verimliliklerini kontrol örnekleri ile kıyaslanmışlardır. Araştırmacılar, ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işleminin kontrol örneklerine kıyasla %58 daha yüksek geri kazanım oranıyla polifenollerin elde edilebildiğini bildirmişlerdir.

Portakal kabuğu tozu örnekleri pH değeri HCl (pH:2) ile ayarlanmış çözelti içerisinde ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemine tabii tutulmuştur. Ekstraksiyon işlemi 3 farklı voltaj gradyanı, 3 farklı ekstraksiyon sıcaklığı ve 3 farklı bekleme süresinde gerçekleştirilmiş ve pektin örneklerinin ED değerinin %74.6 ile %89.4 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Saberian vd., 2017).

Başka bir çalışmada ise, portakal kabuğu tozu örnekleri sabit katı sıvı oranı kullanılarak (1:30 katı:sıvı oranı) farklı voltaj gradyanı (5, 10, 15, 20, 25, ve 30 V/cm) ve pH (1.5, 2, 2.5 ve 4) değerlerinde ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemine tabii tutulmuş ve ekstraksiyon işlemi sonunda örneklerin ED değerinin %72.80 ile %89.60 arasında değiştiği belirlenmiştir (Saberian vd., 2018).

Diğer bir çalışmada ise, nar posası tozundan 1.5-3 pH değeri arasında farklı asitler (sitrik asit, asetik asit, hidroklorik asit ve nitrik asit) ve farklı katı sıvı oranlarını (1:10, 1:20, 1:30, 1:40 ve 1:50 katı:sıvı oranı) kullanılarak ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi pektin üretimi incelenmiş, pektin örneklerinin galaktronik asit değerleri üzerine kullanılan asit türü, pH değeri, katı:sıvı oranının etkisi olduğu araştırmacılar tarafından rapor etmişlerdir. Ek olarak, araştırmacılar farklı voltaj gradyanı ve farklı ekstraksiyon süresinin

de galaktronik asit üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa sahip olduğunu rapor etmişlerdir (Sharifi vd., 2022).

2.5. Ohmik Isıtma Destekli Ekstraksiyon İşlemi İle Pektin Üretimi

Ohmik ısıtma işlemi yukarıda da bahsedildiği gibi hızlı ve homojen ısıtma sağlaması ve yüksek enerji verimliliği nedeniyle alternatif ısı uygulamaların başında gelmektedir. Bu nedenle ohmik ısıtma işlemi ile ekstraksiyon işlemlerinde kullanılmaktadır. Yazarların bilgisi dahilinde ohmik ısıtma işlemi kullanılarak pektin üretim çalışmalarının sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Bu bölümde ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi kullanılarak pektin üretim çalışmaları detaylandırılacaktır.

Saberian vd., (2017) ohmik ısıtma işlemi kullanarak portakal kabuğu tozundan farklı üretim koşullarında pektin üretimini optimize etmişlerdir. Optimizasyon amacıyla HCl ile ayarlanmış pH 2 çözelti, 1:20 katı:sıvı oranı, farklı voltaj gradyanı (7–15 V/cm), farklı sıcaklık (50–90 °C) ve zaman (5–30 dakika) değişken olarak dikkate alınırken cevap olarak %verim, galakturonik asit ve esterleşme derecesi dikkate alınmıştır. Optimizasyon prosedürü sonucunda verim değerinin %4.91-14.3 arasında, galakturonik asit değerinin 66.74-79.58 ve ED değerinin ise 74.55-89.44 arasında değiştiği rapor edilmiştir. Portakal kabuğu tozundan pektin üretimi için sıcaklık değerinin önemli bir faktör olduğu, optimum koşul önerisi 15 V/cm voltaj gradyanı, 90 C° sıcaklık ve 30 dakika olduğu rapor edilmiştir. Optimum koşulda en yüksek verim %14.32 elde edilirken geleneksel yöntemle elde edilen verim ise 13.53 g/100 g belirlenmiştir. Optimal koşullar altında ekstrakte edilen pektinin emülsifiye edici aktivitesi, geleneksel ısıtma ile ekstrakte edilen pektinden elde edilenlere benzer olduğu ve ayrıca emülsiyonlar, 30 günlük depolamadan sonra %91.88 ile %94.87 arasında stabil kaldığı rapor edilmiştir. %0.5 katı:sıvı konsantrasyonda optimal pektin solüsyonlarının akış davranışı Newtonian iken, daha yüksek konsantrasyonda %2 katı:sıvı psödoplastik akış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ekstrakte edilen pektinlerin tümü yüksek derecede esterleşmeye sahip olduğu ve saflık anlamında geleneksel ekstraksiyon yöntemine benzer pektin elde edildiği vurgulanmıştır.

Portakal kabuğu tozu örneklerinden farklı voltaj gradyanı (5, 10, 15, 20, 25 ve 30 V/cm), farklı pH (1.5, 2, 2.5 ve 4; HCl ile ayarlanmış) ve farklı katı:sıvı oranı (1:10, 1:20, 1:30 ve 1:40 g/ml) kullanılarak ohmik ısıtma işlemi kullanılarak pektin üretimi yapılmıştır. Elde edilen pektin örneklerin ısıtma hızı, pektin verimi, esterleşme derecesi, galakturonik asit ve spesifik performans katsayısı (SPK) değerleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara

göre voltaj gradyanının artmasıyla (5'ten 30 V/cm'ye) ısıtma hızının arttığını ve pH'ın azalmasıyla (4'ten 1.5'e) ısıtma hızının azaldığını belirtilmiştir. Voltaj gradyanının artması ve pH ve S/L oranının düşmesi ile SPK arttığı ve en yüksek SPK %84,4 bulunmuştur. Çözeltilerin pH değeri 4'ten 1.5'e düşerken pektin verimi 1.17'den 10.69 g/100 g'a keskin bir şekilde artış ve en yüksek SPK ve iyi kalitede pektin verimi (yüksek metoksilli ve galakturonik asit içerikli), 30 V/cm voltaj gradyanında, 1.5 pH'da ve 1:20 g/ml katı:sıvı oranında elde edilmiştir (Saberian vd., 2018).

Domates atığı tozu kullanılarak farklı üretim yöntemleri (ultrases destekli ekstraksiyon, mikrodalga ekstraksiyon, ohmik ekstraksiyon, ultrases destekli ohmik ısıtma ekstraksiyon, ultrases destekli mikrodalga ekstraksiyon) kullanılarak pektin üretimi incelenmiştir. Tüm ekstraksiyon koşulları için HCl ile ayarlanmış pH 1.5 ve 1:50 katı:sıvı oranı kullanılmıştır. Ultrases destekli ekstraksiyon işlemi 60 °C sabit sıcaklıkta (2-16 dakika, 30 s açık, 30 kapalı) uygulanmıştır. Mikrodalga ekstraksiyon işlemi 540- 900 W güç değerinde 0.667- 5.334 dakika uygulanırken, ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ise 40 V-60 V arasında 1-8 dakika arasında uygulanmıştır. Ultrases destekli mikrodalga ekstraksiyon işleminde önce ultrases işlemi 450-750W, 2-16 dk'lık süreler için %50 titreşimli (30s AÇIK: 30s KAPALI) uygulanmış ve takiben 540W güç seviyesinde 4 dakika mikrodalga ekstraksiyonuna tabi tutulmuştur. Ultrases destekli ohmik ısıtma ekstraksiyon işlemi ise mikrodalga ısıtma işleminde olduğu gibi ultrases işlemi uygulanmış ve sonrasında 60 V ve 5 dakika uygulanmıştır. Domates atığı posası tozu için farklı ekstraksiyon yöntemleri için pektin verimi ultrases destekli ekstraksiyon işlemi için %11,75-%15.21 arasında, mikrodalga destekli ekstraksiyon işlemi için %20.83-%25.42 arasında, ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi için %9.30-%10.65 arasında, ultrases destekli ohmik mikrodalga ekstraksiyon işlemi için %15.35-18.00 arasında ve ultrases destekli ohmik ısıtma ekstraksiyon işlemi için ise %11.50-%14.60 arasında değiştiği rapor edilmiştir. Domates atığı tozunun farklı yöntemler ile ekstraksiyonu sonucunda pektin üretimi için düşük enerjili ultrases ve ardından mikrodalga ekstraksiyonu, nitelik ve nicelik açısından daha iyi sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Sengar vd., 2020).

Nar kabuğu tozunda ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon (hidroklorik asit ile ayarlanmış pH 1:5, 1:40 katı:sıvı oranı) işlemi kullanılarak pektin üretimi incelenmiş ve farklı ısıtma süresi ve farklı voltaj gradyanları kullanılarak optimize edilmiş ve optimum koşul öngörülleri ile geleneksel ekstraksiyon işlemini karşılaştırmışlardır. Optimizasyon prosedüründe bağımsız değişken olarak voltaj gradyanı (8-15 V/cm) ve ekstraksiyon

bekleme süresi (8-27 dak) dikkate alınmış ve bağımlı değişken olarak ise pektin verimi ve galakturonik asit miktarı dikkate alınmıştır. Pektin veriminin %4.2-%8.1 arasında ve galakturonik asit değerinin ise %58.1-86.6 arasında değiştiği, optimum koşul önerisinin ise HCl ile ayarlanmış pH 1.5, 1:40 katı sıvı oranında 10 V/cm voltaj gradyanı ve 18 dakika olarak belirlenmiştir. Optimum koşul önerisinde pektin verimi %8.16, galakturonik asit içeriği %82.86 ve esterleşme derecesi %70.78 olarak belirlenmiş ve elde edilen kalite kriterleri geleneksel ekstraksiyon işlemine benzer olduğu rapor edilmiştir. Ohmik ısıtma yönteminin elektroporasyon etkisinden dolayı büyük partikül boyutlarında bile yüksek verimle pektin üretildiği ve optimal koşullar altında ekstrakte edilen pektinin emülsifiye edici aktivitesi çok yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılar yenilikçi bir yöntem olarak daha yüksek voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma işlemi ile ekstraksiyon uygulanabileceğini vurgulamışlardır (Sharifi vd., 2022).

Ohmik ısıtma destekli hidrodistilasyon işleminde yan ürün olarak limon kabuğundan pektin ekstrakte edilmiştir. Yüksek değerde pektin ve uçucu yağ verimini elde etmek için katı:sıvı oranı, ekstraksiyon/hidrodistilasyon süresi (dakika) ve voltaj gradyanı (V/cm) olmak üzere üç bağımsız değişken belirlenmiştir. Optimum koşul öngörüsü olarak ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işleminde 1:8:7 katı:sıvı oranı, 58.4 dakika ekstraksiyon/hidrodistilasyon süresi ve uygun voltaj gradyanı olarak 14.2 V/cm voltaj gradyanının belirlendiği rapor edilmiştir. Optimum koşullarda tahmin edilen pektin verimi %16.58 olduğu rapor edilmiştir (Geleneksel %14.47). Fizikokimyasal değerlendirmede galakturonik asit değerinin ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işleminde %69.38 elde edilirken, geleneksel yöntem de %65.72 olduğu ayrıca esterleşme derecesi ohmik ve geleneksel ekstraksiyon işlemlerinde sırasıyla %57.55 ve %59.45 olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca optimum koşul öngörüsünde FTIR özellikleri bakımında geleneksel ile benzer eğilimde olduğu ancak DSC verilerinde ise ohmik ısıtma ile elde edilen pektinin 140 °C erime gerçekleşirken, geleneksel yöntem ile elde edilen pektinin erime sıcaklığının 145 °C olduğu belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılar verimli ve ekonomik bir yöntem olduğunu, sonuçta ortaya çıkan gıda bileşeni olarak kullanılabileceği ve geleneksel ısıtma yöntemiyle karşılaştırıldığında pektin verimini önemli ölçüde arttırdığını vurgulamışlardır (Tunç ve Odabaş, 2021).

3. MATERYAL YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan limon kabuğu tozu örnekleri yerel bir marketten (Buca, İzmir) temin edilmiştir. Temin edilen limon meyveleri öncelikle yıkama işlemine tabi tutulmuş ve daha sonra örnekler üzerinde kalan fazla su kaba filtre kâğıdı ile uzaklaştırılmıştır. Kurulanan örneklerin kabukları meyve kısımlarından uzaklaştırılmıştır. Elde edilen limon kabukları kurutulması sırasında ve öğütülmesi sırasında kolaylık olması amacıyla küçük dilimler haline getirilmiştir. Elde edilen limon kabukları, toz örnekler elde edilebilmesi amacıyla bir dizi işlem uygulanmıştır. Bu işlemler sırasıyla kurutma, öğütme ve elekten geçirme işlemleridir. Bu işlemler detaylı bir şekilde aşağıda verilmiştir.

Kurutma işlemi: Dilimler haline getirilen limon kabuklarının kurutulması amacıyla Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünün alt yapısında bulunan hava üflemleri döner tepsili kurutucu (TK Lab Model, Eksis Makine, Türkiye) kullanılmıştır. Endüstriyel atık kabuklarının kurutulması amacıyla $55\pm1^{\circ}\text{C}$ ortam sıcaklığı ve 1 ± 0.05 m/s hava hızına sahip kurutma ortamı kullanılmıştır. Yaklaşık olarak 5 kg endüstriyel atık kabukları tepsili kurutucuya ait 10 adet tepsi içerisine yerleştirilerek kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Örneklerin son nem içeriklerinin %10'un altına düşene kadar kurutma işlemine tabii tutulmuştur.

Öğütme işlemi: Kurutulan limon kabuklarının öğütülmesi amacıyla Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde bulunan çekiçli değirmen (Armfield, İngiltere) kullanılmıştır. Elde edilen toz örnekler serin bir ortamda soğuması amacıyla muhafaza edilmiştir.

Elekten geçirme işlemi: Öğütülen örnekler alüminyum kaplı polietilen ambalaj yardımıyla projenin yürütüldüğü Munzur Üniversitesi Gıda Mühendisliği ABD laboratuvarına ulaştırılmıştır. Endüstriyel atık kabuk tozları 500 mikron sahip elek yardımı (Armfield, İngiltere) ile eleme işlemine tabii tutulmuş ve 500 mikron boyutundan daha küçük boyuta sahip örnekler pektin üretiminde kullanılmak için ayrılmıştır.

Saklama ve Muhafaza Etme: Limon kabukları tozu 30 g'lık örnekler halinde vakumlanabilir poşetler yardımıyla vakum makinesi (Lipovak, Türkiye) yardımıyla vakumlanmıştır. Vakumlanan poşetli örneklerin ışıktan muhafaza edilmesi amacıyla da alüminyum kaplı polietilen folyolar ile kaplanmış ve ısıtıcı yardımı ile kapatılmıştır. Elde

edilen limon kabuk tozları ekstraksiyon işleminde kullanılıncaya kadar serin bir ortamda depolama işlemine tabii tutulmuştur.

3.2 Ekstraksiyon yöntemleri

Limon kabuklarının elde edilen toz örnekleri ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon (OIDE) ve geleneksel ekstraksiyon yöntemine maruz bırakılmıştır. Aşağıda 2 farklı yöntem detaylandırılmıştır.

3.2.1. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi

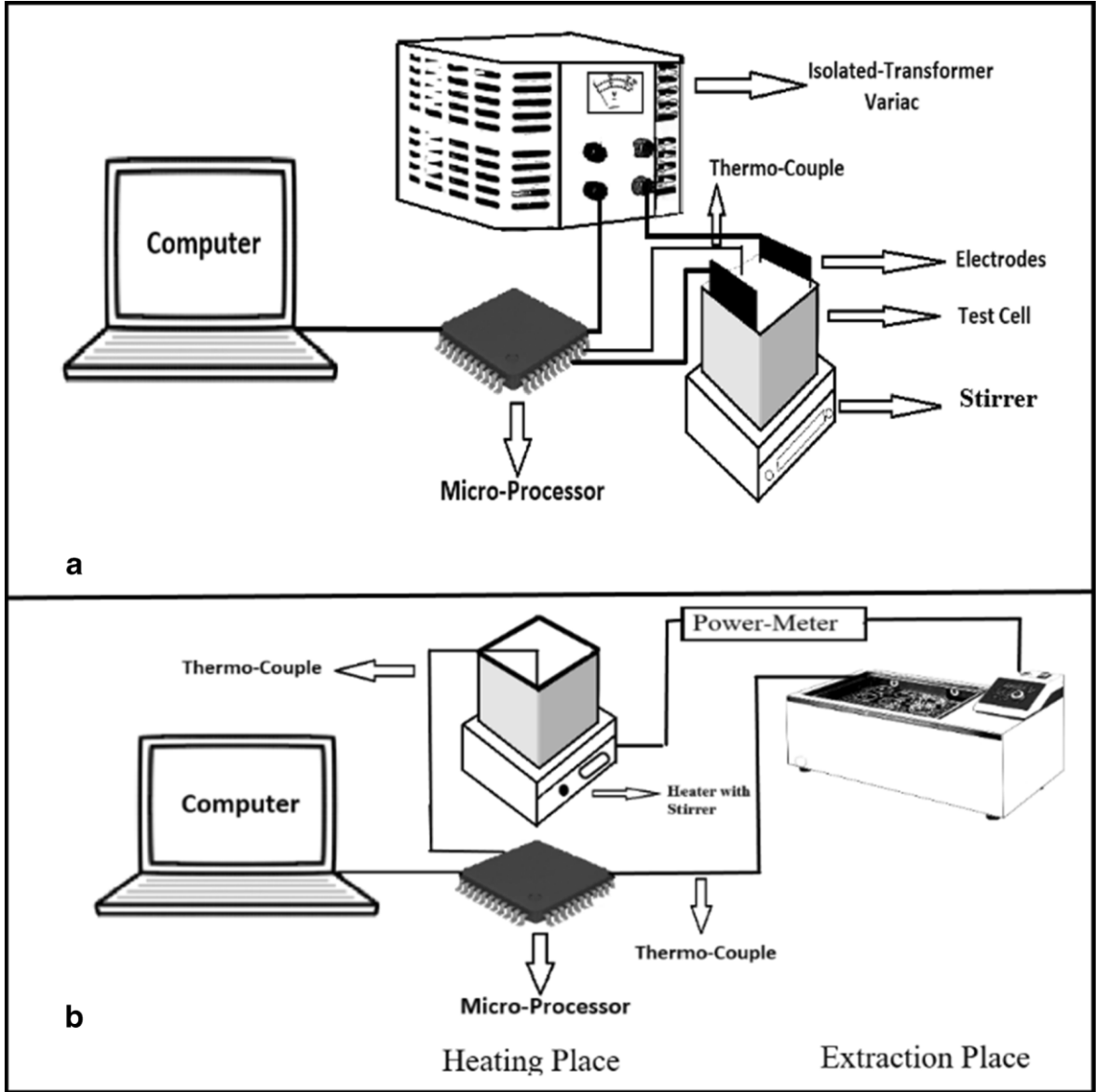
Ekstraksiyon işleminde kullanılacak olan ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.1.

1 'de verilmiştir. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi için 0-360 V çalışma aralığına sahip hassas ayarlanabilir varyak sistemi kullanılmıştır. Ohmik ısıtma işleminin uygulanacağı ohmik ısıtma haznesi 7 cm uzunluğunda, 8 cm yüksekliğinde ve 6 cm genişliğinde dörtgen kesitli olarak ayarlanmıştır. Ekstraksiyon işlemi sırasında eş zamanlı olarak sıcaklık, voltaj ve akım değerlerini kayıt altına alan özel tasarım kapalı çevrim mikroişlemci kullanılmıştır. Ekstraksiyon işlemi boyunca temaslı sıcaklık geçmişi izole edilmiş T tipi ısı eşler kullanılarak alınmıştır.

Ekstraksiyon işleminde ohmik ısıtma işlemi, sabit voltaj gradyanında (18 V/cm), 3 farklı sıcaklık (70, 80 ve 90 °C) ve sitrik asit ile ayarlanmış pH (pH=2) değerinde gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işleminde, endüstriyel atık limon kabuğu toz örnekleri 1:30, 1:40 ve 1:50 g/ml 3 farklı katı:sıvı oranında karıştırılmış ve farklı bekletme sürelerinde (0, 15, 30 dakika) ekstraksiyon işlemine tabii tutulmuştur. Yapılan ön denemeler sonucunda örnek içerisine topaklanmalar olduğu tespit edilmiş ve manyetik karıştırıcı yardımıyla 150 rpm'de karışma işlemine tabi tutulmuştur.

3.2.2 Geleneksel ekstraksiyon işlemleri

Geleneksel yöntem limon kabuklarının ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi için belirlenen seyreltme oranı ve bekletme süresi baz alınmış ancak ısıtma kaynağı elektrikli ısıtıcı dikkate alınarak yapılmıştır. Çözeltiliyi ısıtma için 80°C'ye kadar elektrikli ısı kaynağı kullanılmış ve daha sonra 80°C'ye sahip su banyosu (WiseBath, WSB-30, Kore) içerisinde her bir endüstriyel atık için ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon (OIDE) (a) ve geleneksel pektin üretimi (TPP) prosesinin (b) şematik gösterimi

3.4. Sıcaklık Dağılımı

Ekstraksiyon işlemi sırasında, farklı yüzeylerin (yan yüzey, kapak ve elektrot) sıcaklıkları termal kamera (Testo 880-3, Germany) ile ölçülmüş, cihaza ait görüntü işleme paket programı kullanılarak işlenmiş ve muhtemel sıcaklık dağılımları tespit edilmiştir. Farklı endüstriyel atık kabukları kullanılarak gerçekleştirilen tüm ekstraksiyon koşullarında elde edilen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Ölçümlerin alınabilmesi için gerekli olan termal kamera proje kapsamında alınmıştır.

Ekstraksiyon işlemleri sırasında, örnekteki sıcaklık dağılımları teflon kaplı izole T-tipi ısıleşler (ColeParmer, İngiltere) kullanılarak ölçülmüş, sisteme bağlı özel tasarım kapalı çevrim mikroişlemci yardımıyla 1 s aralıklarla kaydedilmiştir. Özel tasarım kapalı çevrim mikroişlemci kurulumu proje kapsamında başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.5. Elektriksel İletkenlik Değişimi

Sisteme bağlı kapalı çevrim mikroişlemci sistemi yardımıyla 1 s aralıkla örneklerin merkezinde sıcaklık değerleri, sistemden geçen akım, uygulanan voltaj değerleri kaydedilmiştir. Hesaplamalar sırasında bazı varsayımlar dikkate alınmıştır.

Varsayımlar;

- Elektriksel ölçüm sırasında alınan sıcaklıkların tüm noktada eşit kabul edildiği
- Elektriksel işlem sırasında ısınmadan dolayı uzaklaşan buharın yüksekliği etkilemediği
- Ekstraksiyon işlemi sırasında karşının elektriksel iletkenliği etkilemediği
- Ekstraksiyon işlemi sırasında kullanılan katı:sıvı oranının elektriksel iletkenliği etkilemediği (Kullanılan örneklerin boyutlarının son derece düşük olması ve sayısının belirlenmesinin yapılamamasından dolayı)

Yukarıdaki varsayımlar dikkate alınarak ve alınan verilerin yardımıyla örneklerin farklı sıcaklıklardaki efektif elektriksel iletkenlik değerleri (S/m) Eşitlik (1) ile hesaplanmıştır (İcier, 2003).

$$\sigma = \frac{I}{V} \times \frac{L}{A} \quad \text{Eş.1}$$

Burada, I akım (Amper), V voltaj (Volt), L iki elektrot arasındaki uzunluk (m), A ise elektrot yüzey alanı (m²) ifade etmektedir.

3.6. Güç Ölçümleri

Ekstraksiyon işlemindeki farklı işlem koşullarının uygulanması sırasında gerekli olan enerji miktarı (Qv), özel tasarım kapalı çevrim mikroişlemci yardımıyla alınan akım ve voltaj değerleri kullanılarak tespit edilmiştir. Harcanan toplam güç, işlem süresince kaydedilen voltaj (V, volt) ve akım (I, amper) değerleri kullanılarak Eşitlik 2 yardımı ile Joule cinsinden tespit edilmiştir.

$$Q_v = \sum VIt$$

Eş.2

Burada, V voltaj (volt) ve I akım (amper) ve t ise süreyi (s) ifade etmektedir. Sistemden elde edilen ortalama güç değeri ise Eşitlik 3 yardımıyla W cinsinden tespit edilmiştir.

$$P = \frac{\Delta Q_v}{\Delta t}$$

Eş.3

Burada, ΔQ_v toplam harcanan enerji miktarını (J) ve Δt ise toplam işlem süresini (s) ifade etmektedir.

3.7. pH Ölçümü

Pektin ekstraksiyon işleminde pH (pH=2) değerinin ayarlanması amacıyla sitrik asit ($C_6H_8O_7$) kullanılmıştır. pH ayarlaması analitik olarak hesaplanmış ve elde edilen çözeltilerin pH değerleri pH metre yardımıyla teyit edilmiştir.

3.8. Pektin Verimi

Ekstraksiyon işleminden sonra örnekler hızla buzlu su içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve prosedür olarak Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Pektin eldesi amacıyla ekstraksiyon işleminde devam eden işlem basamakları

Soğutulan örnekler daha sonra 6000 rpm çalışan soğutmalı santrifüj (Centurion Scientific, K241R, İngiltere) yardımı ile 15 dakika boyunca santrifüj işlemine tabii tutulmuştur. Elde edilecek supernatant 500 ml kaba alınmış ve üzerine 120 ml %96 (v/v) etanol eklenerek +4°C'de 2,5 saat bekletilmiştir. Daha sonra çöktürülmüş pektin çözeltide kalan kirliliklerin uzaklaştırılması için 1 kez %70 etanol %0,5 HCl yardımıyla yıkanmış ve sonra 60 ml %96 etanol ile iki kez daha yıkama işlemine tabii tutulmuştur. Daha sonra elde edilen pektin 50°C'de kurutma ortamı sıcaklığına sahip etüv (Nüve, Türkiye) içerisine konularak sabit tartım ağırlığına gelinceye kadar en az 24 saat kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında kalan ürünün ağırlığı hassas terazi yardımıyla ölçülmüş ve pektin verimi Eşitlik 4 kullanılarak 100 g/100 g kuru madde cinsinden hesaplanmıştır.

$$\text{Pektin verimi } (\%) = \frac{\text{Pektin ağırlığı}}{\text{Örnek ağırlığı}} \times 100$$

Eş.4

3.9. Pektinde Eküvalent Ağırlığının Belirlenmesi

0,5 g pektin 5 ml etanol ile ıslatılmış ve üzerine 1 g sodyum klorür, 100 ml destile su ve birkaç damla fenol kırmızısı eklenmiştir. Elde edilen çözelti 0.1 N sodyum hidroksit ile pembe renk elde edilinceye kadar titre edilmiştir (Aina vd., 2012). Eküvalent ağırlığındaki değişim Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$EA = \frac{\text{Örnek ağırlığı (g)} \times 1000}{\text{NaOH sarfiyat (ml)} \times \text{Normalite NaOH}} \times 100 \quad \text{Eş.5}$$

3.10. Pektinin Metoksil İçeriğinin Belirlenmesi

0,5 g pektin 5 ml etanol ile ıslatılmış ve üzerine 1 g sodyum klorür, 100 ml destile su ve birkaç damla fenol kırmızısı eklenmiştir. Elde edilen çözeltiye 0.25 N NaOH çözeltisinden 25 ml eklenmiş ve çalkalama işleminden sonra, oda sıcaklığında 30 dakika bekletilmiştir. Daha sonra 25 ml 0.25 N HCl çözeltisi bir daha eklenmiş ve 0.1 N NaOH çözeltisi ile dönüm noktasına gelene dek titre edilmiştir (Aina vd., 2012). Metoksil değerindeki değişim Eşitlik 6 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Metoksil içeriği (\%)} = \frac{\text{NaOH sarfiyat (ml)} \times \text{Normalite NaOH} \times 31 \times 100}{\text{örnek ağırlığı (mg)}} \times 100 \quad \text{Eş. 6}$$

3.11. Pektinde anhidronik asit analizi

Pektin örneklerinin anhidronik asit içeriği eküvalent ağırlık ve metoksil içeriği değerleri kullanılarak Eşitlik 7 yardımıyla hesaplanmıştır (Azad vd., 2014).

$$\text{AUA (\%)} = \frac{(176 \times 0.1Z \times 100) / (W \times 1000)}{(W \times 1000) + (176 \times 0.1y \times 100) / (W \times 1000)} \times 100 \quad \text{Eş. 7}$$

Z= eküvalent ağırlıkta kullanılan NaOH sarfiyat (ml)

Y= metoksil içeriği belirlemede kullanılan NaOH sarfiyat (ml)

W=örnek ağırlığı (g)

3.12. Pektinde Esterleşme Derecesinin Belirlenmesi

Pektinin esterleşme derecesi (Güzel ve Akpınar, 2019) belirtilen yöntem göre yapılmıştır. Pektin esterleşme derecesi içeriği, yaklaşık 0,3 gramı arasında örnek etanol (5 mL) ile ısıtılmış ve su (100 mL) ilave edilmiştir. Elde edilen karışım 0.1 M NaOH'ye karşı titre edilmiştir. Titrasyonun harcanan hacmi V1 olarak kaydedilmiştir. NaOH (0.5 M, 20 mL) ve HCl (0.5 M, 20 mL) solüsyona eklenmiş ve karışım 0.1 M NaOH'ye karşı titre edilmiştir. Titrasyonun harcanan hacmi V2 olarak kaydedilmiştir. Elde edilen sarfiyatlar dikkate alınarak esterleşme derecesi hesaplanmış (Eşitlik 8) ve % olarak ifade edilmiştir.

$$ED \% (w/w) = \left[\frac{V_2}{V_1 + V_2} \right] \times 100 \quad \text{Eş.8}$$

3.13. Performans Değerlerinin İncelenmesi

OIDE işlemi ve geleneksel yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi sırasında pektin üretiminin performans değerlendirilmesi Termodinamiğin 1. ve 2. yasası dikkate alınarak tespit edilmiştir. Performans değerlendirilmesinde, katı:sıvı çözeltinin enerji değeri katı (limon kabuğu tozu) ve sıvı (pH 2 sitrik asit çözeltisi) dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca geleneksel yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi sırasında performans değerlendirilmesi için bazı varsayımlar dikkate alınmıştır.

Varsayımlar;

- Geleneksel yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi sırasında kimyasal veya nükleer reaksiyon içermeyen tekdüze bir akış olduğu varsayılmıştır,
- Gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi sırasında Referans ölü hal sıcaklığı (Death State) koşulları $T_0 = 15^\circ\text{C}$, $P = 101.325 \text{ kPa}$ olduğu varsayılmıştır. Ölü sıcaklık adından anlaşılacağı üzere sistemin dengede olduğu sıcaklığı en iyi şekilde ifade etmek için belirlenmiş sıcaklıktır. Burada 15°C sıcaklığın seçilmesinin temel nedeni işlem sırasında kullanılan çözeltilerin $+4^\circ\text{C}$ 'lik ortamda muhafaza edilmesi ve ODE işlemine başlamadan önce sıcaklığın 10°C civarında olması nedeniyle işlem sırasında ölü hal sıcaklığının 20°C 'nin altı 10°C 'nin üstü olması istenmiştir. Bu nedenle ölü hal sıcaklık değeri 15°C seçilmiştir,

- Geleneksel yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi sırasında meydana gelen buharlaşmada sızdırmaz kapak kullanıldığı için kayıp miktar dikkate alınmamıştır.

3.13.1. Enerji analizleri

Pektin üretiminde ekstraksiyon işlemi sırasında genel enerji denkliği Eşitlik 9 dikkate alınarak hesaplanmıştır.

$$E_{in} = E_{out} + E_{kayıp} \quad \text{Eş.9}$$

Enerji analizi yapılırken 2 farklı yöntem (OIDE VE geleneksel) için ayrı ayrı değerlendirmeler yapılmıştır. Giren enerji miktarının tespit edilmesinde Eşitlik 10 kullanılmıştır. Eşitlik 10'de verilen Q_i kullanılan ısı kaynağına göre değişmektedir. OIDE işlemini 80°C'ye kadar ısıtma ve sabit sıcaklık değerinde tutmak için gerekli olan elektrik enerjisi Eşitlik 11 ile tespit edilmiştir. Geleneksel yöntemin harcamış olduğu toplam enerji değerlerini belirlemek için ise elektrikli güç ölçer kullanılmıştır (Awox, Lotus, Türkiye). Sistemden çıkan enerjinin belirlenmesinde ise Eşitlik 12 kullanılmıştır.

$$E_{in} = Q_i + Q_{K,in} + Q_{S,in} + Q_{Ek,in} + W_{karıştırıcı} \quad \text{Eş.10}$$

$$Q_{ohmik} = \sum[V \times I \times t] \quad \text{Eş.11}$$

$$E_{out} = Q_{K,out} + Q_{S,out} + Q_{Ek,out} \quad \text{Eş.12}$$

Burada V, I ve t simgeleri sırasıyla voltaj (V), akım (A) ve süreyi (s) ifade etmektedir. Alt indisler ise out, K, in ve S sırasıyla çıkan, katı ürün, sıvı çözeltiyi ifade etmektedir. Ayrıca i kullanılan ekstraksiyon yöntemine göre ısı kaynağını ifade etmektedir.

İşlem sırasında giren enerji ve çıkan enerji değerlerinin hesaplanması için kullanılan genel denklemler katı ürün, ve sıvı çözelti için Eşitlik 13 ile tespit edilmiştir. Katı örnek ve sıvı çözeltinin sıcaklık değerleri T-tipi ısı eş ile belirlenmiştir. Burada sıvı ve katı örneklerinin ısı kapasitesi Choi ve Okos denklemleri ve DSC kullanılarak tespit edilmiştir (Choi ve Okos, 1986).

$$Q_i = m_i \times Cp_i \times (T - T_0) \quad \text{Eş.13}$$

Burada alt "i" alt indisi uygulanan ürün için katı ürün ve sıvı çözeltiyi temsil ederken, "0" indisi ise ölü hal sıcaklığı (death state) olarak gösterilmiştir.

Sistemin enerji verimliliği değerini belirlemek amacıyla Eşitlik 14 kullanılmıştır. Eşitlik 14 sistemden çıkan toplam enerji değeri ve sisteme giren toplam enerji değerleri dikkate alınarak tespit edilmiştir.

$$\eta (\%) = \frac{E_{out}}{E_{in}} * 100 \quad \text{Eş.14}$$

OIDE işlemi ve geleneksel yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi sırasında meydana gelen Spesifik Pektin Üretim Katsayısının (SPÜK) belirlenmesinde ise Eşitlik 15 kullanılmıştır.

$$SPÜK \left(\frac{mg}{kj} \right) = \frac{m_{pektin}}{Q_i + W_{Karıştırıcı}} \quad \text{Eş.15}$$

Burada i alt indisi kullanılan enerji kaynağını (ohmik, su banyosu, elektrikli ısıtıcı) ifade etmektedir.

3.13.2. Ekserji analizi

Ekserji, enerjiden farklı olarak, tersinmez ve atıklarla orantılı bir şekilde sistemdeki entropi üretimini incelemektedir. Ekserji analizi ile sistemdeki tersinmezlikler belirlenebilmekte, enerji kayıpları minimize edilebilmekte ve kullanılmadan atılan enerjinin değerlendirilmesi sağlanabilmektedir (Çengel vd., 2008). Buna göre genel ekserji denklemi Eşitlik16 yardımıyla dikkate alınmıştır. OIDE ve geleneksel yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminde sisteme giren ve çıkan ekserji değerleri ise Eşitlik 17-18 ile verilmiştir. Eşitlik 17’de verilen Qi kullanılan ısı kaynağına göre değişmektedir.

$$\sum Ex_{in} = \sum Ex_{out} + \sum Ex_{yokolan} \quad \text{Eş.16}$$

$$\sum Ex_{in} = m_{K,in} [h_{K,in} - T_0 \times s_{K,in}] + m_{S,in} [h_{S,in} - T_0 \times s_{K,in}] + m_{Ek,in} [h_{Ek,in} - T_0 \times s_{Ek,in}] + \left(1 - \frac{T_0}{T_{in}} \right) \times Q_i + W_{karıştırıcı} \quad \text{Eş.17}$$

$$\sum Ex_{out} = m_{K,out} [h_{K,out} - T_0 \times s_{K,in}] + m_{S,out} [h_{S,out} - T_0 \times s_{K,out}] + m_{Ek,out} [h_{Ek,out} - T_0 \times s_{Ek,out}] \quad \text{Eş.18}$$

Burada out, K, in, ve S alt indisleri sırasıyla çıkan, katı ürün ve sıvı çözeltiyi ifade etmektedir.

OIDE ve geleneksel yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi için genel ekserji denkleminin çözümü için yok olan ekserji değeri (Exyokolan) Eşitlik 19 ile belirlenmiştir. Exyokolan değerinin hesaplanabilmesi için entropi oluşumu (Sgen) değeri Eşitlik 20 ile belirlenmiş ve Eşitlik 19’de yerine konulmuştur.

$$\sum Ex_{yok olan} = S_{gen} \times T_0 \quad \text{Eş.19}$$

$$\Delta S_{sistem} = S_{in} + S_{out} - S_{gen} \quad \text{Eş.20}$$

OIDE ve geleneksel yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminin başlangıçtaki ve işlem sonundaki entropi değerlerini belirlemek amacıyla Eşitlik 21 değerinden yararlanılmıştır.

$$S - S_0 = m \times \left(\frac{C_p + C_{p,0}}{2} \right) \times \ln \frac{T}{T_0} \quad \text{Eş.21}$$

Termodinamiğin ikinci kanunu dikkate alınarak verimlilik değerini belirlemek amacıyla Eşitlik 22'den yararlanılmıştır.

$$\eta_{ekserji} (\%) = \left(1 - \frac{Ex_{yokolan}}{Ex_{in}} \right) \times 100 \quad \text{Eş.22}$$

(Van Gool, 1997) sistem veya işlem için kayıp ve tersinmezlik ekserji (Exin-Exout) değerleri minimum olduğunda ekserji verimliliğindeki gelişimin olacağını belirtmiştir. Buna bağlı olarak ise geliştirme potansiyeli (Improvement potential, IP) değerinin belirlenebileceğini ifade etmiştir. OIDE ve geleneksel yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon sistemleri için geliştirme potansiyeli (IP) değeri Eşitlik 23 ile belirlenmiştir (Filiz İcier vd., 2010b).

$$IP = \left(1 - \frac{\eta_{ekserji}}{100} \right) \times (\sum Ex_{in} - Ex_{out}) \quad \text{Eş.23}$$

3.14. İstatistiksel Değerlendirme

3 farklı voltaj gradyanı kullanılarak OIDE işlemi ile geleneksel ekstraksiyon yöntemi kullanılarak üretilen pektin işlemi sırasında istatistiksel karşılaştırılma amacı ile SPSS paket programı (IBM, ABD) kullanılmıştır. Pektin üretimi sırasında termodinamik açıdan enerji ekserji verimi, ekserji yokolan değerlerinin karşılaştırılması, sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması, pektin verimi vb. karşılaştırmak için çoklu karşılaştırma olan ANOVA testinde yararlanılmış ve işlemler üzerine etkileri arasındaki farklılıklar, Tamamen Rastgele Deneme Desenine göre, tek yönlü varyans (Post Hoc- Duncan testi) analizi kullanılmıştır. Kullanılan istatistiksel değerlendirmede güven aralığı 0.95 olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

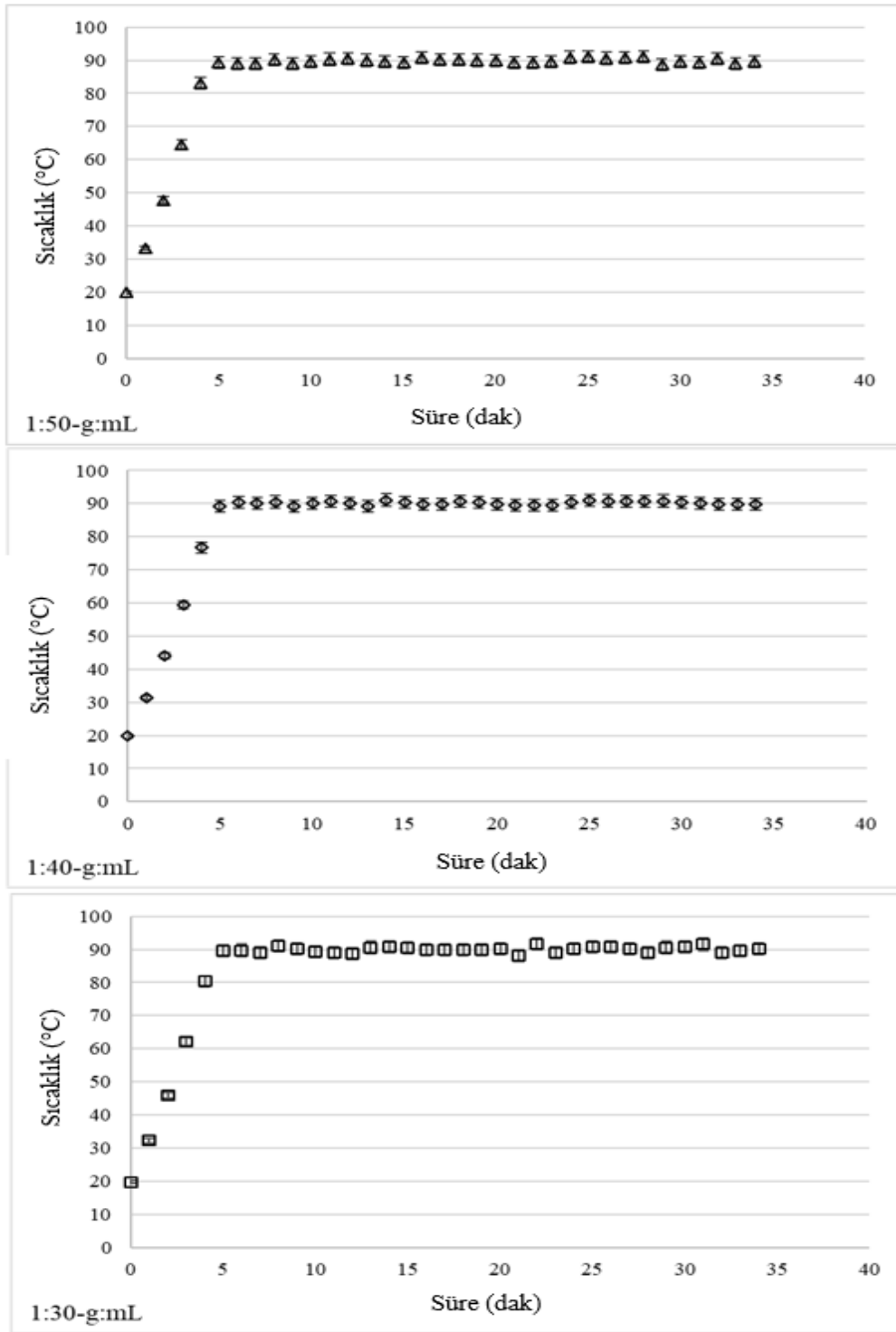
Limon kabuğu tozu kullanılarak farklı işlem koşullarında (farklı sıcaklık, katı sıvı oranı ve ekstraksiyon bekleme süresi) ve sabit voltaj gradaynı (18 V/cm) kullanılarak ohmik ısıtma işlemi ile pektin üretimi yapılmış ve incelenmiştir. Mevcut tez çalışmasında farklı katı sıvı oranlarında elde edilen elektriksel iletkenlik değeri, pektin verimi ve pektinin kalite özellikleri incelenmesinin yanı sıra performans özellikleri de detaylı olacak şekilde termodinamiğin 1. ve 2. Kanununa göre incelenmiştir. Tez çalışmasına ait bulgular alt başlıklar ile aşağıda verilmiştir.

4.1. Isınma Süresi ve Sıcaklık Dağılımları

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi sırasında sıcaklık değişimleri termokupl kullanılarak ölçülmüş ve mikroişlemci ile kayıt altına alınmıştır. Bu ölçümlere bağlı olarak farklı katı/sıvı oranları için 90 °C'deki ısınma süresi ve ekstraksiyon sırasındaki sıcaklık değişimi Tablo 4.1'deki gibi verilmiştir. Ekstraksiyon sırasında çözelti için gerekli ısınma süresi (1:30 g/mL) 20 °C'den 90 °C'ye ulaşma süresi $273,33 \pm 18,9$ saniye olduğu belirlenmiştir. Ancak katı/sıvı oranı arttıkça ısınma süresi 1:50 g/ml'de $281,67 \pm 4,9$ s olacak şekilde uzadığı tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Ayrıca aynı sıcaklık ve aynı katı/sıvı oranlarına bakılacak olursa süre arttıkça ısınma süresinin de düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, ısınma süresinin numunenin bileşimine bağlı olarak değiştiği anlamına gelmektedir. Bu çalışmadaki katı/sıvı oranlarının çözeltinin moleküler hareketliliğini veya iyonik hareketliliğini etkileyerek ısınma süresini etkilediği düşünülmektedir. Benzer şekilde farklı meyve sularının konsantrasyonu sırasında veya konsantre meyve sularının SÇKM değerine bağlı olarak ısınma sürelerinin değiştiği rapor edilmiştir (Assiry, 2011; F Icier ve Ilıcalı, 2004; S Sabancı ve Icier, 2017). Pektin ekstraksiyon işleminde önemli parametrelerden biri ekstraksiyon sırasında sıcaklık değerinin sabit tutulmasıdır. Bu çalışmada hedef sıcaklıklara (70, 80 ve 90 °C) ilişkin standart sapma değerlerinin $\pm 4,9$ °C'nin altında olduğu tespit edilmiştir. OIDE prosesi ile pektin üretiminde farklı katı/sıvı oranlarındaki sıcaklık değişimi Şekil 4.1'de verilmiştir. Ohmik ısıtmanın hacimsel bir ısıtma işlemi olması sayesinde homojen sıcaklık dağılımı sağlanmıştır.

Tablo 4.1. Limon kabuğu tozunun ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi sırasındaki ısıtma süreleri

Sıcaklık (°C)	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Katı: Sıvı (g/ml)	Süre (dk)	Isınma Süresi (s)
70	18	1/30	0	224,33 ±5,77
			15	211,67 ±8,08
			30	204,67±18,18
		1/40	0	211,33±8,50
			15	210,33±13,28
			30	211,67±13,01
		1/50	0	209,33±7,51
			15	210,00±14,18
			30	200,67±14,57
80	18	1/30	0	241,67±19,01
			15	235,33±16,29
			30	238,67±3,51
		1/40	0	253,00±19,16
			15	240,00±17,09
			30	248,00±20,52
		1/50	0	237,67±19,66
			15	239,67±12,10
			30	228,33±4,73
90	18	1/30	0	273,33±18,90
			15	274,00±19,31
			30	271,67±9,61
		1/40	0	285,67±8,08
			15	272,67±10,02
			30	275,33±14,22
		1/50	0	281,67±4,93
			15	275,33±22,19
			30	271,00±9,00

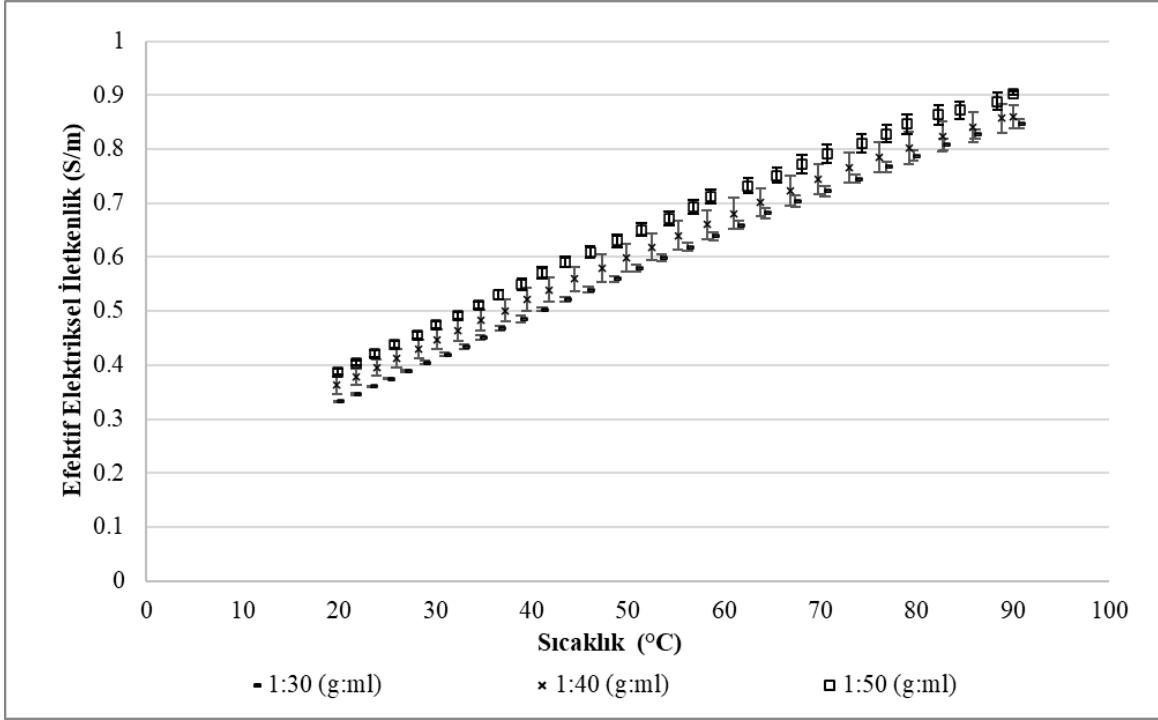


Şekil 4.1. OIDE işlemi sırasında farklı katı/sıvı oranlarında 30 dakika boyunca 90°C'lik ekstraksiyon işlemi sırasında sıcaklık değişimi

4.2. Elektriksel İletkenlik Değeri

Elektriksel iletkenlik (EC), Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi sürecindeki en önemli parametrelerden biridir ve birçok araştırmacı, EC değerlerini farklı uygulamalarda analiz etmiştir (Cevik & Icier, 2018b; Filiz Icier, 2011; Icier, Yildiz, Sabanci, Cevik, & Cokgezme, 2017). Bu çalışmada, 20 ila 90 °C'ye ısıtma sırasında farklı katı:sıvı (1:30, 1:40 ve 1:50 g/ml) oranlarına sahip ekstraksiyon çözeltisinin elektriksel iletkenlik değeri Şekil 4.2'de verilmiştir. 1:30 katı:sıvı oranında ekstraksiyon çözeltisinin değerleri 0.3 ile 0.84 S/m arasında değişti ve 1:50 katı:sıvı oranındaki değerler 0.38 ile 0.91 S/m arasında değiştiği tespit edilmiştir. Katı/sıvı oranının artması nedeniyle limon tozunun bir kısmı çözelti içerisinde çözünerek SÇKM değerinin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle SÇKM değerindeki artışın ve bunun pH değerine etkisinin moleküler mobilitede ve/veya iyonik mobilitede azalmaya ve EC değerlerinde azalmaya neden olabileceği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ekstraksiyon işleminde çözeltinin ısıtılması sırasında farklı katı/sıvı oranları elektriksel iletkenlik değerini etkilediği tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Benzer şekilde literatürdeki çeşitli çalışmalarda elektriksel iletkenlik değerlerinin voltaj gradyanına ve katı/sıvı oranına bağlı olarak değişiklik gösterdiği rapor edilmiştir (Cevik & Icier, 2018c; Hosainpour, Darvishi, Nargesi, & Fadavi, 2014; Sabanci & Icier, 2017). Özellikle kurutma, damıtma, pastörizasyon, inaktivasyon, pişirme, buharlaştırma, çözme gibi çalışmalarda voltaj gradyanının elektriksel iletkenlik değerleri üzerindeki etkisi vurgulanmıştır (İcier, 2012). Ekstraksiyon prosesinde katı/sıvı oranını içeren sınırlı sayıda elektriksel iletkenlik çalışması aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir. (Aamir ve Jittanit, 2017), gac tohumu yağı ekstraksiyonunda farklı çözeltiler (gac:su; gac-n-heksan) kullanarak farklı katı/sıvı oranlarındaki değişimin elektriksel iletkenlik üzerindeki etkisini araştırmıştır. Hekzan ile yapılan çalışmada EC değerlerinin çok düşük olduğunu, tuz ilavesi ile EC değerlerinin artırılabilceğibildirmişlerdir.



Şekil 4.2. Farklı katı/sıvı oranındaki ekstraksiyon çözeltilerinin elektrikselsel iletkenlik değerleri

4.3. Pektin Verimi

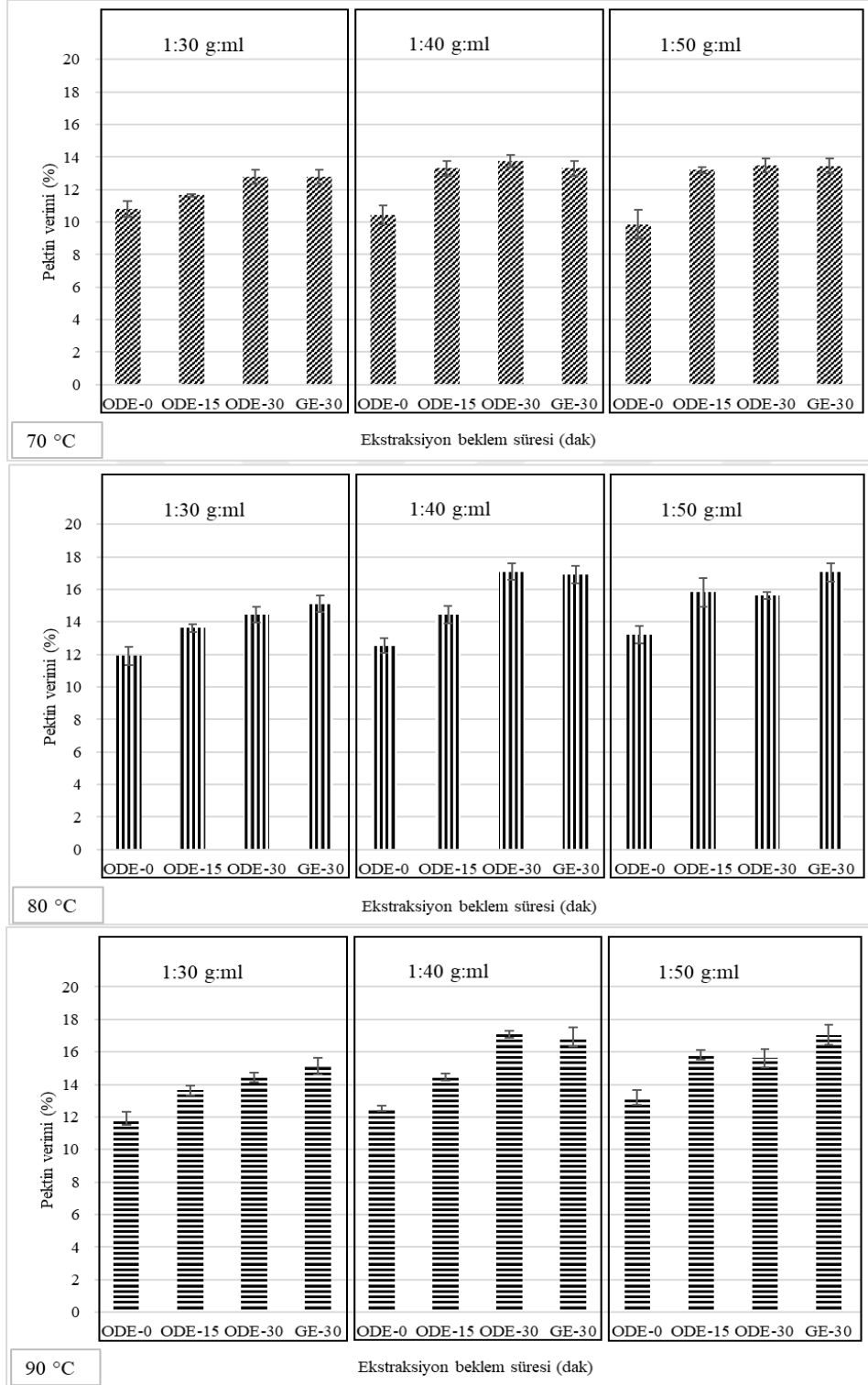
Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işleminin çeşitli katı/sıvı oranlarında, farklı sıcaklıklarda ve farklı ekstraksiyon bekletme sürelerinde pektin verimi Tablo 4.2'de verilmiştir. Sıcaklık, ekstraksiyon bekletme süresi ve katı/sıvı oranı pektin verimini etkilediği ($p < 0,05$). OIDE'de en yüksek pektin verimi (%16,96) 30 dakika ekstraksiyon bekletme süresinde, 90 °C sıcaklıkta ve 1:40 katı/sıvı oranında elde edildiği tespit edilmiştir. Sabit sıcaklıkta ekstraksiyon bekletme süresi arttıkça pektin veriminin olumlu etkilendiği tespit edilmiştir. Pektin üretimi üzerine en etkili koşullar ekstraksiyon bekletme süresi ve sıcaklık olduğu belirlenmiştir. Geleneksel pektin üretiminin ohmik ısıtmayla etkisini karşılaştırmak için geleneksel 30 dakikalık ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Geleneksel ekstraksiyon yöntemi ve ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon yöntemiyle üretilen pektin verimi Tablo 4.2'de verilmiştir. Geleneksel ekstraksiyon yönteminde pektin verimi (%19,55) 90 °C ve 1:50 katı/sıvı oranında elde edilmiştir. Literatürde pektin üretiminin verimliliği ile ilgili çok sayıda çalışma mevcut ancak ohmik ısıtmanın kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Tablo 4.2. Limon kabuğu tozunun farklı sıcaklık, farklı katı/sıvı oranı ve farklı bekleme sürelerindeki ohmik ekstraksiyon (OIDE) sonrası ve geleneksel ekstraksiyon sonrası pektin verimi

Sıcaklık (°C)	Katı/Sıvı Oranı(g/ml)	Voltaj Gradyanı(V/cm)	Süre(dk)	Ekstraksiyon Verimi (mg/kg)
70°C	1:30	18 V/cm	0	8,42±0,37
			15	10,75±0,21
			30	11,05±0,45
		Geleneksel	30	13,02±0,03
			0	9,48±0,49
			15	12,09±0,35
	1:40	18 V/cm	30	12,50±0,32
			30	14,48±0,32
		Geleneksel	30	14,48±0,32
			0	8,97±0,72
		18 V/cm	15	12,00±0,15
			30	12,27±0,34
80°C	1:50	18 V/cm	30	14,53±0,12
			0	10,83±0,46
			15	12,39±0,21
		Geleneksel	30	13,13±0,41
			30	14,69±0,80
			0	11,45±0,32
	1:40	18 V/cm	15	13,13±0,42
			30	13,78±0,33
		Geleneksel	30	16,34±0,51
			0	11,81±0,39
		18 V/cm	15	13,89±0,19
			30	14,19±0,18
90°C	1:50	18 V/cm	30	16,18±0,04
			0	12,17±0,24
			15	14,35±0,25
		Geleneksel	30	15,35±0,33
			30	18,82±1,44
			0	13,23±0,14
	1:40	18 V/cm	15	15,16±0,11
			30	16,96±0,67
		Geleneksel	30	19,10±0,08
			0	13,24±0,38
		18 V/cm	15	15,84±0,88
			30	16,52±0,99
		Geleneksel	30	19,55±1,52

Saberian, Hamidi-Esfahani, Ahmadi Gavlighi, & Barzegar, (2017b) sistemini kullanarak farklı koşulların (voltaj gradyanı, ekstraksiyon süresi ve sıcaklık) portakal kabuğu numunesinin pektin verimini etkilediğini bildirmiştir. Pektin üretimi üzerinde

etkili olan koşulun sıcaklık olduğu, portakal kabuğu tozundan en yüksek verim değerinin 30 dakika ve 90 °C'de elde edildiği de rapor edilmiştir.



Şekil 4.3. Farklı işlem sürelerinde OIDE işleminde elde edilen pektin verimi

Pektin üretiminde önemli şartlardan biri kullanılan asitin cinsidir. Pektin ekstraksiyonu için organik ve inorganik asitler mevcuttur. T.Í. S. Oliveira ve diğerleri. (2016), sitrik asit kullanılarak muz kabuğundan ekstrakte edilen pektin verimini incelemiştir. Pektin verim değerlerinin farklı sıcaklıklarda (70–90 °C), farklı pH'larda (2,0–4,5) ve farklı ekstraksiyon bekletme sürelerinde (120–240 dk) %5,2 ile 12,2 arasında değiştiği ve en yüksek verim değerinin 86°C'de elde edildi. Masmoudi ve ark. (2008) limon atıklarıyla yaptıkları çalışmada farklı sıcaklık ve farklı pH değerlerinde pektin verimini araştırmışlar ve artan sıcaklığın pektin verimini arttırdığını ve en yüksek pektin veriminin 80 °C'de elde edildiğini bulmuşlardır. Ayrıca pektin üretiminde çözeltinin pH'ının pektin verimini önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak pektin üretiminde düşük pH, yüksek sıcaklık ve uzun işlem sürelerinde yüksek verim elde edildiğini bildirmişlerdir. İnorganik asitlerle yapılan çalışmalarda, pektin veriminin artan sıcaklık ve daha uzun ekstraksiyon süresinden olumlu etkilendiği yönünde benzer eğilimler rapor edilmiştir (Chan ve Choo, 2013; Marić ve diğerleri, 2018). Literatürde de farklı ekstraksiyon yöntemleri kullanılarak ekstrakte edilen pektin örneklerinde uygulanan bekleme süresinin artmasına bağlı olarak elde edilen pektin verimi değerlerinin artış gösterdiği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Canteri-Schemin vd., 2005; Sabancı vd., 2021; Santos vd., 2013; Zouambia vd., 2014).

4.4. Ohmik Isıtma Destekli Ekstraksiyon İşleminin Güç Ölçüm Değerleri

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon ve geleneksel ekstraksiyon işlemi ait toplam harcanan enerji değerleri ve spesifik pektin üretim katsayısı (SPÜK) değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir. Geleneksel ekstraksiyon işlemi sonucunda çözelti önce elektrikli ısıtıcıda (90 °C) ısıtıldıktan sonra su 90 °C'lik su banyo içerisine alınmıştır (Şek. 1). Her iki ısı kaynağının tükettiği toplam enerji tespit edilmiştir. Ayrıca su banyosunun numune için oldukça büyük olması ve aynı anda 6 ekstraksiyon kabının konulabilmesi nedeniyle enerji değeri 1/6 olarak alınmıştır. Buna göre ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi sürecinde süre arttıkça toplam tüketilen enerji değerinin arttığı belirlenmiştir ($p<0,05$). Ayrıca tüketilen en yüksek enerji değeri geleneksel ekstraksiyon yönteminde 148,5 kJ olarak bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca katı:sıvı oranı 1:30'dan 1:50'ye düştüğünde OIDE prosesi için tüketilen toplam enerji artmıştır. Bunun yanı sıra ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi süresince uygulanan işlem süresi arttıkça ohmik ısıtmanın tükettiği enerjinin artmasına neden olmuştur.

Üretilen pektin miktarı ile tüketilen toplam enerji miktarı arasındaki ilişki spesifik pektin üretim katsayısı (SPÜK) değeri ile incelenmiştir. Katı/sıvı oranının (kullanılan limon kabuğu tozu miktarı) azalmasına bağlı olarak SPÜK değerinin arttığı tespit edilmiştir (Tablo 4.3; $p<0,05$). Ayrıca ekstraksiyon işlemi sırasında zamanın artması toplam tüketilen enerji değerinin artmasına ve dolayısıyla SPÜK değerinin düşmesine neden olmuştur (Tablo 4.3; $p<0,05$). En düşük SPÜK değeri Geleneksel ekstraksiyon yönteminde (katı:sıvı oranı 1:50) elde edilirken, en yüksek SPÜK değeri 0 dakikalık OIDE prosesinde elde edilmiştir.

Tablo 4.3. Farklı işlem koşullarında pektin üretimi sırasında elde edilen toplam harcanan ohmik ısıtma enerjisi ve SPÜK değeri

Yöntem	Katı:Sıvı (g:mL)	Süre(dak)	TOE (kJ)	SPÜK (mg/kJ)
OIDE	1:30	0	55.9±1.7	11.05±0.03
		15	86.5±3.7	8.30±0.27
		30	103.8±2.6	7.41±0.26
Geleneksel Ekstraksiyon		30	148.1±15.1	5.83 ± 0.66
OIDE	1:40	0	58.7±0.7	8.45±0.14
		15	87.8±3.0	6.48±0.23
		30	109.9±2.3	5.71±0.27
Geleneksel Ekstraksiyon		30	148.5±14.6	4.85 ± 0.29
OIDE	1:50	0	60.4±0.9	6.58±0.15
		15	89.7±2.1	5.15±0.45
		30	109.0±3.5	4.55±0.21
Geleneksel Ekstraksiyon		30	155.25±11.6	3.64 ± 0.12

OIDE: Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon

Yazarların bilgisi dahilinde açık literatürde ohmik ısıtma işlemi kullanılarak yapılan ekstraksiyon çalışmalarında harcanan toplam enerji miktarı ve ortalama güç tüketim değerlerine üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanılmadığı için elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılamamaktadır. Elde edilen bulguların literatüre önemli katkı sunacağı düşünülmektedir. Literatürde farklı hammaddeler kullanılarak uygulanan ohmik ısıtma işlemlerinde ise işlem süresinin artmasına bağlı olarak harcanan enerji miktarının artış gösterdiği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Cevik ve Icier, 2018; Cokgezme vd., 2017; Filiz Icier vd., 2017). (Cokgezme vd., 2017), nar suyunun ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon işlemi sırasında, işlem süresinin artışına

bağlı olarak harcanan enerji miktarının arttığını, artan işlem süresine bağlı elektriksel iletkenlik değerinin azalmasından dolayı güç değerinin azaldığını rapor etmişlerdir. (Sabancı ve İcier, 2017), vişne suyunu vakum altında evaporasyon işlemi ile %65 suda çözünür kuru madde içeriğine kadar konsantre etmiş, işlem süresi uzadıkça toplam harcanan enerji değerinin arttığını ve artan suda çözünür kuru madde miktarı nedeniyle elektriksel iletkenlik değerinin olumsuz etkilendiğini ve buna bağlı olarak ortalama güç değerinin azaldığını bildirmiştir. Başka bir çalışmada ise (Cevik ve İcier, 2018), farklı yağ içeriğine sahip kıyma örneklerinin ohmik çözündürülmesinde çözündürme süresinin artmasına bağlı olarak harcanan enerji miktarının arttığı rapor edilmiştir. (Kanjapongkul, 2017), ohmik ısıtma kullanılarak 3 farklı voltaj gradyanı (20-40 V/cm) değerinde, 100°C’de maksimum 15 dakika boyunca pirinç örneklerini pişirme işlemine tabii tutmuşlardır. Uygulanan pişirme işlemi boyunca gerekli olan güç değerinin sıcaklık değerlerinin arttığı periyotta artış gösterdiği, 100°C’ye ulaşıldıktan belirli bir süre sonra ise gerekli olan güç değerinin azalma eğilimi gösterdiği bildirmiştir.

4.5. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işleminin performans özellikleri

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile pektin üretiminin enerji verimliliği değeri üzerinde ekstraksiyon işleminde tutma süresinin artması ve katı:sıvı oranının etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ekstraksiyon işlem süresinin artmasının enerji verimliliğini olumsuz etkilediği tespit edilirken katı:oranının artması ise enerji verimliliğini arttırmıştır. (Gavahian vd., 2012) esansiyel yağ asidinin ekstraksiyonu sırasında ohmik ısıtma destekli hydrodistelation işleminin enerji verimliliğinin yüksek olduğu ve ohmik ısıtma işleminin hydrodistilasyonunda kullanılabilecek çevre dostu bir yöntem olduğunu rapor etmişlerdir. Ohmik ısıtma işlemi kullanılarak yapılan etin pişirilmesinde yağ oranının ve voltaj gradyanının etkisi olduğu ve enerji verimliliği arasında yüksek bir değer olduğu rapor edilmiştir (Bozkurt ve İcier, 2010c). Diğer önemli bir işlem olan evaporasyon işleminde, enerji verimliliği üzerine voltaj gradyanının ve kullanılan meyve sularının etkisi olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca evaporasyon işleminde geleneksel yöntemle göre ohmik ısıtma işleminin daha yüksek enerji verimliliklerine sahip olduğu vurgulanmıştır (Cokgezme vd., 2017; Darvishi vd., 2015; Sabancı ve İcier, 2020). Ohmik ısıtma kullanılarak yapılan süt tatlısında enerji, tüketiminin daha düşük olduğu rapor edilmiştir (Kuriya vd., 2020).

Ekserji kısaca iş potansiyeli olan enerji olarak tanımlanmaktadır. Bu yüzden sistem ve güncel yöntemlerin değerlendirilmesinde önemli parametrelerin bazında gelmektedir.

Bu nedenle de ohmik ısıtma işleminde ekserjetik değerlendirilmesinin sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada ekstraksiyon işlemindeki ekserji analizi Tablo 4.4’de verilmiştir. Buna göre tüm ekserji değerlerinin enerji verimliliklerinde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemiinde Exdest değerinin sabit sıcaklıkta tutma süresinin artmasına bağlı olarak olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca katı:sıvı oranının azarlamasının Exdest değerini olumsuz etkilediği bulunmuştur. Genel değerlendirme sonunda hem Exdest hem de ekserji verimliliği üzerine ekstraksiyon koşullarının etkisi olduğu tespit edilmiştir. Sistem ve/veya işlemlerin iyileştirme potansiyelini belirlemek amacıyla improvement potention değeri belirlenmiştir. Burada yüksek IP değerinin geliştirilerek düşürölme ihtiyacını ifade etmektedir. Yazarların bilgisi dahilinde pektin üretiminde ohmik ısıtma destekli çalışmanın sınırlı olduğu ve bu çalışmalarda performans değerleri incelenmediği tespit edilmiştir. Ohmik evaporasyon işleminde ekserji değerlendirmesinde voltaj gradyanın etkisi olduğu ve yüksek voltaj gradyanında daha yüksek enerji verimliliği elde edildiği ve düşük IP değeri olduğu çalışmalarla ortaya konmuştur (Cokgezme vd., 2017; Darvishi vd., 2015; Sabancı ve Icier, 2020). Ohmik ısıtma kullanılarak yapılan et pişirilmiş ve ekserjetik veriler üzerine yağ oranı ve voltaj gradyanın etkisi olduğu rapor edilmiştir.

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon ve geleneksel ekstraksiyon işleminde geliştirme potansiyeli değerleri 0.9 ile 14.8 kJ arasında değıştiği tespit edilmiştir. Burada özellikle artan işlem süresinin tüm katı sıvı oranlarında IP değerini olumsuz etkilediği ancak artan katı:sıvı oranının ise IP değerini olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Geleneksel eks. İşleminin en yüksek IP değerine sahip olduğu ve bu sistemin geliştirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. IP değeri üzerine istatistiksel olarak katı:sıvı oranı ve işlem süresinin etkisi olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.4. Farklı işlem koşullarında pektin üretimi sırasında elde edilen Exergy değeri ve IP değeri

Yöntem	Katı:Sıvı oranı (g:ml)	η_{Energy} (%)	EX_{dest} (kJ)	η_{Exergy} (%)	IP (kJ)
OIDE	1:30	78.1±2.3	2.7±0.3	65.1±2.3	0.9±0.1
		74.2±3.0	5.7±0.5	59.6±2.1	2.3±0.3
		74.7±1.7	8.6±0.3	54.4±1.0	3.9±0.2
Geleneksel Ekstraksiyon	1:30	66.7±6.7	20.4±2.2	33.5±3.1	13.6±1.4
		74.2±0.9	3.1±0.1	61.6±0.7	1.2±0.2
OIDE	1:40	72.3±1.5	5.9±0.3	58.3±0.9	2.5±0.2
		70.3±1.7	9.6±0.4	51.5±1.1	4.6±0.3
		55.5±5.6	20.6±2.2	33.3±2.9	13.7±1.2
Geleneksel Yöntemi	1:40	72.2±0.9	3.3±0.1	60.2±0.7	1.3±0.1
		71.2±1.5	6.1±0.2	57.6±0.8	2.6±0.1
OIDE	1:50	69.8±1.2	9.6±0.5	52.3±1.2	4.7±0.3
		53.3±4.8	21.8±1.9	31.9±2.3	14.8±0.9

OIDE: Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon yöntemi;

4.5. Pektinde Eküvalent Ağırlık (EA)

Eşdeğer ağırlık, pektin içindeki serbest galakturonik asit içeriğinin bir ölçümü olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, eşdeğer ağırlık, belirli bir reaksiyonda bir başka maddenin rastgele sabit bir miktarı ile tam olarak reaksiyona giren veya birleşen değerine eşit olan madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. Pektinin eşdeğer ağırlığı, bitkinin türüne, hammaddenin kalitesine, ekstraksiyon yöntemine ve ekstraksiyon işlemine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Güzel ve Akpınar, 2019; Wathoni vd., 2019). Yüksek eşdeğer ağırlığa sahip pektin örneklerinin daha yüksek jel oluşturma etkisine sahip olduğu bilinmektedir (Salma vd., 2014).

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; Limon kabuğu tozundan farklı işlem koşulları ile elde edilen pektin örneğinin EA değerinin 636,35-773,04 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 4.5). En yüksek EA değerinin ohmik ısıtma yöntemi ile elde edilen pektin örneklerinde elde edilmesine rağmen, istatistiksel olarak incelendiğinde ekstraksiyon yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$; EK 30).

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi kullanılarak farklı ürünlerden pektin elde edilmesi hakkında sınırlı çalışma olduğu ve yazarların bilgisi dahilinde ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi kullanılarak elde edilen pektin örneklerinin eşdeğer ağırlık değerlendirmesine ait herhangi bir çalışmaya rastlanılmadığı için sonuçlar

karşılaştırılamamaktadır. Elde edilen bulguların literatüre önemli katkı sunacağı düşünülmektedir. Güncel yöntemlerden olan Mikrodalga ısıtma işlemi kullanılarak farklı güç (170–510 W), farklı pH (1.50–2.50), farklı katı:sıvı (1:10–1:30) oranı ve farklı işlem sürelerinde (3–9 dak) optimizasyon prosedürü uygulanmış ve optimum koşul (495.48 W, pH: 1.99, 8.93 dak ve 1:20.59) öngörüsünde üretilen pektin örneklerinin eşdeğer ağırlık değerinin ise $1,025.32 \pm 2.73$ olduğu rapor edilmiştir (Kamal vd., 2020). Benzer şekilde, mikrodalga ısıtma kullanılarak yapılan başka bir çalışmada ise, portakal kabuğu tozunda nitrik asit kullanılarak pH değeri 1.5 ayarlanan çözelti yardımı ile 540 W çalışma gücünde ve 90 s boyunca ekstraksiyon işlemi uygulanmış ve geleneksel ekstraksiyon (pH 1.5; 80 °C; 10 dak) işlemi ile karşılaştırılmıştır. Mikrodalga destekli ekstraksiyon işlemi ile elde edilen pektin örneklerinin EA değerinin 485 iken geleneksel ekstraksiyon işleminde EA değerinin 381 olduğu tespit edilmiştir (Kute vd., 2020). Başka bir çalışmada ise, taze limon kabuğu örnek tozları kullanarak mikrodalga ısıtma (0.05 M HCl-700 W-3.5 dak) destekli ekstraksiyon işlemi uygulanmış ve geleneksel ekstraksiyon (95 °C-1 saat) işlemi ile karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar, mikrodalga destekli ekstraksiyon işleminde elde edilen pektinin eş değer ağırlığının 790.3-1395.0 arasında değiştiğini ve uygulanan ekstraksiyon yönteminin, katı:sıvı oranının ve asit türünün eşdeğer ağırlık üzerine etkisi olduğu rapor etmişlerdir (Rodsamran ve Sothornvit, 2019). Diğer bir çalışmada ise, araştırmacılar limon, portakal ve mandalina kabuğu tozu örneklerinden geleneksel ekstraksiyon (pH 1.27; HCl; 1 saat kaynatma) işlemi ile pektin elde etmişler ve örneklerin eküvalent ağırlığının 96.38-152.8 arasında değiştiğini ve eküvalent ağırlığının kullanılan örneklere bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini bildirmişlerdir (Twinomuhwezi vd., 2020). Mikrodalga ısıtma işlemi kullanılarak yapılan ekstraksiyon işleminde (pH 1.5, HCl, 700 W, 3 dak) mango kabuğu tozundan ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga destekli ekstraksiyon işlemi sonunda elde edilen pektin örneklerinin EA değerlerinin, geleneksel yöntem kullanılarak elde edilen pektin örneklerden 2 katı daha fazla olduğu araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Sommano vd., 2018). Limon kabuğu tozundan pH 2 değerinde 1.5 saat süreyle uygulanan geleneksel ekstraksiyon işlemi sonucunda pektin örneklerinin eş değer ağırlıklarının 476-493 arasında değiştiği ve yapılan ekstraksiyon işlemi ile elde edilen pektin örneğinin kalite olarak yetersiz olduğu araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Narenciye grubu dışında yapılan diğer bir çalışmada ise, 2 farklı elma kabuğu tozundan seyreltik hidroklorik asit (pH 2.5) ve sitrik asit kullanılarak 97 °C'de 30 dakika süreyle (çözünen/çözücü 1:50) ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen pektin

örneklerinin eşdeğer ağırlıklarının 714-1666 arasında değiştiği rapor edilmiştir. Araştırmacılar farklı türdeki elmaların ve kullanılan asit türünün pektin örneklerinin eşdeğer ağırlığını etkilediğini bildirmişlerdir (Kumar ve Chauhan, 2010). Sonuç olarak geniş bir aralıkta EA değerleri farklı yöntem ve ürünler için rapor edilmiştir. Elde edilen bulgular literatür ile paralel EA değerlerinin elde edildiğini göstermektedir.

4.6. Pektinde Metoksil İçeriği

Pektin maddesinin metoksil içeriği molekülünde ne kadar karboksilik grupları bulundurup bulundurmadığını açıklayarak pektinin sınıflandırılmasında kullanılan önemli bir moleküler değeridir. Metoksil içeriği ile esterleşme derecesi arasında ise ters orantı bulunmaktadır. Bu nedenle yüksek metoksil içeriğine sahip pektinin esterleşme derecesi %50'nin üzerinde kabul edilirken, düşük metoksil değeri ise 50'nin altında kabul edilmektedir. Bu yüzden pektin maddesi % metoksil içeriği %50'nin altında değere sahip ise, yüksek esterleşme derecesine sahip pektin beklenmektedir (Güzel ve Akpınar, 2019).

Limon kabuğu tozunun ekstraksiyon işlemi sonunda elde edilen pektin örneklerinin metoksil içeriği değerlerindeki değişim Tablo 4.5'de verilmiştir.

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi kullanılarak farklı ürünlerden pektin elde edilmesi hakkında sınırlı çalışma olduğu ve yazarların bilgisi dahilinde ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi kullanılarak elde edilen pektin örneklerinin metoksil içeriklerindeki değişimin değerlendirmesine ait herhangi bir çalışmaya rastlanılmadığı için sonuçlar karşılaştırılamamaktadır. Elde edilen bulguların literatüre önemli katkı sunacağı düşünülmektedir. Alternatif güncel ısıtma yöntemlerinden biri olan mikrodalga ısıtma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon çalışmaları ile pektin örneklerinin metoksil içeriklerindeki değişim incelenmiştir. 2 farklı elma kabuğu tozundan seyreltik hidroklorik asit (pH 2.5) ve sitrik asit kullanılarak 97 °C'de 30 dakika süreyle (çözünen/çözücü 1:50) ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen pektin örneklerinin metoksil içeriğinin 2.23-6.21 arasında değiştiğini ve sitrik asit ile pH değeri ayarlanmış çözelti ile gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi sonunda elde edilen pektin örneklerinin % metoksil içeriğinin pH değeri hidroklorik asit ile ayarlanmış çözelti ile ekstrakte edilene kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Kumar ve Chauhan, 2010). Mikrodalga ısıtma kullanılarak yapılan başka bir çalışmada ise, portakal kabuğu tozunda nitrik asit kullanılarak pH değeri 1.5 ayarlanan çözelti yardımı ile 540 W çalışma gücünde ve 90 s boyunca ekstraksiyon işlemi uygulanmış ve geleneksel ekstraksiyon (pH 1.5; 80 °C;

10 dak) işlemi ile karşılaştırılmıştır. Mikrodalga destekli ekstraksiyon işlemi ile elde edilen pektin örneklerinin metoksil içeriği değerinin %6.99 iken, geleneksel ekstraksiyon işleminde metoksil içeriğinin %5.75 olduğu tespit edilmiştir (Kute vd., 2020). Taze limon kabuğu örnek tozları ile yapılan çalışmada, mikrodalga ısıtma (0.05 M HCl-700 W-3.5 dak) destekli ekstraksiyon işlemi uygulanmış ve geleneksel ekstraksiyon (95 °C-1 saat) işlemi ile karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar, mikrodalga destekli ekstraksiyon işleminde elde edilen pektinin % metoksil içeriğinin %8.74-9.33 arasında değiştiğini ve uygulanan ekstraksiyon yönteminin, katı:sıvı oranının ve asit türünün metoksil içeriği üzerine etkisi olduğu rapor etmişlerdir (Rodsamran ve Sothornvit, 2019). Diğer bir çalışmada, mikrodalga ısıtma işlemi kullanılarak farklı güç (170–510 W), farklı pH (1.50–2.50), farklı katı:sıvı (1:10–1:30) oranı ve farklı işlem sürelerinde (3–9 dak) optimizasyon prosedürü uygulanmış ve optimum koşul (495.48 W, pH: 1.99, 8.93 dak ve 1:20.59) öngörüsünde üretilen pektin örneklerinin metoksil içeriği değerinin ise 10.81 ± 0.24 olduğu rapor edilmiştir (Kamal vd., 2020).

Tablo 4.5. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon yöntemi ile geleneksel yöntem ile yapılan ekstraksiyon yönteminde pektinde eküvalent ağırlık değeri ve metoksil içeriği

Sıcaklık (°C)	Katı: Sıvı (g/ml)	Yöntem (V/cm)	Süre (dk)	Eküvalent Ağırlık	Metoksil İçeriği
70 °C	1:30	18 V/cm	0	709,62 ±20,58	8,94±0,60
			15	672,50±20,18	9,33±1,50
			30	697,29±20,92	9,33±2,13
		Geleneksel	30	476,64±18,11	14,33±0,71
			0	773,0±22,41	8,00±2,16
			15	746,62±20,91	10,01±0,55
	1:40	18 V/cm	30	725,89±21,78	10,27±1,52
			30	498,19±18,43	14,06±0,37
		Geleneksel	30	636,35±22,91	6,36±1,72
			0	723,44±21,70	8,58±1,90
			15	723,44±21,70	8,58±1,90
			30	646,14±20,03	9,84±2,83
80 °C	1:30	18 V/cm	30	501,75±19,07	13,55±0,31
			0	599,71±21,59	12,54±1,06
			15	693,65±22,20	11,52±0,22
		Geleneksel	30	701,66±22,45	11,92±1,06
			30	516,81±18,09	14,42±0,59
			0	696,75±22,99	11,36±1,48
	1:40	18 V/cm	15	630,88±22,71	11,51±0,62
			30	682,55±23,89	12,38±0,57
		Geleneksel	30	555,76±20,56	13,83±0,94
			0	712,03±25,63	13,54±3,38
			15	654,57±24,87	12,69±2,10
			30	575,371±21,29	12,66±2,1
90 °C	1:30	18 V/cm	30	490,97±18,66	13,56±0,70
			0	659,77±19,13	11,51±0,64
			15	673,78±20,21	12,47±0,57
		Geleneksel	30	586,54±17,01	13,99±1,31
			30	384,37±14,22	15,36±1,08
			0	689,89±20,01	11,96±1,50
	1:40	18 V/cm	15	583,57±17,50	12,25±1,78
			30	610,91±17,71	12,34±1,10
		Geleneksel	30	477,14±17,65	14,59±0,64
			0	632,07±18,33	10,89±3,23
			15	665,0±19,29	10,66±2,66
			30	533,09±19,19	12,71±1,74
	1:50	18 V/cm	15	665,0±19,29	10,66±2,66
			30	533,09±19,19	12,71±1,74
	1:50	Geleneksel	30	478,76±17,71	13,97±0,17
			30	478,76±17,71	13,97±0,17

Mikrodalga ısıtma işlemi kullanılarak yapılan ekstraksiyon işleminde (pH 1.5, HCl, 700 W, 3 dak) mango kabuğu tozundan ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga destekli ekstraksiyon ve geleneksel yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon

işlemleri sonunda elde edilen pektin örneklerinin metoksil içeriği değerlerinin sırasıyla %19.3 ve %13.9 olduğu belirlenmiştir (Sommano vd., 2018). Başka bir çalışmada ise, araştırmacılar limon, portakal ve mandalina kabuğu tozu örneklerinden geleneksel ekstraksiyon (pH 1.27; HCl; 1 saat kaynatma) işlemi ile pektin elde etmişler ve örneklerin metoksil içeriği değerlerinin %9.04-13.07 arasında değiştiğini ve metoksil içeriği değerlerinin kullanılan örneklere bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini bildirmişlerdir (Twinomuhwezi vd., 2020). Farklı yöntemler ve farklı ürünlerinde % metoksil içerikleri incelendiğinde paralel %metoksil değerleri elde edilmiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİ

Ohmik ısıtma işleminin etkisini detaylı olarak ortaya koymak için, geleneksel yöntem kullanılarak pektin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiş ve elde edilen pektin maddesinin fizikokimyasal özelliklerindeki değişim ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile karşılaştırılmıştır. Limon kabuğu tozu için 3 farklı süre, 3 farklı katı/sıvı oranı ve sabit 3 farklı sıcaklık ile ohmik ekstraksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen örneklerin pektin verimi %8,42-%16,96 ve metoksil içeriği değerlerinin %6,36-13,98 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Farklı ekstraksiyon yöntemlerinde örneklerin 20°C'den hedef sıcaklığa (70-80-90°C) ulaşma (ısınma) sürelerinin farklı olduğu ve en kısa ısınma süresi ise ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işleminde elde edilmiştir. Isınma süresine bakmış olduğumuz zaman ısınma süresinin 200,67 ile 285,67 arasında değiştiğini, yine aynı sıcaklık ve aynı voltaj gradyanında fakat farklı katı/sıvı oranındaki ısınma sürelerine baktığımızda katı/sıvı oranı arttıkça hedef sıcaklığa ulaşma süresinin kısaldığı görülmüştür. Katı/sıvı oranının ısınma süresinde etkisi olduğu belirlenmiştir.

Farklı katı/sıvı oranının artması SÇKM değerinin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ekstraksiyon işleminde çözeltinin ısıtılması sırasında farklı katı/sıvı oranları elektriksel iletkenlik değerini etkilediği tespit edilmiştir.

Pektin verimi incelendiğinde ohmik ekstraksiyon ile üretilen pektinlerde sıcaklık, süre ve katı/sıvı oranı arttıkça pektin verimin arttığı belirlenmiştir. Dolayısıyla pektin veriminde sıcaklığın, sürenin ve katı/sıvı oranının anlamlı bir etkisi olduğu belirlenmiştir.

Geleneksel ekstraksiyon yönteminde yine 3 farklı katı/sıvı oranı, 3 farklı ısınma süresi ve 30 dk'lık süre kullanılarak yapılan ekstraksiyon çalışmasında ohmik yöntemle kıyasla pektin verimi daha fazla çıkmıştır ama bunun yanında pektinin kalitesinde düşüklükler belirlenmiştir. Ticari olarak pektin çalışmasına baktığımızda hem zaman açısından hem de ısı dağılımının homojen şekilde olmasını sağlamak açısından ohmik destekli ekstraksiyon yönteminin geleneksel yöntemle kıyasla daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işleminin farklı meyve kabuğu tozlarında pektin üretimi amacıyla alternatif bir yöntem olarak uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon yönteminin geleneksel ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla daha yüksek enerji ve ekserji verimliliği ile benzer kalite özelliklerinde pektin elde edilmesine olanak verdiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların endüstriyel boyutta ohmik

ısıtma destekli ekstraksiyon sistemlerinin tasarımında değerli veriler sunacağı ve literatüre bilimsel katkıda bulunulacağı düşünölmektedir. Diğer yandan, ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon yönteminin farklı gıda ürünlerine, farklı işlem koşullarında uygulanabilirliğinin incelenmesi konusunda çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ohmik ısıtma kısa zamanda daha fazla ürün üretebilme ve ürünlerin kalitesine daha az zarar verme açısından bakıldığında alternatif bir ısıtma yöntemi olarak tercih edilebilir.



6. KAYNAKLAR

- Aamir, M., Jittanit, W.**, 2017. "Ohmic heating treatment for Gac aril oil extraction: Effects on extraction efficiency, physical properties and some bioactive compounds". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*.
- Abdulmuttaleb Hammood, Z., Ali, I. R., Hassein Ali, N., Jawad, S. K.**, 2021. "Liquid ion exchange methodology for extraction Cr (VI) using azo derivative compound". *Materials Today: Proceedings*, 43, 2156-2161.
- Aina, V.O., et al.**, 2012. Extraction and Characterization of Pectin from Peels of Lemon (Citrus limon), Grape Fruit (Citrus paradisi) and Sweet Orange (Citrus sinensis). *British Journal of Pharmacology and Toxicology*, 3, 259-262.
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., Ukaegbu, C. I.**, 2021. "Extraction of phenolic compounds: A review". *Current Research in Food Science*, 4, 200-214.
- Antunes, F.A., Rocha, T.M., Philippini, R.R., Martiniano, S.E., Prado, C.A., Mier-Alba, E., Hernández-Pérez, A., Jofre, F.M., Abdeslahian, P., Ribeaux, D.R., Castro-Alonso, M.J., Balbino, T.R., Dussán, K.J., Da Silva, D., De Souza, J., Sánchez-Muñoz, S., Reyes-Guzman, R., Ingle, A.P., Felipe, M.D., Santos, J., & da Silva, S.S.**, 2021. "The Potential of Vegetal Biomass for Biomolecules Production". *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*.
- 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.
- Azad, A. K. M., Ali, M. A., Jiaur Rahman, M., Ahmed, M.**, 2014. "Isolation and Characterization of Pectin Extracted from Lemon Pomace during Ripening". *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2(2), 30-35.
- Bagherian, H., Zokaee Ashtiani, F., Fouladitajar, A., Mohtashamy, M.**, 2011. "Comparisons between conventional, microwave- and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit". *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*.
- Baysal, T., İcier, F., Baysal, H. A.**, 2011. "Güncel elektriksel ısıtma yöntemleri" (1. Basım). Sidas Medya Yayınları.
- Belkheiri, A., Forouhar, A., Ursu, A. V., Dubessay, P., Pierre, G., Delattre, C., Michaud, P.** 2021. "Extraction, Characterization, and Applications of Pectins from Plant By-Products". *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 6596, 11(14), 6596.
- Bozkurt, H., İcier, F.**, 2010. "Electrical conductivity changes of minced beef-fat blends during ohmic cooking". *Journal of Food Engineering*.
- Bozkurt, H., İcier, F.**, 2010. "Exergetic performance analysis of ohmic cooking process". *Journal of Food Engineering*, 100(4), 688-695.

- Bozkurt, H., Icier, F.,** 2010. "Ohmic cooking of ground beef: Effects on quality". *Journal of Food Engineering*, 96(4), 481-490.
- Cabas, B. M., Icier, F.,** 2021. "Ohmic Heating-Assisted Extraction of Natural Color Matters from Red Beetroot". *Food and Bioprocess Technology*, 14(11), 2062-2077.
- Cacace, J. E., Mazza, G.,** 2003. "Mass transfer process during extraction of phenolic compounds from milled berries". *Journal of Food Engineering*, 59(4), 379-389.
- Canteri-Schemin, M. H., Fertonani, H. C. R., Waszczynskyj, N., Wosiacki, G.,** 2005. "Extraction of pectin from apple pomace". *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(2), 259-266.
- Cevik, M., Icier, 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.
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., Abert-Vian, M.,** 2017. "Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review". *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540-560.
- Chen, H.,** 2014. "Chemical Composition and Structure of Natural Lignocellulose". *Biotechnology of Lignocellulose*, 25-71.
- Choi, Y., Okos, M. R.,** 1986. "Effects of temperature and composition on the thermal conductivity and thermal diffusivity of some food components". *Journal of Food Process and Applications*, 1(1), 93-101.
- Cilingir, S., Goksu, A., Sabanci, S.** 2021. "Production of Pectin from Lemon Peel Powder Using Ohmic Heating-Assisted Extraction Process". *Food and Bioprocess Technology*, 14(7), 1349-1360.
- Coelho, M., Pereira, R., Rodrigues, A. S., Teixeira, J. A., Pintado, M. E.,** 2019. "Extraction of tomato by-products' bioactive compounds using ohmic technology". *Food and Bioproducts Processing*, 117, 329-339.
- Cokgezme, O.F., Sabanci, S., Cevik, M., Yildiz, H., Icier, F.,** 2017. "Performance analyses for evaporation of pomegranate juice in ohmic heating assisted vacuum system". *Journal of Food Engineering*, 207.
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., Turner, R. H.,** 2008. "Fundamentals of thermal-fluid sciences" (3. bs). Tata McGraw - Hill Education.
- 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.
- Flórez, N., Conde, E., Domínguez, H.,** 2015. "Microwave assisted water extraction of plant compounds". *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 90(4), 590-607.

- Flutto, L.**, 2003. "Pectin | Food Use". İçinde B. B. T.-E. of F. S. and N. (Second E. Caballero (Ed.) (ss. 4449-4456). Oxford: Academic Press.
- Gavahian, M., Farahnaky, A., Javidnia, K., Majzoobi, M.**, 2012. "Comparison of ohmic-assisted hydrodistillation with traditional hydrodistillation for the extraction of essential oils from *Thymus vulgaris* L.". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 14, 85-91.
- Guo, X., Han, D., Xi, H., Rao, L., Liao, X., Hu, X., Wu, J.**, 2012. "Extraction of pectin from navel orange peel assisted by ultra-high pressure, microwave or traditional heating: A comparison". *Carbohydrate Polymers*.
- Güzel, M., Akpınar, Ö.**, 2017. "Turunçgil Kabuklarından Elde Edilen Pektinlerin Karakterizasyonu ve Karşılaştırılması". *Akademik Gıda*.
- Güzel, M., Akpınar, Ö.**, 2019. "Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectins from fruit peels". *Food and Bioproducts Processing*.
- Hosainpour, A., Darvishi, H., Nargesi, F., Fadavi, A.**, 2014. "Ohmic pre-drying of tomato paste". *Food Science and Technology International*, 20(3), 193-204.
- Icier, F., Ilicali, C.**, 2004. "Electrical conductivity of apple and sourcherry juice concentrates during ohmic heating". *Journal of Food Process Engineering*, 27(3), 159-180.
- Icier, F., Ilicali, C.**, 2005. "Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating". *Food Research International*, 38(10), 1135-1142.
- Icier, 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.
- Icier, F.**, 2011. "Ohmic Heating of Fluid Foods". *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*, 305-367.
- Icier, F., Colak, N., Erbay, Z., Kuzgunkaya, E. H., Hepbasli, A.**, 2010. "A Comparative Study on Exergetic Performance Assessment for Drying of Broccoli Florets in Three Different Drying Systems". *Drying Technology*, 28(2), 193-204.
- Icier, F., Colak, N., Erbay, Z., Kuzgunkaya, E. H., Hepbasli, A.**, 2010. "A Comparative Study on Exergetic Performance Assessment for Drying of Broccoli Florets in Three Different Drying Systems". *Drying Technology*, 28(2), 193-204.
- Icier, F., Ilicali, C.**, 2004. "Electrical conductivity of apple and sourcherry juice concentrates during ohmic heating". *Journal of Food Process Engineering*.
- Icier, F., Yildiz, H., Sabanci, S., Cevik, M., Cokgezme, OF.**, 2017. "Ohmic heating assisted vacuum evaporation of pomegranate juice: Electrical conductivity changes". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 241-246.

- Jittanit, W., Khuenpet, K., Kaewsri, P., Dumrongpongpaiboon, N., Hayamin, P., Jantarangsri, K.,** 2017. "Ohmic heating for cooking rice: Electrical conductivity measurements, textural quality determination and energy analysis". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42, 16-24.
- Kamal, M. M., Ali, M. R., Hossain, A., Shishir, M. R. I.,** 2020. "Optimization of microwave-assisted extraction of pectin from *Dillenia indica* fruit and its preliminary characterization". *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(6), e14466.
- Kanjanapongkul, K.,** 2017. "Rice cooking using ohmic heating: Determination of electrical conductivity, water diffusion and cooking energy". *Journal of Food Engineering*.
- Karakavuk, E., Goksu, A., Sabanci, S.,** 2022. "Investigation of electrical conductivity and bioactive quality during ohmic evaporation process of Apple juice". *Journal of Food Processing and Preservation*, (August), 1-12.
- Kaur, N., Singh, A. K.,** 2016. "Ohmic Heating: Concept and Applications—A Review". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(14), 2338-2351.
- Koh, P. C., Leong, C. M., Noranizan, *. 2014. "Microwave-assisted extraction of pectin from jackfruit rinds using different power levels". *International Food Research Journal*, 21(5), 2091-2097.
- Kuriya, S. P., Silva, R., Rocha, R. S., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Pires, R. P. S., Esmerino, E. A.,** 2020. "Impact assessment of different electric fields on the quality parameters of blueberry flavored dairy desserts processed by Ohmic Heating". *Food Research International*, 134, 109235.
- Lakkakula, N. R., Lima, M., Walker, T.,** 2004. "Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating". *Bioresource Technology*, 92(2), 157-161.
- Loypimai, P., Moongngarm, A., Chottanom, P., Moontree, T.,** 2015. "Ohmic heating-assisted extraction of anthocyanins from black rice bran to prepare a natural food colourant". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*.
- Makroo, H. A., Rastogi, N. K., Srivastava, B.,** 2020, Mart. "Ohmic heating assisted inactivation of enzymes and microorganisms in foods: A review". *Trends in Food Science and Technology*. Elsevier Ltd.
- Marra, F., Zell, M., Lyng, J. G., Morgan, D. J., Cronin, D. A.,** 2009. "Analysis of heat transfer during ohmic processing of a solid food". *Journal of Food Engineering*.
- May, C. D.,** 1997. "Pectins BT - Thickening and Gelling Agents for Food". İçinde A. P. Imeson (Ed.) (ss. 230-261). Boston, MA: Springer US.
- Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Garau, M. C., Meza-Velázquez, J. A., Simal, S., Rosselló, C.,** 2014. "Ultrasound-assisted extraction of pectins from grape pomace using citric acid: A response surface methodology approach". *Carbohydrate Polymers*.

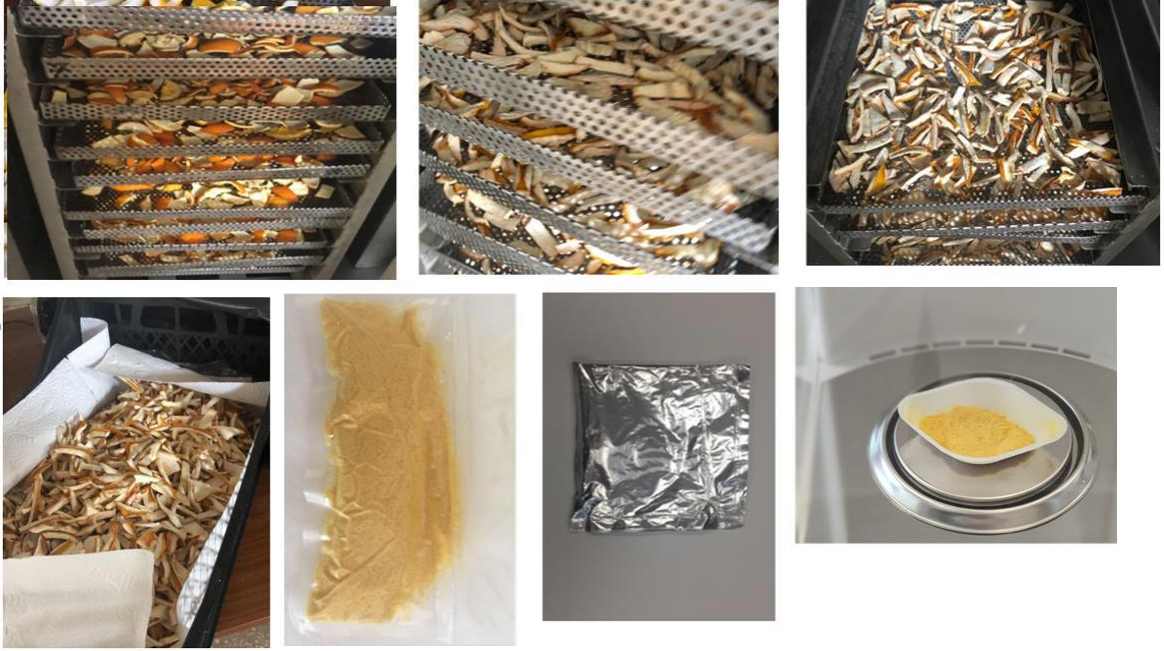
- Mudgil, D.**, 2017. "The Interaction Between Insoluble and Soluble Fiber". İçinde R. A. Samaan (Ed.), *Dietary Fiber for the Prevention of Cardiovascular Disease: Fiber's Interaction between Gut Microflora, Sugar Metabolism, Weight Control and Cardiovascular Health* (ss. 35-59). Academic Press.
- Mukhiddinov, Z. K., Khalikov, D., Abdusamiev, F. T., Avloev, C. C.**, 2000. "Isolation and structural characterization of a pectin homo and ramnagalacturonan". *Talanta*.
- Oliveira, T. Í. S., Rosa, M. F., Cavalcante, F. L., Pereira, P. H. F., Moates, G. K., Wellner, N., Azeredo, H. M. C.**, 2016. "Optimization of pectin extraction from banana peels with citric acid by using response surface methodology". *Food Chemistry*.
- Pereira, R. N., Rodrigues, R. M., Genisheva, Z., Oliveira, H., de Freitas, V., Teixeira, J. A., Vicente, A. A.**, 2016. "Effects of ohmic heating on extraction of food-grade phytochemicals from colored potato". *LWT. Food Science and Technology*.
- Plotka-Wasyłka, J., Rutkowska, M., Owczarek, K., Tobiszewski, M., Namieśnik, J.**, 2017. "Extraction with environmentally friendly solvents". *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 91, 12-25.
- Pootao, S., Kanjanapongkul, K.**, 2016. "Effects of ohmic pretreatment on crude palm oil yield and key qualities". *Journal of Food Engineering*.
- Radoiu, M., Kaur, H., Bakowska-Barczak, A., Splinter, S.**, 2020. "Microwave-Assisted Industrial Scale Cannabis Extraction". *Technologies 2020*, Vol. 8, Page 45, 8(3), 45.
- Ridley, B. L., O'Neill, M. A., Mohnen, D.**, 2001. "Pectins: Structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling". *Phytochemistry*.
- Sabancı, S.**, 2017. "Ohmik Isıtma Destekli Vakum Altında Evaporasyon Sisteminin Kurulumu, Performans Değerlendirmesi, İşlemin Deneysel ve Kuramsal İncelenmesi". *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi, İzmir, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Sabancı, S., Çevik, M., Göksu, A.**, 2021. "Investigation of time effect on pectin production from citrus wastes with ohmic heating assisted extraction process". *Journal of Food Process Engineering*, 44(6), e13689.
- Sabancı, S., İcier, F.**, 2020. "Enhancement of The Performance of Sour Cherry Juice Concentration Process in Vacuum Evaporator by Assisting Ohmic Heating Source". *Food and Bioproducts Processing*.
- Sabancı, S., İcier, F.**, 2017. "Applicability of ohmic heating assisted vacuum evaporation for concentration of sour cherry juice". *Journal of Food Engineering*, 212, 262-270.
- Sabancı, Serdal, İcier, F.**, 2022. "Evaluation of an ohmic assisted vacuum evaporation process for orange juice pulp". *Food and Bioproducts Processing*, 131, 156-163.

- Saberian, H., Hamidi-Esfahani, Z., Ahmadi Gavlighi, H., Banakar, A., Barzegar, M.,** 2018. "The potential of ohmic heating for pectin extraction from orange waste". *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), 1-9.
- Saberian, H., Hamidi-Esfahani, Z., Ahmadi Gavlighi, H., Barzegar, M.,** 2017. "Optimization of pectin extraction from orange juice waste assisted by ohmic heating". *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*.
- Salma, M., Jahan, N., Islam, M., Hoque, M.,** 2014. "Extraction of Pectin from lemon peel: Technology development". *Journal of Chemical Engineering*, 27(2), 25-30.
- Santos, J. D. G., Espeleta, A. F., Branco, A., De Assis, S. A.,** 2013. "Aqueous extraction of pectin from sisal waste". *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1997-2001.
- Sastry, S.,** 2008. "Ohmic Heating and Moderate Electric Field Processing". *Food Science and Technology International*, 14(5), 419-422.
- Sengar, A. S., Rawson, A., Muthiah, M., Kalakandan, S. K.,** 2020. "Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste". *Ultrasonics Sonochemistry*, 61, 104812.
- Sengun, I. Y., Yildiz Turp, G., Icier, F., Kendirci, P., Kor, G.,** 2014. "Effects of ohmic heating for pre-cooking of meatballs on some quality and safety attributes". *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 232-239.
- Sharifi, A., Hamidi-Esfahani, Z., Ahmadi Gavlighi, H., Saberian, H.,** 2022. "Assisted ohmic heating extraction of pectin from pomegranate peel". *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 172, 108760.
- Smith, D. A.,** 2003. "Jams and Preserves | Methods of Manufacture". İçinde B. B. T.-E. of F. S. and N. (Second E. Caballero (Ed.) (ss. 3409-3415). Oxford: Academic Press.
- Thakur, B. R., Singh, R. K., Handa, A. K.,** 1997. "Chemistry and uses of pectin-a review". *Critical reviews in food science and nutrition*, 37(1), 47-73.
- Tharanathan, R. N., Yashoda, H. M., Prabha, T. N.,** 2007. "Mango (*Mangifera indica* L.), "The King of Fruits"—An Overview". <https://doi.org/10.1080/87559120600574493>, 22(2), 95-123.
- Tunç, M. T., Odabaş, H. İ.,** 2021. "Single-step recovery of pectin and essential oil from lemon waste by ohmic heating assisted extraction/hydrodistillation: A multi-response optimization study". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 74, 102850.

- Van Gool, W.**, 1997. "Energy policy: fairy tales and factualities. In Innovation and technology—strategies and policies". Springer Netherlands.
- Wang, S., Chen, F., Wu, J., Wang, Z., Liao, X., Hu, X.**, 2007. "Optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response surface methodology". *Journal of Food Engineering*.
- Wathoni, N., Yuan Shan, C., Yi Shan, W., Rostinawati, T., Indradi, R. B., Pratiwi, R., Muchtaridi, M.**, 2019. "Characterization and antioxidant activity of pectin from Indonesian mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) rind". *Heliyon*, 5(8), e02299.
- Xu, Y., Zhang, L., Bailina, Y., Ge, Z., Ding, T., Ye, X., Liu, D.**, 2014. "Effects of ultrasound and/or heating on the extraction of pectin from grapefruit peel". *Journal of Food Engineering*.
- Yildiz, H., Bozkurt, H., Icier, F.**, 2009. "Ohmic and conventional heating of pomegranate juice: Effects on rheology, color, and total phenolics". *Food Science and Technology International*.
- Zhang, Q. W., Lin, L. G., Ye, W. C.**, 2018. "Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review". *Chinese Medicine*, 13(1), 20.
- Zouambia, Y., Youcef Ettoumi, K., Krea, M., Moulai-Mostefa, N.**, 2014. "A new approach for pectin extraction: Electromagnetic induction heating". *Arabian journal of chemistry*.

EKLER

Ek Resim 1A. Limon kabuğu örneklerinin toz haline getirilmesi aşamaları



Ek Resim 2A. OIDE işlemine ait fotoğraflar



Ek Resim 3A. Ekstraksiyon amacıyla kurulan test hücresi

