

Limón Kabuğu Tozundan Farklı Asit Türleri Kullanılarak Ohmik Isıtma Destekli Ekstraksiyon Yöntemi ile Pektin Üretiminin İncelenmesi

Mutlu Çevik^{1*}, Serdal Sabancı², Ali Göksu³

¹Munzur Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Tunceli, Türkiye

²Munzur Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Tunceli, Türkiye

³Munzur Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Tunceli, Türkiye

* mutlucevik3538@hotmail.com^{ID}, serdalsabanci@hotmail.com^{ID}, agoksu@munzur.edu.tr^{ID}

Makale gönderme tarihi:21.08.2022, Makale kabul tarihi:23.11.2022

Öz

Gelişen teknolojik durumlara bağlı olarak, insanların alternatif ısıtma yöntemleri kullanma eğilimleri artmaktadır. Mevcut çalışmada, limon kabuğu tozundan, 3 farklı asit türü (sülfirik, hidroklorik ve nitrik asit) kullanılarak ayarlanmış sabit pH 1.5 değerinde, sabit katı:sıvı oranında (1:40) ve 10 V/cm voltaj gradyanında 20 °C den 80 °C ye kadar ısıtılması ve 80 °C ekstraksiyon sıcaklığında 10 dakikalık işlem süresi sonunda elektriksel iletkenlik değerinin değişimini ve asit türünün pektin verimi üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda, örneklerin ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sisteminde ısınma sürelerinin 199 ile 252 s arasında değiştiği, elektriksel iletkenlik değerinin ise 0.89 ile 2.10 S/m arasında değiştiği belirlenmiştir. Ek olarak, sıcaklık değeri arttıkça 3 farklı asit türü içinde elektriksel iletkenlik değerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi kullanılarak 3 farklı asit türü için % pektin verimi değerlerinin %8.88 ile %10.72 arasında değiştiği ve en yüksek pektin veriminin sülfirik asit çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminde elde edilmiştir. Farklı asit türü kullanımının ısınma süresi, elektriksel iletkenlik ve pektin verimi üzerine anlamlı bir etkiye sahip olduğu (p<0.05), ancak ısınma enerjisi ve toplam harcanan enerji değerleri üzerine ise anlamlı bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). Elde edilen bulgular sonucunda ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sistemi kullanılarak pektin ekstraksiyon işleminin başarılı bir şekilde yapılabileceği tespit edilmiştir. Güncel ısıtma yöntemlerinin bu tarz ürünlerin ekstraksiyonunda kullanılmasının literatüre ciddi katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekstraksiyon, elektriksel iletkenlik, hidroklorik asit, nitrik asit, sülfirik asit

Investigation of Pectin Production by Ohmic Heating Assisted Extraction Method Using Different Types of Acids from Lemon Peel Powder

Abstract

Depending on the developing technology, people's use of alternative heating methods is increasing. In the present study, a solution of lemon peel powder prepared with 3 different acids (sulphuric, hydrochloric, and nitric acid) was heated from 20 °C to 80 °C at a constant pH of 1.5, solid: liquid ratio (1:40), and a voltage gradient of 10 V/cm. It is aimed to investigate the change of electrical conductivity value and the effect of acid type on pectin yield at the end of 10 minutes of processing time at 80 °C extraction temperature. As a result of the experiments, the heating times of the samples in the ohmic heating-assisted extraction system varied between 199 and 252 s, and the electrical conductivity values varied between 0.89 and 2.10 S/m. In addition, the electrical conductivity value increased in 3 different acid types as the temperature value increased. Also, pectin yield values for 3 different acid types varied between 8.88% and 10.72%, and the highest pectin yield was obtained in the extraction process obtained from the solution prepared with sulfuric acid. It was determined that the use of different acid types had a significant effect on the heating time, electrical conductivity, and pectin yield (p<0.05) but did not have a significant effect on the heating energy and total consumed energy (p>0.05). According to the results, it has been determined that pectin extraction can be done successfully using the ohmic heating-assisted extraction system. It is expected that the data obtained from the use of current heating methods in the extraction of such products will make a serious contribution to the literature.

Keywords: Extraction, electrical conductivity, hydrochloric acid, nitric acid, sulphuric acid

GİRİŞ

Dünya limon üretimi 2020 yılında 1188517 tonu Türkiye'de olmak üzere 21353502 ton olarak gerçekleşmiş ve bu değer ile Türkiye dünyada en çok limon üreten ülkeler sıralamasında altıncı sırada yer almıştır (FAO, 2020). Ayırma işlemlerinde en çok tercih edilen yöntemlerden birisi ekstraksiyon işlemidir. Bir veya daha fazla değerli maddenin katı ve/veya sıvı haldeki bir çözücü ile uzaklaştırılması olayı olarak da kısaca açıklanabilir (Geankoplis, 2003). Pektin; yeşil olmayan bitkilerin ve meyvelerin hücre duvarlarında bulunan galakturonik asit moleküllerinin birbirlerine düz zincir halinde birleşmesi ile oluşan kompleks polisakkarit yapıdaki bir maddedir. Ticari olarak pektin; elma ve turuncgil kabuklarının posasından ekstraksiyon yöntemi ile elde edilmekte ve suda çözünebilir bir forma sahiptir (Tektaş Taşan ve Akpınar, 2020). Pektinler jel oluşturabilme özelliğinden dolayı reçel ve jöle yapımında, kıvam arttırıcı özelliğinden dolayı salça ve krem peyniri gibi gıdalarda katkı maddesi olarak ve meyve tadını arttırıcı etkisinden dolayı da meyveli yoğurtlarda tercih edilmektedir (De Vries ve ark., 1986). Geleneksel olarak asidik ortamda hedef ekstraksiyon sıcaklığına getirilen pektin içeren kabuklar daha sonra bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilerek ekstraksiyon işlemi tamamlanmaktadır. Geleneksel ekstraksiyon işlemlerinde, yüksek ısı işlem ve ekstraksiyon süresinin uzun olması ile kalite kayıpları meydana gelmektedir. Ek olarak, geleneksel ekstraksiyon işlemlerinin atık su oluşumu, kalite kayıpları ve düşük enerji verimliliği gibi dezavantajlara sahip olması nedeniyle, literatürde alternatif yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon çalışmalarının giderek arttığı gözlemlenmektedir (Bélafi-Bakó ve ark., 2011; Çilingir ve ark., 2021; Gavahian ve ark., 2021; Tektaş Taşan ve Akpınar, 2020). Bu alternatif yöntemler arasında ultrases, vurgulu elektrik alan ve hidrostatik basınç gibi ısı olmayan tekniklerin yanı sıra mikrodalga ve ohmik ısıtma gibi alternatif elektriksel ısıtma yöntemleri de yer almaktadır (Gavahian ve ark., 2021; Sarah ve ark., 2018; Yang ve ark., 2019). Mevcut çalışmada ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi kullanılarak limon kabuğu tozundan pektin üretiminin yapılması planlanmıştır.

Ohmik ısıtma işlemi ayrıca literatürde joule ısıtma, elektriksel direnç ısıtma veya doğrudan elektriksel direnç ısıtma gibi isimlerle adlandırılmaktadır. Ohmik ısıtma işlemi; iki elektrot

arasında bulunan gıda maddesinden alternatif akım geçirilerek ürün içerisinde ısı jenerasyonunun meydana gelmesine ve bunun sonucunda da ürünün ısıtılması prensibine dayanmaktadır. Ayrıca ohmik ısıtma işlemi hızlı, homojen ve verimli ısıtma olarak da bilinmektedir (İcier, 2012). Ohmik ısıtma işlemi gıda maddelerinin ısıtılması, pastörizasyonu, sterilizasyonu, ekstraksiyonu, haşlaması, evaporasyonu ve pişirilmesi amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Arıç Sürme ve Sabancı, 2021; Baysal ve ark., 2011; Cevik ve İcier, 2021; Göksu ve ark., 2022; İcier ve ark., 2017a;2017b; Sabancı, 2020). Yazarların bilgisi dahilinde ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile pektin eldesi konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, güncel elektriksel ısıtma tekniklerinden olan ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile farklı asit türleri kullanılarak pektin üretiminin yapılması planlanmıştır.

Bu çalışmada, limon kabuğu tozundan 3 farklı asit çözeltisi (sülfirik, hidroklorik ve nitrik asit) içerisinde sabit pH, voltaj gradyanı, ve katı:sıvı oranında 80 °C sabit ekstraksiyon sıcaklığında 10 dakika ekstraksiyon işleminin gerçekleştirilmesi ve farklı asit türünün pektin verimi ve elektriksel iletkenlik (Eİ) değerleri üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

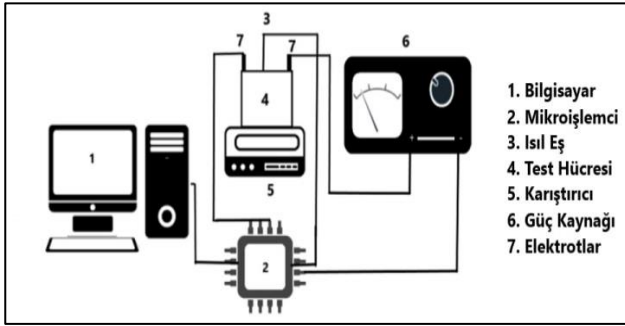
Materyal

Ohmik ısıtma ile ekstraksiyon işleminde pektin üretmek için limon kabuğu tozları kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan limonlar yerel bir manavdan temin edilmiştir ve bir dize işleme tabi tutulmuştur. Bunlar sırasıyla yıkama, kurulama, ayıklama, soyma ve dilimleme işlemleridir. Daha sonra elde edilen limon kabukları 55 °C'de tepsili kurutucuda (TK 10 Lab Model, Eksis Makine, Türkiye) 24 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutulan örnekler çekiçli değirmen (Armfield, İngiltere) yardımıyla toz haline getirilmiş ve 500 mikron elekten geçirilerek limon kabuğu tozu elde edilmiştir. Limon tozu örnekleri 30 g'lık vakumlanabilir poşetler içerisinde vakum makinesi (Lipovak, MV-20/30 Türkiye) yardımı ile vakumlanmıştır. Vakumlanan poşetli örneklerin ışıktan muhafaza edilmesi amacıyla da alüminyum kaplı polietilen folyolar ile kaplanmış ve ekstraksiyon işleminde kullanılmaya kadar serin bir ortamda depolama işlemine tabii tutulmuştur.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1165072

Ohmik Isıtma Destekli Ekstraksiyon Yöntemi

Ekstraksiyon işleminde kullanılan ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sisteminin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Ohmik ısıtma sistemi bilgisayar, test hücresi, elektrotlar, güç kaynağı, özel yapım mikroişlemci ve T-tipi ısı eşlerinden (Cole Parmer, İngiltere) oluşmaktadır. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sisteminde 0-360 V çalışma aralığına sahip hassas ayarlanabilir bir varyak sistemi kullanılmıştır. Kullanılan test hücresinin boyutları 70×70×60 mm olup polioksimetilen (POM) malzemeden yapılmış ve 60×1×150 mm boyutlarında titanyum elektrotlar kullanılmıştır. Ekstraksiyon işlemi sırasında sıcaklık, voltaj ve akım değerlerini aynı anda kaydetmek için özel olarak tasarlanmış bir mikroişlemci kullanılmıştır.



Şekil 1. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon sisteminin şematik gösterimi

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi, sabit voltaj gradyanında (10 V/cm), sabit ekstraksiyon sıcaklığı (80°C) ve pH'ı 1.5 değerine sülfirik (H₂SO₄), hidroklorik (HCl) ve nitrik asit (NH₃) ile ayarlanmış 120 ml'lik çözelti içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işleminde, limon kabuğu tozu örnekleri sabit katı:sıvı oranında (1:40 g/ml) ve sabit bekleme süresinde (10 dakika) ekstraksiyon işlemine tabii tutulmuştur. Ekstraksiyon işlemi boyunca temaslı sıcaklık geçmişi izole edilmiş T tipi (Cole Parmer, İngiltere) ısı eşleri kullanılarak alınmış ve özel tasarım bir mikroişlemci yardımıyla veriler kaydedilmiştir. 80 °C ekstraksiyon sıcaklığına kadar ısıtılan örnek daha sonra aç-kapa yapılarak sabit sıcaklık (80°C) değerinde tutulmuştur. Ekstraksiyon işlemi sırasında örnekler içerisinde topaklanmayı önlemek amacıyla manyetik karıştırıcı yardımıyla 100 rpm'de karıştırma işlemi uygulanmıştır.

Pektin Ekstraksiyonu

Pektin elde etmek amacıyla limon kabuğu tozu örnekleri ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemine maruz bırakılmıştır. Ekstraksiyon işlemi sabit voltaj gradyanında (10 V/cm), sabit ekstraksiyon sıcaklığı (80°C) ve pH'ı 1.5 değerine sülfirik (H₂SO₄), hidroklorik (HCl) ve nitrik asit (NH₃) ile ayarlanmış 120 ml'lik çözelti içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işlemi sonunda erlene alınan numuneler, ilk önce buzdolabında (+4°C ortam koşullarında) soğutulmuştur. Daha sonra 6000 rpm de çalışan soğutmalı santrifüj (Centurion Scientific, K241R, İngiltere) ile 15 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Elde edilen sıvı kısım, 500 ml erlenlere alınmış ve üzerine 120 ml %96 (v/v) etanol eklenerek +4°C'de 2.5 saat bekletilmiştir. Daha sonra çöktürülmüş pektin çözeltilerinde kalan kirliliklerin uzaklaştırılması için 1 kez %70 etanol %0.5 HCl çözeltisi ile yıkanmış ve sonra 60 ml %96 etanol çözeltisi ile de iki kez daha yıkama işlemine tabii tutulmuştur. Daha sonra elde edilen nemli pektinler 50°C'de kurutma ortamında 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 elde edilen pektinlerin kütlesi mg cinsinden tespit edilmiş ve pektin verimi Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Pektin\ verimi\ (\%) = \frac{Pektin\ ağırlığı}{Örnek\ ağırlığı} \times 100 \quad (1)$$

Efektif Elektriksel İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile pektin üretimi sırasında elektriksel iletkenlik (Eİ) değerlerindeki değişim Eşitlik 2 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$Elektriksel\ iletkenlik\ \left(\frac{S}{m}\right) = \frac{I}{V} \times \frac{L}{A} \quad (2)$$

Burada I, V, L ve A değerleri sırasıyla akım (A), voltaj (V), iki elektrot arasındaki mesafeyi (m) ve elektrot temas yüzey alanını (m²) temsil etmektedir.

Isınma ve Toplam Harcanan Enerji Değerlerinin Belirlenmesi

Farklı işlem koşullarında uygulanan ekstraksiyon işlemi boyunca gerekli olan ısınma enerjisi (Eşitlik 3) ve ekstraksiyon işlemi boyunca harcanan toplam enerji (Eşitlik 4) miktarı özel tasarım kapalı çevrim mikroişlemci yardımıyla tespit edilmiştir. Isınma ve toplam harcanan enerji miktarı; voltaj (V, volt) ve akım (I, amper) değerleri kullanılarak Eşitlik 3 ve 4 yardımı ile Joule cinsinden belirlenmiştir.

$$\text{Isınma Enerjisi (J)} = \Sigma VIt_{\text{ısınma}} \quad (3)$$

$$\text{Toplam Harcanan Enerji (J)} = \Sigma VIt_{\text{ısınma+ekstraksiyon}} \quad (4)$$

Burada, V voltaj (volt) ve I akım (amper), $t_{\text{ısınma}}$ ısınma için geçen süreyi (s), $t_{\text{ısınma+ekstraksiyon}}$ ise ısınma ve ekstraksiyon için geçen toplam süreyi (s) ifade etmektedir.

İstatistiksel Değerlendirme

Sonuçların istatistiksel değerlendirmesi SPSS 23 (IBM, 2015, USA) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı üretim koşullarının etkisi tek yönlü varyans analizi kullanılarak Duncan testi ile belirlenmiştir. Güven düzeyi %95 olarak alınmış ve her bir analiz en az 3 tekerrür halinde yapılmıştır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Isınma Süresi ve Sıcaklık Değerlerindeki Değişim

Limon kabuğu tozundan 3 farklı asit çözeltisi (sülfürik, hidroklorik ve nitrik asit) ortamındaki üretim koşulları dikkate alınarak pektin üretiminin 20 °C'den 80 °C'ye kadar ısınma süresi ve ortalama sıcaklık değişimleri Tablo 1'de verilmiştir. Hedef sıcaklığa ulaşması için gerekli olan ısınma süresi, sülfürik asit için 210±9.4 saniye olduğu, hidroklorik asit için 252±10.2 saniye olduğu ve nitrik asit için ise 199±8.6 saniye arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 1; p<0.05). En uzun ısınma süresi 252 s ile HCl asit çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminde, en kısa ısınma süresi ise 199 s ile HNO₃ asit çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminde elde edilmiştir. Ekstraksiyon işleminde farklı asit türü kullanımının ısınma süresi üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 1; p<0.05).

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi kullanılarak pektin ekstraksiyonu sırasında ısınma süresi ve 10 dakikalık işlem sonunda harcanan enerji değerleri de Tablo 1'de verilmiştir. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi için gerekli ısınma enerjisinin 38967-40097 J arasında değiştiği ve kullanılan farklı asit türünün ısınma için gerekli olan enerji değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa sahip olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 1; p>0.05). Ek olarak, toplam harcanan enerji değerlerinin ise 58756-59428 J arasında değiştiği ve farklı asit türü kullanımının toplam harcanan enerji değerleri üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa sahip olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 1; p>0.05).

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi süresince sıcaklık dağılımları incelenmiş ve ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi boyunca farklı asit ortamındaki sıcaklık değerlerindeki değişim Şekil 2'de verilmiştir. Tüm bunlara ek olarak, ekstraksiyon işlemi boyunca farklı üretim şartlarına ait sıcaklık değerlerindeki değişiminin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Şekil 2 de görüleceği üzere, ekstraksiyon sıcaklıklarının 80±0.7 °C civarında olduğu ve kontrollü bir ekstraksiyon işlemi sağlandığı tespit edilmiştir.

Literatürde bulunan benzer çalışmalar incelendiğinde, Saberian ve ark., (2017) yapmış olduğu portakal suyu atığından pektin üretimi ekstraksiyon çalışmasında, 1:20 g/ml katı:sıvı oranı, pH:2 hidroklorik asit çözeltisi ve 7-15 V/cm voltaj gradyanı için yaklaşık 20°C'deki örneği 90°C'ye ısıtmışlar ve sabit ekstraksiyon sıcaklığında 5-30 dakika arasında bekletmişlerdir. İşlem sonucunda, 15 V/cm voltaj gradyanında örneğin 90°C sıcaklığa 72 s de ulaştığını rapor etmişlerdir. Ek olarak, araştırmacılar ekstraksiyon işlemi boyunca ekstraksiyon sıcaklığının yaklaşık olarak 89-91°C arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Benzer olarak bu çalışmada da ekstraksiyon süresi boyunca çözelti sıcaklığının ±1°C aralığında değiştiği belirlenmiştir. Başka bir çalışmada ise, farklı narenciye kabuklarından (greyfurt, limon ve portakal) 80°C sabit ekstraksiyon sıcaklığında pektin eldesi sırasında ekstraksiyon süresi boyunca çözelti sıcaklığının ±1°C aralığında değiştiği bildirilmiştir (Sabancı ve ark., 2021). Güncel diğer bir çalışmada ise, limon kabuğu tozundan farklı sıcaklık (70-90°C) ve ekstraksiyon sürelerinde (0-30 dakika) pektin eldesi sırasında

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1165072

ekstraksiyon işlemi boyunca çözelti sıcaklığının $\pm 1^\circ\text{C}$ aralığında değiştiği rapor edilmiştir (Çilingir ve ark., 2021).

Elektriksel İletkenlik (Eİ) Değerlerinin Değişimi

Elektriksel iletkenlik (Eİ) değeri ohmik ısıtma uygulamalarının en önemli parametrelerin başında gelmektedir ve pek çok araştırmacı farklı işlemlerde elektriksel iletkenlik değerindeki değişimleri detaylı bir şekilde incelemişlerdir (Cevik ve İcier, 2018; İcier, 2012; İcier ve ark., 2017). Ohmik ısıtma çalışmalarının geneli incelendiğinde sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerlerinin artış gösterdiği ve sıcaklık ile elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki olduğu farklı çalışmalarda da rapor edilmiştir (Cevik, 2021; İcier ve İlicali, 2005; Sabancı, 2021; Tunç ve Odabaş, 2021). Bu çalışmada, limon tozu ve asit çözeltisi içeren karışımların 20°C 'den 80°C 'ye kadar ısıtılması sırasında farklı asit içeren ekstraksiyon çözeltilerinin Eİ değerlerindeki değişim Şekil 3'te verilmiştir. Ekstraksiyon çözeltilerinin Eİ değerleri sülfürik asit çözeltisi için 1.24-1.61 S/m arasında, hidroklorik asit çözeltisi için 0.89-1.61 S/m arasında ve nitrik asit çözeltisi için ise 1.23-2.10 S/m arasında değiştiği belirlenmiştir. Kullanılan asit türüne bağlı olarak moleküler hareketlilik ve/veya iyonik hareketlilikte değişimler meydana gelmiş ve böylece Eİ değerleri arasında farklılıkların oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak ekstraksiyon işleminde çözeltinin ısınması sırasında farklı asit türü kullanımının elektriksel iletkenlik değerleri üzerine anlamlı bir farklılığa neden olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3; $p < 0.05$).

Pektin Verimi Değerlerinin Değişimi

Farklı asit türleri kullanılarak sabit voltaj gradyanı (10 V/cm), sabit katı sıvı oranı (1:40 g/ml) ve sabit pH (pH 1.5) değerinde ohmik ısıtma işlemi kullanılarak 80°C 'de yapılan ekstraksiyon işleminde elde edilen pektin verimi değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Bu koşullarda elde edilen pektin verimi sülfürik asit çözeltisi için 10.79 ± 0.89 , hidroklorik

asit çözeltisi için 8.88 ± 1.0 ve nitrik asit çözeltisi için ise 10.74 ± 0.95 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4). Pektin verimi üzerine farklı asit türü kullanımının etkisi incelendiğinde, en yüksek % pektin verimi sülfürik asit ile elde edilirken, en düşük % pektin verimi ise HCl çözeltisi ile yapılan ekstraksiyon işleminde elde edilmiştir ($p < 0.05$). Ancak pektin verimi üzerine nitrik asit çözeltisi ve sülfürik asit çözeltisi kullanımının istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa sahip olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Sengar ve ark. (2020) yapılan çalışmada, domates işleme atıklarından farklı ekstraksiyon teknikleri kullanılarak pektin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi sonunda en yüksek pektin verimi değerlerini 10.65 ile 60 V, 5 dk bekleme süresi ve 81°C ekstraksiyon sıcaklığını koşullarında elde etmişlerdir. Güncel başka bir çalışmada ise (Sabancı ve ark., 2021), limon kabuğu tozundan sabit ekstraksiyon sıcaklığı (80°C), sabit voltaj gradyanı (9 V/cm), sabit katı:sıvı oranında (1:40 g/ml), sülfürik asit ile ayarlanmış sabit pH (1.0) değerinde ve farklı bekleme süreleri (0, 5, 15, 30, 60, 120 ve 180 dakika) kullanılarak gerçekleştirdikleri ekstraksiyon işlemleri sonunda örneklerin pektin verimi değerlerinin 8.45 ile 14.06 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde bu çalışmada da sülfürik asit çözeltisi ile ekstrakte edilen örneklerin pektin verimi değerlerinin araştırmacıların rapor ettiği değerler ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

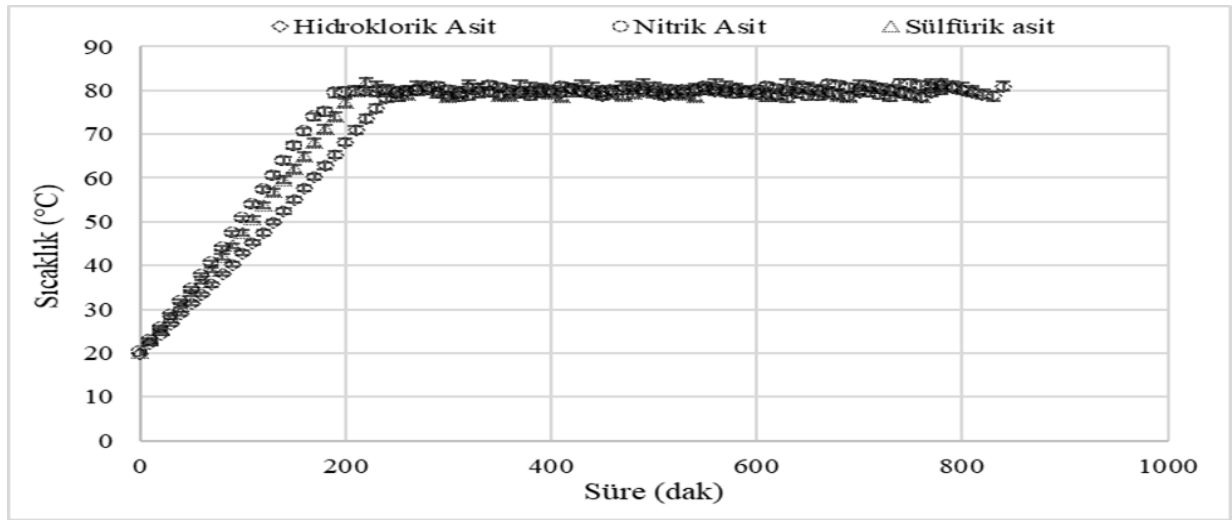
Diğer bir çalışmada ise (Saberian ve ark., 2017), portakal kabuğu tozundan hidroklorik asit ile ayarlanmış sabit pH (2.0) değerinde, sabit katı:sıvı oranında (1:20 g/ml), farklı ekstraksiyon sıcaklığı (50 , 70 ve 90°C), farklı voltaj gradyanı (7, 11 ve 15 V/cm), ve farklı bekleme süreleri (7, 17.5 ve 30 dakika) kullanılarak pektin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işlemi sonunda en yüksek pektin verimi değerinin (14.32 g/100 g kuru madde) 15 V/cm voltaj gradyanında, 90°C ekstraksiyon sıcaklığı ve 30 dakikalık bekleme süresi sonunda elde edildiğini bildirmişlerdir.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1165072

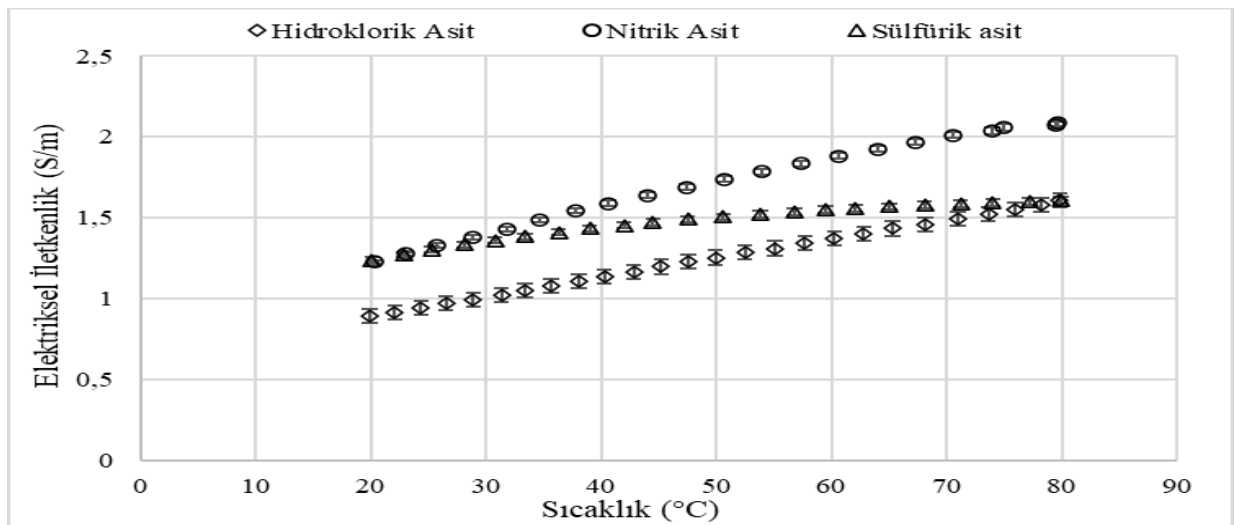
Tablo 1. Farklı asit türleri kullanılarak ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemine ait pektin örneklerinin ısınma süresi, ortalama sıcaklık, ısınma enerjisi ve toplam harcanan enerji değerleri

Asit Türü (pH 1.5)	Isınma Süresi (s)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Isınma Enerjisi (J)	Toplam Harcanan Enerji (J)
HCl	252±10.2 ^b	79.75±0.69 ^a	39007±1087 ^a	58756±1826 ^a
HNO ₃	199±8.6 ^a	79.98±0.72 ^a	40097±986 ^a	59116±1248 ^a
H ₂ SO ₄	210±9.4 ^a	80.02±0.98 ^a	38967±1426 ^a	59428±2196 ^a

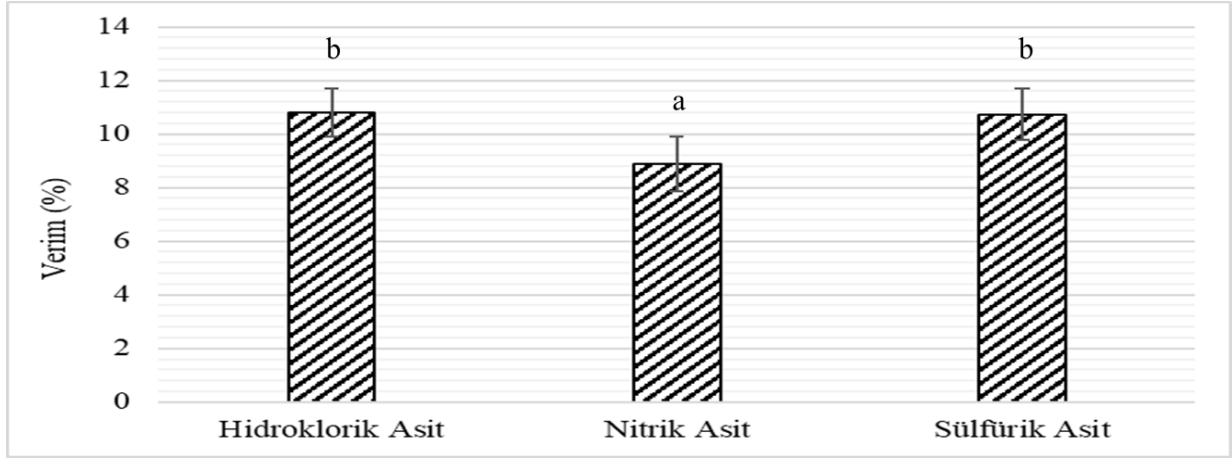
^{a,b,c} Aynı sütundaki farklı harflendirmelerin, ilgili değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmaktadır (p<0.05)



Şekil 2. Farklı asit türleri kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemlerinde ekstraksiyon işlemi boyunca zamana bağlı sıcaklık değerlerindeki değişim



Şekil 3. Farklı asit türleri kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemlerinde sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişim



Şekil 4. Farklı asit türleri kullanılarak elde edilen pektin verimi değerlerindeki değişim

SONUÇLAR

Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi ile sabit voltaj gradyanı, sabit katı:sıvı oranı ve farklı asit türleri ile ayarlanmış sabit pH 1.5 değerinde 10 dakika bekleme süresi sonunda limon kabuğu tozundan pektin üretimi gerçekleştirilmiştir. Isınma süresi üzerine kullanılan farklı asit türünün etkisi olduğu ve sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Ancak kullanılan farklı asit türünün hedef ekstraksiyon sıcaklığına ulaşması için gerekli olan ısınma enerjisi ve toplam ekstraksiyon işlem süresi için toplam harcanan enerji değeri üzerine etkisi olmadığı belirlenmiştir. Ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon işlemi sonunda % pektin verimi üzerine kullanılan farklı asit türünün etkisi olduğu ve en yüksek pektin veriminin (%10.79) ise sülfürik asit çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminde elde edildiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar farklı atık maddeleri için ekstraksiyon işlemlerinde farklı asit çözeltisi kullanımının etkisini ortaya koyması açısından son derece önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2180135 nolu proje kapsamında finansal olarak desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Ariç Sürme, S. ve Sabancı, S., (2021). The usage of ohmic heating in milk evaporation and evaluation of electrical conductivity and performance analysis. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(9), e15522. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15522>
- Baysal, T., İçier, F. ve Baysal, H.A., (2011). Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri İzmir, 1. Basım. Sidas Medya Yayınları.
- Bélafi-Bakó, K., Cserjési, P., Beszedes, S., Csanádi, Z. ve Hodúr, C., (2011). Berry Pectins: Microwave-Assisted Extraction and Rheological Properties. *Food and Bioprocess Technology* 2011 5:3, 5(3), 1100–1105. <https://doi.org/10.1007/S11947-011-0592-9>
- Cevik, M. ve İcier, F., (2018). Effects of voltage gradient and fat content on changes of electrical conductivity of frozen minced beef meat during ohmic thawing. *Journal of Food Process Engineering*, 41(4), 1–13. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12675>
- Cevik, M., (2021). Electrical conductivity and performance evaluation of verjuice concentration process using ohmic heating method. *Journal of Food Process Engineering*, 44(5), e13672. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13672>
- Cevik, M.ve İcier, F., (2021). Comparison of quality attributes of minced beef samples thawed by ohmic and conventional methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2), e15122. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15122>
- Çilingir, S., Goksu, A.ve Sabancı, S., (2021). Production of Pectin from Lemon Peel Powder Using Ohmic

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1165072

- Heating-Assisted Extraction Process. *Food and Bioprocess Technology*, 14(7), 1349–1360. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02636-9>
- De Vries, J.A., Hansen, M., Söderberg, J., Glahn, P.E. ve Pedersen, J.K., (1986). Distribution of methoxyl groups in pectins. *Carbohydrate Polymers*. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(86\)90017-2](https://doi.org/10.1016/0144-8617(86)90017-2)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Retrieved May 3, 2020, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC..>
- Gavahian, M., Mathad, G.N., Pandiselvam, R., Lin ve J. Sun, D.W., (2021). Emerging technologies to obtain pectin from food processing by-products: A strategy for enhancing resource efficiency. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 42–54. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.06.018>
- Geankoplis, C.J., (2003). *Transport processes and separation process principles* (5. Basım; C. J. Geankoplis, Ed.). New Jersey: Pearson.
- Goksu, A., Duran, G., Çilingir, S., Cevik, M. ve Sabanci, S., (2021). Performance evaluation of pectin extraction from grapefruit peel powder by ohmic heating. *Journal of Food Processing and Preservation*, e16813. <https://doi.org/10.1111/JFPP.16813>
- İçier, F., (2012). Ohmic Heating of Fluid Foods. In *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies For Fluid Foods* (pp. 305–367). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381470-8.00011-6>
- İçier, F. ve Ilicali, C., (2005). The effects of concentration on electrical conductivity of orange juice concentrates during ohmic heating. *European Food Research and Technology*, 220(3–4), 406–414. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1043-x>
- Icier, F., Yildiz, H., Sabanci, S., Cevik, M. ve Cokgezme, O.F., (2017a). Ohmic heating assisted vacuum evaporation of pomegranate juice: Electrical conductivity changes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.014>
- Icier, F., Cokgezme, O.F. ve Sabanci, S., (2017b). Alternative thawing methods for the blanched/non-blanched potato cubes: Microwave, Ohmic, and carbon fiber plate assisted cabin thawing. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12403. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12403>
- Sabanci, S., (2020). Investigation of Electrical Conductivity Value and Cooking Homogeneity During Ohmic Cooking of Turkish Sausage. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 6(2), 219-226. <https://doi.org/10.29132/ijpas.788791>
- Sabanci, S., (2021). A study on electrical conductivity and performance evaluation of ohmic evaporation process of grape juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5), e15487. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15487>
- Sabanci, S., Çevik, M. ve Gökso, 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), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13689>
- Saberian, H., Hamidi-Esfahani, Z., Ahmadi Gavlighi, H. ve Barzegar, M., (2017). Optimization of pectin extraction from orange juice waste assisted by ohmic heating. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 117, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2017.03.025>
- Sarah, M., Hanum, F., Rizky, M. ve Hisham, M.F., (2018). Microwave-assisted extraction of pectin from cocoa peel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/122/1/012079>
- Sengar, A.S., Rawson, A., Muthiah, M. ve Kalakandan, S.K., (2020). Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste. *Ultrasonics Sonochemistry*, 61, 104812. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104812>
- Tektaş Taşan, N. ve Akpınar, Ö., (2020). Greyfurt Kabuklarından Mikrodalga Destekli Pektin Ekstraksiyonu ve Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(7), 1528–1535. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i7.1528-1535.3401>
- Tunç, M.T. ve 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 and Emerging Technologies*, 74(August). <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102850>
- Yang, J.S., Mu, T.H. ve Ma, M.M., (2019). Optimization of ultrasound-microwave assisted acid extraction of pectin from potato pulp by response surface methodology and its characterization. *Food Chemistry*, 289, 351–359. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.03.027>