



ZERDEÇALIN SU İLE EKSTRAKSİYONUNDA ULTRASES İŞLEMİNİN ETKİSİ VE ELDE EDİLEN EKSTRAKTIN PÜSKÜRTEREK KURUTMA YÖNTEMİYLE ENKAPSÜLASYON KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU

Keziban Kübra Güngör, Gülderen Coşgun, Merve Özdemir, Mehmet Torun*
Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

Geliş / Received: 01.10.2021; Kabul / Accepted: 27.01.2022; Online baskı / Published online: 14.02.2022

Güngör, K.K., Coşgun, G., Özdemir, M., Torun, M. (2022). Zerdeçalın su ile ekstraksiyonunda ultrases işleminin etkisi ve elde edilen ekstraktın püskürterek kurutma yöntemiyle enkapsülasyon koşullarının optimizasyonu. *GIDA* (2022) 47 (1) 107-120 doi: 10.15237/gida.GD21129

Güngör, K.K., Coşgun, G., Özdemir, M., Torun, M. (2022). Influence of ultrasound treatment on turmeric aqueous extraction and optimization of the spray drying conditions for encapsulation of the extract. *GIDA* (2022) 47 (1) 107-120 doi: 10.15237/gida.GD21129

ÖZ

Bu çalışmada, ülkemizde yetiştirilen zerdeçal rizomlarından fenolik madde ekstraksiyonunda ultrases desteğinin ekstraksiyon süre ve sıcaklığına etkisi araştırılmış, zerdeçal ekstraktının püskürterek kurutma yöntemi ile enkapsülasyonunda bazı işlem parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Toplam fenolik bileşen miktarının belirlenebilmesi amacıyla geleneksel ekstraksiyon üç farklı sıcaklık (55, 75 ve 95°C) ve dört farklı sürede (15, 30, 45 ve 60 dak.) gerçekleştirilirken, ultrases destekli ekstraksiyon ise; 25°C sıcaklıkta, altı farklı sürede (0.5, 1, 2, 3, 4 ve 5 dak.) gerçekleştirilmiştir. Toplam fenolik madde miktarının en yüksek miktarda (1436.68 mg GAE/100 g KM) elde edildiği koşullarda (ultrases destekli, 25°C ve 2 dak.) üretilen zerdeçal ekstraktı maltodekstin ve modifiye nişasta kullanılarak püskürterek kurutma yöntemiyle enkapsüle edilmiş, toplam fenolik madde miktarı, kurutma verimi, Carr indeksi, Hue açısı ve çözünürlük değerleri kullanılarak optimum işlem şartları belirlenmiştir. Taşıyıcı materyal olarak %15 maltodekstrin ve %5 modifiye nişasta karışımının kullanılmasıyla 156°C hava girişi sıcaklığında gerçekleştirilen işlem, optimum enkapsülasyon koşulu olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Zerdeçal (*Curcuma longa* L.), ultrases, ekstraksiyon, püskürterek kurutma, toplam fenolik içeriği

INFLUENCE OF ULTRASOUND TREATMENT ON TURMERIC AQUEOUS EXTRACTION AND OPTIMIZATION OF THE SPRAY DRYING CONDITIONS FOR ENCAPSULATION OF THE OBTAINED EXTRACT

ABSTRACT

In this study, the effect of ultrasound assisted extraction on time and temperature for phenolic extraction from turmeric rhizomes grown in our country was investigated, and some process parameters were optimized in the encapsulation of turmeric extract by spray drying method. For this

*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ torun@akdeniz.edu.tr

☎ (+90) 242 310 6520

☎ (+90) 242 310 6306

Mehmet Torun; ORCID no: 0000-0002-6287-2993

Keziban Kübra Güngör; ORCID no: 0000-0003-2430-4669

Gülderen Coşgun; ORCID no: 0000-0002-6689-943X

Merve Özdemir; ORCID no: 0000-0002-1962-4118

purpose, conventional extraction at three different temperatures (55, 75 and 95°C) and four different times (15, 30, 45 and 60 min.), ultrasound assisted extraction at 25 °C in six different times (0.5, 1, 2, 3, 4 and 5 min.) was performed to determine the total amount of pheolic substance in the extracts. Turmeric extract, obtained under conditions (ultrasound assisted, 25°C and 2 min.) with the highest amount of total phenolic substance (1436.68 mg GAE/100 g DM), was encapsulated by spray drying method using maltodextrin and modified starch, and optimum processing conditions were determined by using total phenolic content, drying yield, Carr index, Hue angle and solubility values. Mixture of 15% maltodextrin and 5% modified starch as carrier material, also 156°C air inlet temperature was determined as optimum conditions.

Keywords: Turmeric (*Curcuma longa* L.), ultrasound, extraction, spray drying, total phenolic content

GİRİŞ

“Hint Safranı” olarak da bilinen zerdeçal (*Curcuma longa* L.) Zingiberaceae familyasından Asya ve Orta Amerika’da yaygın olarak yetiştirilen çok yıllık bir bitkidir (Patel vd., 2021). Zerdeçal tropikal bir bitki olup, deniz seviyesinden 1500 m yükseklikte, yıllık sıcaklığın 20-35°C arasında değiştiği, kumlu veya killi-tınlı topraklara sahip bölgelerde verimli bir şekilde yetiştirilebilmektedir (Hailemichael ve Zakir, 2021). Hindistan, dünya zerdeçal üretiminin %78’lik kısmını tek başına gerçekleştirirken %8’lik üretimle Çin, ikinci sırada yer almakta ve onu Myanmar, Nijerya ve Bangladeş takip etmektedir (Singh vd., 2020). Özellikle Orta Doğu ve Asya ülkelerinde baharat olarak kullanımı yaygın olan zerdeçalın geçmişten bu yana Çin, Hindistan ve Endonezya gibi ülkelerde bitkisel ilaç karışımlarında da sıklıkla yer aldığı bildirilmektedir (Tayyem vd., 2006). Endüstriyel olarak ise günümüzde zerdeçalın renk, lezzet ve biyoaktif özelliklerinden dolayı gıda, gıda takviyesi, kozmetik, eczacılık ve tekstil sektörlerinde kullanıldığı görülmektedir. Zerdeçalın kullanılan kısımları olan rizomları, hasadı takiben genellikle kurutulup toz forma dönüştürülerek mikrobiyolojik ve kimyasal açıdan güvenli bir yapının kazandırılması sağlanmaktadır (Komonsing vd., 2021). Kuru zerdeçal rizomları makro bileşenler açısından incelendiğinde %69.43 karbonhidrat, %6.3 protein, %5.1 yağ ve %3.5 mineral (Tanvir vd., 2017) içermekle birlikte, zerdeçalın biyoaktif özellikleri temel olarak içeriğindeki fenolik maddelerden ileri gelmektedir. Zerdeçal rizomlarında en fazla bulunan ve ürünün sarı renginden de sorumlu olan fenolik maddeler kurkuminoidler olup bunlar içerisinde en önemlisi yaklaşık %2-6 oranında bulunan kurkumindir. Demetoksikurkumin ve bismetoksikurkumin kurkuminden sonra zerdeçaldaki önemli diğer

kurkuminoid yapıdaki bileşenler olup (Komonsing vd., 2021), kurkuminoidlerin antioksidan, antibakteriyel, antiinflamatuvar (Yang vd., 2020), anti-HIV (Mathew ve Hsu, 2018), antitümör, antikanser ve antiviral (Zhang vd., 2015) etkilerinin olduğu bildirilmektedir.

Bahsedilen önemli biyolojik etkilerinden dolayı gıda, ilaç ve kozmetik gibi alanlarda kullanımı yaygın olan kurkuminoidlerin zerdeçaldan ekstrakte edilip stabil bir formda üretilmesi ekonomik anlamda oldukça önemli görülmektedir. Nitekim, bitki materyallerinden fenolik bileşikler verimli bir şekilde kazanabilmek için mikrodalga destekli ekstraksiyon, ultrases destekli ekstraksiyon (UDE) ve süperkritik CO₂ ekstraksiyonu dahil olmak üzere çeşitli yeni ekstraksiyon teknikleri geliştirilmiştir (Banozic vd., 2020). UDE çevre dostu, kolay uygulanabilir ve ucuz olması nedeniyle diğer ekstraksiyon teknikleri içerisinde dikkat çekmektedir. Ultrases dalgaları uygulandığı materyallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmekte, oluşan kavitasyon etkisiyle ekstrakte edilebilir bileşiklerin salınımı kolaylaşmakta ve bitki hücre yapısının bozulmasıyla kütle transferi kolaylaşmaktadır. Ekstraksiyon sırasında ultrasesin bir diğer etkisi ise bitki dokularında erozyon olarak adlandırılan bölgesel hasara yol açması ve bu şekilde bitki matrisinde çözücünün difüzyonunu arttırmasıdır (Güngör, 2021).

Zerdeçal ekstraktının kolay kullanılabilir bir formda bulunması ve enkapsüle edilerek ısı, ışık, oksijen vb. çevre koşullarına karşı yüksek depolama stabilitesine sahip olması özellikle gıda endüstrisi açısından tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Bu amaçla sıvı bir ürünün atomizer yardımı ile sıcak bir hava ortamına verilerek

aniden toz forma dönüştürülmesi işlemi olan püskürterek kurutma yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Püskürterek kurutma işlem şartları (kurutma havası giriş ve çıkış sıcaklığı, besleme oranı, aspirasyon hızı) ve kurutma sırasında kullanılan taşıyıcı materyalin özellikleri son ürünün kalitesi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Püskürterek kurutma işleminde genellikle kullanılan taşıyıcı maddeler; proteinler (sodyum kazeinat, peyniraltı suyu proteini, jelatin), gamlar (gam arabik, sodyum aljinat, karragenan, guar gam), selülozlar (metilselüloz, etilselüloz vb.) ve karbonhidratlardır (maltodekstrinler, modifiye nişasta, siklodekstrinler) (Balcı-Torun, 2019). Püskürterek kurutmada kullanılan taşıyıcı maddelerde iyi bir film oluşturma, yüksek konsantrasyonlarda düşük viskozite gösterme, yüksek çözünürlük ve düşük maliyet temel olarak aranan özelliklerdendir. Tek bir taşıyıcı maddenin tüm bu özelliklere sahip olması zor olduğu için, taşıyıcı maddelerin bir arada kullanılması ile istenilen özellikler sağlanabilmektedir (Özgüner-Kabak, 2019). Püskürterek kurutma işleminde nişastanın kısmi hidrolizinden türetilen bir polisakkarit olan maltodekstrin (MD) en fazla kullanılan taşıyıcı maddelerden biridir. MD nispeten düşük maliyet, nötr tat, yüksek konsantrasyonlarda düşük viskozite ve oksidasyona karşı iyi koruma gibi avantajlara sahip olmasına rağmen, emülsifiye edici kapasitesinin düşük olmasından dolayı özellikle aroma salınımının da minimize edilmek istendiği oleoresin gibi bitki ekstraktı karışımlarında arap zamkı, modifiye nişasta ve proteinler gibi diğer taşıyıcılarla birlikte kullanımı tercih edilmektedir (Carneiro vd., 2013).

Literatür incelendiğinde zerdeçal ekstraktı ve oleoresinlerinin maltodekstrin (Coronel-Delgado vd., 2017), peyniraltı suyu proteini (Gomes vd., 2020), arabik gam (Aniesrani Delfiya vd., 2014, Bucurescu vd., 2018), maltodekstrin/arabik gam karışımı (Papillo vd., 2019), maltodekstrin/arabik gam/modifiye nişasta karışımı (Cano-Higuaita vd., 2015), pullulan (Kshirsagar vd., 2009), maltodekstrin ve Hi-Cap (Patel vd., 2021), maltodekstrin/jelatin karışımı (Ferreira vd., 2019), arabik gam/peyniraltı suyu proteini ve maltodekstrin/peyniraltı suyu proteini karışımları

(Köprüalan vd., 2021), pektin, maltodekstrin, ksantan gam ve inülin (Goëlo vd., 2020) gibi taşıyıcı maddeler kullanılarak püskürterek kurutma yöntemiyle toz forma dönüştürüldüğü çalışmalar mevcuttur. Yapılan bu çalışmada ise benzer makalelerden farklı olarak taşıyıcı madde karışımları (maltodekstrin ve modifiye nişasta) ile birlikte püskürterek kurutma sıcaklığı da bağımsız bir değişken olarak ele alınmış olup bu faktörlerin kurutma verimi yanında zerdeçal ekstraktının çözünürlük, Hue açısı ve Carr indeks değerleri ile toplam fenolik madde miktarı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışma kapsamında kullanılan zerdeçal (*Curcuma longa* L.) örnekleri Antalya'nın Gazipaşa ilçesinde bulunan yerel bir üreticiden temin edilmiştir. Örnekler kullanılmadan önce soğuk su ile yıkanmış, kabukları soyulmuş ve dondurulduktan sonra vakum altında kurutulmuştur. Analizlerde kullanılan kimyasallar Sigma-Aldrich (Darmstadt, Almanya) ve Merck (Darmstadt, Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

Dondurarak Kurutma

Zerdeçal örnekleri -80°C'deki dondurucuda 6 saat boyunca dondurma işlemine tabi tutulmuş olup ardından dondurucudan alınan örnekler, dondurarak kurutma yöntemiyle (OPERON FDU&FDB, Kore) 40 mmHg mutlak basınçta nem değeri yaklaşık %3'e gelinceye kadar 30 saat süreyle kurutulmuştur. Bu şartlar yapılan ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. Kurutulan örnekler daha sonra ekstraksiyonda homojen partikül boyutu sağlamak amacıyla 500 µm'lik eleklerden geçirilmiş ve elekten geçen toz ürün ile çalışmalara devam edilmiştir.

Geleneksel ekstraksiyon

Zerdeçal örneklerinin geleneksel yöntemle ekstraksiyonunda çözgen olarak saf su kullanılmış, katı:su (1:100 g/mL) oranı daha önce bitki ekstraksiyonu üzerine yapmış olduğumuz çalışma (Torun vd., 2015) ve kullanılan katının sıvı ile yeterli teması göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Ekstraksiyonun en uygun sıcaklık

ve süre değerlerini belirlemek amacıyla ise üç farklı sıcaklık (55, 75 ve 95°C) ve dört farklı sürede (15, 30, 45 ve 60 dak.) çalkalamalı su banyosunda (Daihan WSB-30) 100 mL'lik cam kavanozlar içerisinde 150 rpm karıştırma hızında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işleminden sonra örnekler, kaba filtre kağıdından (gözenek çapı 2-4 µm) süzülüş, ardından oda sıcaklığına gelmeleri sağlanmış ve toplam fenolik madde analizi için kullanılmıştır.

Ultrases destekli ekstraksiyon

Ekstraksiyon süresini kısaltmak ve yüksek sıcaklıklarda ekstraksiyon sırasında oluşabilecek biyoaktif madde degradasyonlarını engellemek için çalışmada 25°C'de ultrases destekli ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem (1:100 g/mL) oranında zerdeçal:saf su kullanılarak, sabit genlikte (%55), altı farklı sürede (0.5, 1, 2, 3, 4, 5 dak.), 13 mm problu ve 20 kHz sabit frekansta çalışan ultrases cihazı (VC750, 750 W, Sonic and Materials, Inc., Mewtown, Conn., A.B.D.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon sırasında sıcaklığı sabit tutabilmek için çift cidarlı beher kullanılmış ve su sirkülasyonu su banyosuyla (RW-3025 Lab Copanion, Kore) sağlanmıştır. Ekstraksiyon işleminin ardından alınan örnekler kaba filtre kağıdından (gözenek çapı 2-4 µm) süzülerek toplam fenolik madde analizi için kullanılmıştır.

Püskürterek Kurutma

Toplam fenolik madde miktarının en yüksek bulunduğu şartlarda elde edilen ekstrakt laboratuvar ölçekli (Büchi Mini Püskürtmeli Kurutucu, B-290, İsviçre) püskürterek kurutucuda enkapsüle edilmiş ve taşıyıcı madde seçimi ile püskürterek kurutma sıcaklığı Design Expert 10 paket programında cevap-yüzey metodu kullanılarak oluşturulan deneme desenine göre optimize edilmiştir. Kurutma işlemi öncesinde ekstraktın %20'si kadar taşıyıcı materyal (maltodekstrin ve modifiye nişasta) kullanılmış ve kullanılan materyallerin karışım içerisindeki oranı bağımsız değişkeni oluşturmuştur. Ayrıca bir diğer bağımsız değişken olan püskürterek kurutma giriş sıcaklığı da faktöriyel olarak üç noktada (135, 150 ve 165°C) desene katılmış, kurutma işlemlerinde besleme

oranı (400-600 mL/saat), çıkış sıcaklığı (85°C) ve aspirasyon hızı (%85) sabit tutulmuştur. Örneklerin su aktivitesi değeri 0.2-0.3 aralığında olacak şekilde kurutma işlemi yapılmış ve cevap olarak kurutma verimi ile elde edilen mikrokapsüllerin toplam fenolik madde miktarı, çözünürlük, Carr indeks ve Hue açısı değerleri kullanılmıştır.

Toplam fenolik madde tayini

Elde edilen ekstraktlarda ve toz ürünlerde toplam fenolik madde miktarı Şkerget vd. (2005)'e göre spektrofotometrik yöntemle yapılmıştır. Bu amaçla, elde edilen ekstraktlardan ön çalışma ile elde edilen seyreltme oranından 0.5 mL örnek cam tüpler içerisine aktarılmış, üzerine 2.5 mL Folin-Ciocalteu çözeltisi (%10'luk) ve 2 mL %7.5'lik (Na₂CO₃) çözeltisi eklenmiştir. Elde edilen karışım vortekle (DragonLab, MX-S) 30 s karıştırıldıktan sonra 50°C'deki su banyosunda 5 dak bekletilmiştir. Daha sonra su banyosundan alınan örnekler karanlık bir ortamda 10 dak bekletildikten sonra spektrofotometrede (Shimadzu UV-vis 160A) 760 nm dalga boyunda absorbansları okunmuştur. Elde edilen absorbans değerleri gallik asit çözeltileri ile oluşturulan eğri yardımıyla mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g kuru örnek ağırlığına dönüştürülmüştür. Aynı işlemler mikrokapsüllerin %1 (ağırlık/hacim) saf su içerisinde çözündürülmesiyle elde edilen ekstraktlarda da yapılarak mikrokapsüllerin fenolik madde miktarları hesaplanmıştır.

Kurutma verimi

Püskürterek kurutma yöntemi ile elde edilen zerdeçal mikrokapsüllerinin verim değerleri, son ürün miktarının beslenen karışımdaki kuru madde miktarına oranlanmasıyla hesaplanmıştır (Şahin-Nadeem vd., 2011).

Çözünürlük analizi

Mikrokapsüllerin çözünürlük analizinde Şahin-Nadeem vd. (2011)'in uyguladığı yöntem kullanılmıştır. Bu doğrultuda 0.50±0.001g örnek tartılarak üzerine 50 mL su ilave edilmiş ve 5 dakika 600d/dak'da manyetik karıştırıcıda (Jeio Tech MS-32M) karıştırılmıştır. Elde edilen çözeltiler santrifüj tüplerine aktarıldıktan sonra 3000 g'de 5 dakika santrifüj (Herolab Unigen

MR, Germany) edilmiştir. Santrifüj sonrası üstte kalan fazdan 20 mL, darası alınan petrilere aktarılarak 70°C’de sabit tartıma gelinceye kadar bekletilmiş ve çözünürlük, (%) ağırlık farkından hesaplanmıştır.

Carr indeks değerinin hesaplanması

Mikrokapsüllerin yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk sonuçlarından aşağıdaki eşitlik kullanılarak Carr indeks (CI) değerleri hesaplanmıştır.

$$CI = (q_t - q_b) / q_t \times 100 \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Eşitlikte q_b , örneklerin yığın yoğunluğu değerlerini (kg/m^3); q_t ise sıkıştırılmış yoğunluk değerlerini (kg/m^3) ifade etmektedir. Mikrokapsüllerin yığın yoğunluğu 10 mL’lik mezür içerisinde hava boşluğu kalmayacak şekilde, herhangi bir basınç uygulamaksızın 2 g tartıldıktan sonra kütle/hacim oranında hesaplanmıştır (Bhandari vd., 1992; Koç 2015). Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ise 2 g toz örneğin tartıldığı silindirik kabın 35 defa (toz ürünlerin arasında oluşan boşlukların kaybolması için) manuel olarak sert bir zemine vurulup sıkıştırıldıktan sonraki hacim okunarak yine kütle/hacim oranından hesaplanmıştır (Beristan vd., 2001).

Renk analizi

Püskürterek kurutma işlemi sonrasında elde edilen enkapsüle zerdeçal örneklerinin %1 (ağırlık/hacim)’lik sulu ekstraktlarının renk değerleri Konica-Minolta CR-400 renk ölçer cihazı kullanılarak ölçülmüş, ölçülen a (yeşillik-kırmızılık) ve b (mavilik-sarılık) renk değerleri üzerinden örneklerin Hue açısı (h°) değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Şahin-Nadeem vd., 2011).

$$h^\circ = \frac{180}{\pi} \times \tan^{-1}(b/a) \quad (\text{Eşitlik 2})$$

İstatistiksel analiz

Ekstraksiyon sonucunda elde edilen sonuçların ortalamalarına varyans analizi uygulanmış, önemli bulunan farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile ortaya koyulmuştur. Varyans analizi ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi SAS Institute (Cary, NC, ABD) tarafından hazırlanan “The SAS system for Windows V7” isimli istatistiksel

yazılım programı kullanılarak yapılmıştır. Püskürterek kurutma işleminin optimum koşullarının belirlenebilmesi için Design-Expert Paket Programı (Stat-Ease Inc., Version 10, Minneapolis, ABD) kullanılmış, sonuçlar ANOVA analizi ile değerlendirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

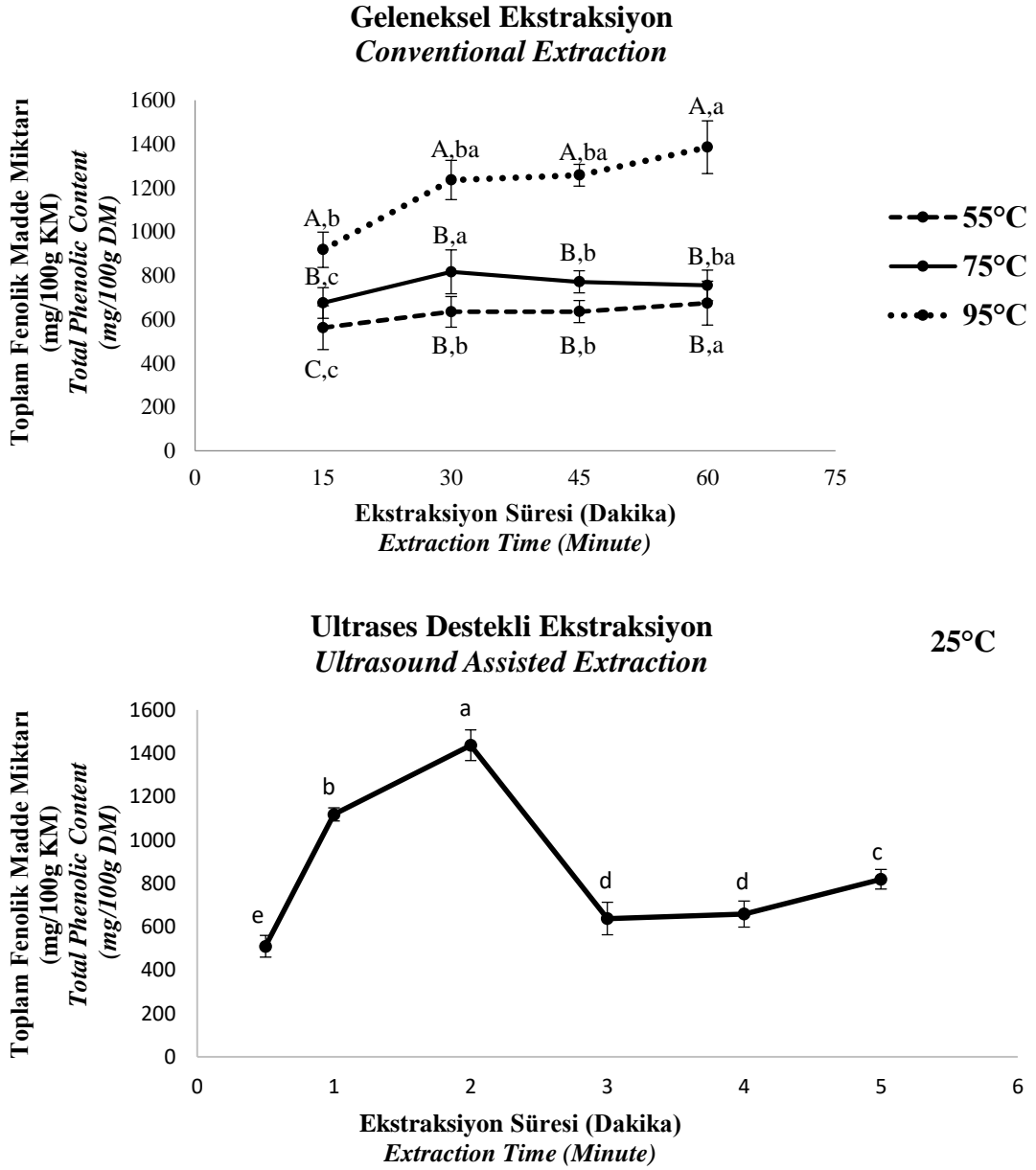
Ekstraksiyon şartlarının toplam fenolik madde miktarı üzerine etkisi

Suda çözünür zerdeçal mikrokapsüllerinin üretiminde ilk aşama ekstraksiyon olup suya geçebilecek fenolik maddelerin en yüksek oranda alınabilmesi ekstraksiyondan sonraki aşamaların verimliliği açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle geleneksel yöntemle farklı sıcaklıklarda (55, 75 ve 95°C) ve sürelerde (15, 30, 45 ve 60 dak.), ultrases destekli yöntemde ise oda sıcaklığında (25°C) farklı sürelerde (0,5, 1, 2, 3, 4 ve 5 dak.) ekstraksiyonlar gerçekleştirilmiştir. Geleneksel yöntemle yapılan ekstraksiyon sonucunda elde edilen ekstraktların toplam fenolik madde miktarı değerleri sıcaklık ve süreye bağlı olarak 563.70-1371.408 mg GAE/100 g kuru madde (KM) arasında değişim göstermiştir (Şekil 1).

Ekstrakte edilebilir fenolik madde miktarının ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi ile artış gösterdiği, 55 ve 75°C’lerde yapılan ekstraksiyon işleminin toplam fenolik madde miktarı üzerinde 15. dakikadan sonra istatistiki açıdan ($P>0.05$) önemli olmadığı görülmüştür. Sana vd. (2019) tarafından zerdeçal rizomlarından su ile yapılan ekstraksiyon sonucunda ekstraktların toplam fenolik madde miktarının 60. dakika sonunda 889.63 mg olduğu belirlenmiştir. Yine benzeri bir çalışmada zerdeçal rizomlarının 25°C’de 1 saat süreyle yapılan ekstraksiyonu sonucu elde edilen su ekstraktının toplam fenolik madde miktarı 496.76 mg GAE/100 g KM olarak bulunmuştur (Nisar vd., 2015). Rapor edilen sonuçlarla çalışmamızda elde edilen sonuçlar kısmen benzerlik göstermekle birlikte aradaki farklılıkların materyal ile ekstraksiyon şartlarından (besleme oranı, sıcaklık, karıştırma hızı vb.) ileri geldiğini söylemek mümkündür. Şekil 1’de verilen sonuçlar incelendiğinde ultrases desteğiyle geleneksel yöntemde göre çok daha düşük sıcaklıkta (25°C) ve

kısa sürede (2 dak.) daha fazla fenolik maddenin (1436.68 mg GAE/100 g KM) ekstrakte edilebildiği görülmektedir. Bu durum ultras

sonucu oluşan kavitasyonla hücre duvarının parçalanarak fenoliklerin kütle transferinin artmasıyla ilişkilendirilmektedir (Yang vd., 2020).



Şekil 1. Ekstraksiyon koşullarının toplam fenolik madde miktarı üzerine etkisi. Farklı harfler $P < 0.05$ seviyesinde ekstraksiyon süresine ve sıcaklığına bağlı farklılıkları ifade etmektedir.

Figure 1. Influence of extraction conditions on total phenolic content. Different letters indicate differences at the $P < 0.05$ level depending on the extraction time and temperature.

Püskürterek Kurutma Koşullarının Optimizasyonu

En fazla fenolik madde miktarının elde edildiği koşullarda (25°C’de 2 dakika süreyle ultrases destekli ekstraksiyon) üretilen zerdeçal ekstraktı cevap-yüzey metoduna göre oluşturulan deneme desenine göre püskürterek kurutma yöntemiyle enkapsüle edilmiş, optimum koşullar toplam fenolik madde miktarı (en yüksek), kurutma

verimi (en yüksek), Carr indeks (en düşük), Hue açısı ve çözünürlük (en yüksek) değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Deneme desenine göre üretilen zerdeçal mikrokapsüllerinin test edilen özelliklerine ait sonuçlar Çizelge 1’de ve bağımsız değişkenlerin bu özellikler üzerine etkisini gösteren ANOVA tablosu ise Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Zerdeçal mikrokapsüllerinin bazı özellikleri üzerine püskürterek kurutma koşullarının etkisi
Table 1. Influence of spray drying conditions on some properties of turmeric microcapsules

Deneme Experiment	MD (%)	MN (%)	Sıcaklık (°C) Temperature (°C)	Su aktivitesi (<i>a_w</i>)	Toplam fenolik madde miktarı (mg/100g mikrokapsül) Total phenolic content (mg/ 100 g microcapsule)	Verim (%) Yield (%)	Carr indeks Carr index	Hue açısı (h°) Hue angle (h°)	Çözünürlük (%) Solubility (%)
1	20	0	165	0.1925	262.00	87.80	28.38	86.18	100.00
2	15	5	150	0.2298	464.16	91.92	23.00	87.18	100.00
3	20	0	135	0.1312	246.77	78.41	23.89	87.18	98.60
4	0	20	135	0.1022	325.92	70.22	26.13	93.35	97.88
5	10	10	135	0.1641	301.27	76.36	28.58	92.23	99.48
6	0	20	150	0.1236	418.55	70.80	25.00	92.76	94.15
7	5	15	135	0.1242	311.07	70.74	25.98	92.61	97.70
8	10	10	150	0.1877	359.24	90.96	24.68	91.10	96.28
9	0	20	150	0.1345	372.30	81.44	26.38	91.74	93.10
10	20	0	150	0.1514	353.99	98.92	19.70	90.02	99.00
11	10	10	165	0.2335	292.66	85.04	20.75	89.67	98.60
12	0	20	165	0.2971	305.72	88.28	24.10	88.26	91.70
13	10	10	150	0.1287	363.60	93.15	24.68	89.85	98.80

MD: Maltodekstrin, MN: Modifiye nişasta, MD: Maltodextrin, MS: Modified starch

Çizelge 2. Püskürterek kurutma yöntemiyle elde edilen zerdeçal mikrokapsüllerinin bazı kalite özellikleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Table 2. ANOVA results showing the effect of independent variables on some quality characteristics of turmeric microcapsules obtained by spray drying method

Parametreler Parameters	Model	Toplam fenolik madde miktarı Total phenolic content	Kurutma verimliliği Drying yield	Carr indeks Carr index	Hue açısı (h°) Hue angle (h°)	Çözünürlük (%) Solubility (%)
P değeri P value	Model	0.0033	0.0019	0.0229	0.0048	0.0417
	Model uyumsuzluğu Lack of fit	0.2721	0.8775	0.2386	0.2388	0.6109
R ²		0.6811	0.9040	0.9496	0.7458	0.9307
Düzeltilmiş R ² Adjusted R ²		0.6174	0.8355	0.8489	0.6610	0.7922

Model uyumsuzluğu tüm özellikler için önemsiz bulunurken, model toplam fenolik madde miktarı, kurutma verimi ve Hue açısı değerleri üzerinde $P<0.01$ seviyesinde; Carr indeks ve çözünürlük değerleri üzerinde ise $P<0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Her bir özellik için önerilen model denkleminin R^2 değerleri 0.6811-0.9496; düzeltilmiş R^2 değerleri ise 0.6174-0.8489 arasında bulunmuştur. Regresyon katsayısı R^2 , deneysel verideki model tarafından açıklanabilen varyasyonun toplam varyasyona oranı olarak tanımlanmaktadır. Ancak modele yeni terimlerin eklenmesi, bu terimler istatistiksel olarak önemsiz olsa da R^2 'yi her zaman arttırmaktadır. Bu nedenle düzeltilmiş regresyon katsayısı (düzeltilmiş R^2) değerlerinin modelin uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılması önerilmektedir. R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerlerinin birbirlerine yakın olması modellerin istatistiksel olarak önemsiz terimleri içermediğini gösterdiği bildirilmektedir (Koç, 2015). Her bir cevap üzerinde bağımsız değişkenlerin etkisi aşağıda yer alan ayrı başlıklar altında açıklanmıştır.

Toplam fenolik madde üzerine püskürterek kurutma şartlarının etkisi

Zerdeçal mikrokapsüllerinin toplam fenolik madde miktarı 262.00-464.16 mg/100 g arasında bulunmuş olup, bağımsız değişkenlerin cevap üzerindeki etkileri Şekil 2'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde örneklerin toplam fenolik madde miktarının karışımında yer alan taşıyıcı maddelerden çok fazla etkilenmediği, orta sıcaklıklarda yüksek, düşük ve yüksek sıcaklıklarda ise miktarın azaldığı görülmektedir. Ghandehari Yazdi vd. (2021) tarafından antep fıstığı kabuğu fenoliklerinin üç farklı sıcaklıkta (140, 150 ve 160°C) püskürterek kurutma yöntemiyle enkapsüle edildiği çalışmada en yüksek fenolik maddenin 150°C'de elde edildiği bildirilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda fenolik madde miktarının azalması bu bileşenlerin ısıya hassas olmaları nedeniyle meydana gelen degradasyonla ilişkilendirilirken (Sablania ve Bosco, 2018), düşük sıcaklıklarda ise damlacık yüzeyinde yarı geçirgen zarın hızlı bir şekilde oluşmamasından dolayı çekirdek materyalin tutulumunun istenen düzeyde sağlanamaması ile ilişkilendirilmektedir (Tsali ve Goula, 2018).

Kurutma verimliliği üzerine püskürterek kurutma şartlarının etkisi

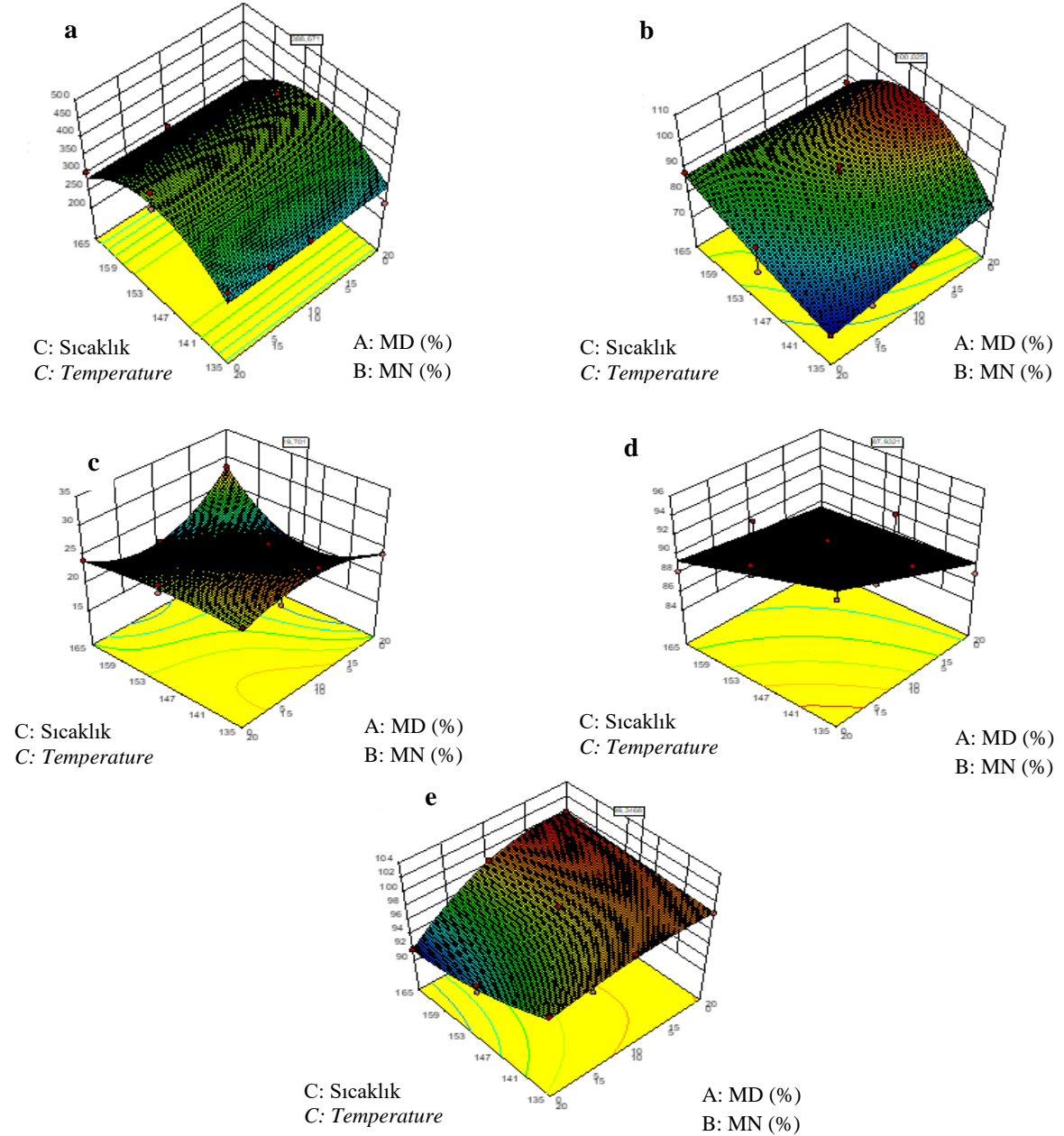
Püskürterek kurutma üzerine yapılan etken maddelerin enkapsülasyonu işlemlerinde, stabil kapsüllerin üretiminin önemli olmasının yanında daha da önemli olan bir diğer husus da kurutma işleminin ne kadar verimde gerçekleştirildiğidir. Yapılan çalışmalar sonucunda laboratuvar ölçekli püskürtmeli kurutucuda kurutma işleminin verim açısından başarılı olarak sayılabilmesi için ürün veriminin en az %50 olması gerektiği belirtilmiştir (Bhandari vd., 1997; Vidović vd., 2014). Bu çalışma kapsamında püskürterek kurutma yöntemiyle %70.22-98.92 arasında verimde zerdeçal mikrokapsülleri elde edilebilmiştir. Püskürterek kurutma sıcaklığının artması ile verimin arttığı ve verim üzerinde asıl etkili faktörün taşıyıcı materyalin olduğu görülmüştür. Taşıyıcı karışımındaki maltodekstrin oranının artması kurutma veriminin de artmasına neden olmuştur (Şekil 2). Zahterin püskürterek kurutulmasını konu alan bir çalışma sonucunda karışımındaki maltodekstrin oranının artmasıyla kurutma veriminin arttığı, verimli sayılabilecek bir kurutma için en az %10 oranında maltodekstrin kullanılması gerektiği, ancak çok yüksek oranlarda maltodekstrin kullanılması durumunda bitkiden gelen karakteristik, istenilebilecek lezzetin maskelendiği belirtilmiştir (Vidović vd., 2014).

Carr indeks değeri üzerine püskürterek kurutma şartlarının etkisi

Carr indeks değeri toz ürünlerin akabilirlik özelliği hakkında fikir vermesi açısından önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Toz ürünlerin yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluklarını kullanarak belirlenen "Carr indeks" değerinin 15'den küçük olması durumunda akabilirlik çok iyi, 15-20 arasında iyi, 20-35 arasında zayıf, 35-45 arasında kötü, 45'ten büyük ise çok kötü olarak tanımlanmaktadır (Carr, 1965). Bu tanımlamaya göre zerdeçal mikrokapsüllerinin Carr indeks değeri sonuçları değerlendirildiğinde "kötü" ve "çok kötü" olarak tanımlanabilecek nitelikte ürünün bulunmadığını söylemek mümkündür (Çizelge 1). Bağımsız değişkenlerin orta noktalarında Carr indeks değeri istenilen şekilde düşük bulunmuş olup, püskürterek kurutma giriş hava sıcaklığı ve

karışımındaki maltodekstrin oranı arttıkça artış göstermiştir (Şekil 2). Jangam ve Thorat (2010) tarafından zencefil ekstraktının püskürtürerek kurutma yöntemi ile toz forma dönüştürülmesinin amaçlandığı çalışmada 120-160°C arasındaki

kurutma sıcaklıklarında deneme gerçekleştirilmiş ve çalışma sonucunda bu çalışma ile uyumlu şekilde optimum Carr indeksi değerinin 150°C elde edilebildiği belirtilmiştir.



Şekil 2. Püskürtürerek kurutma yöntemi ile elde edilen zerdeçal mikrokapsüllerinin (a: Toplam fenolik madde miktarı, b: Kurutma verimliliği, c: Carr indeksi, d: Hue açısı değeri, e: Çözünürlük değeri) yanıt yüzey grafikleri

Figure 2. Response surface graphs of turmeric microcapsules obtained by spray drying (a: total phenolic content, b: Drying yield, c: Carr index, d: Hue angle value, e: Solubility value)

Hue açısı değeri üzerine püskürterek kurutma şartlarının etkisi

Zerdeçal mikrokapsüllerinin %1 (ağırlık/hacim)'lik su ekstraktının Hue açısı değeri ölçülerek zerdeçala özgü sarımsı rengin püskürterek kurutma işlem koşulları ile değişimi incelenmiştir. Hue açısının 0° olması kırmızıyı, 90° olması sarıyı, 180° olması yeşili ve 270° olması ise ürünün mavi renkte olduğunu ifade etmekte, bu açı değerlerinin aralarına denk gelen kısımlarda ise ara renkler oluşmaktadır (Tasova ve Ozkurt, 2018). Şekil 2'de verilen bağımsız değişkenlerin Hue açısı değeri üzerindeki etkisini gösteren grafik incelendiğinde karışımdaki modifiye nişasta oranının artması ve kurutma sıcaklığının azalması ile Hue açısı değerinin artarak 90°'ye yaklaştığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum yüksek kurutma sıcaklıklarında zerdeçalın sarı renginden sorumlu olan kurkuminooidlerin degradasyonuna bağlı olarak sarı rengin azalması ile ilişkilendirilmiştir. Kurkumin ekstraktının 110 ve 150°C'de püskürterek kurutulduğu çalışma sonuçları düşük sıcaklıkta yapılan kurutma işlemi sonrasında kurkumin kazanımının daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Liu vd., 2016).

Çözünürlük değeri üzerine püskürterek kurutma şartlarının etkisi

Çizelge 1'de verilen zerdeçal tozlarına ait çözünürlük sonuçları incelendiğinde değerlerin %91.70-100 arasında değiştiği, elde edilen tozların suda iyi çözünürlük özelliğine sahip olduğu görülmektedir. Tüm örnekler suda iyi çözünürlük özelliği gösterse de özellikle karışımdaki maltodekstrin oranının artmasıyla çözünürlük değerinin artış gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 2). Balcı-Torun (2019), aroma maddelerini püskürterek kurutma yöntemiyle toz forma dönüştürdüğü çalışmada, taşıyıcı materyal olarak maltodekstrin ve modifiye nişastanın birlikte kullanıldığı durumda bu çalışma ile benzer şekilde maltodekstrin oranının artmasıyla örneklerin çözünürlük değerlerinin arttığını tespit etmiştir.

Teorik olarak belirlenen optimum koşulların deneysel olarak doğrulanması

Optimum işlem koşulları olarak karışımda %15 oranında maltodekstrin, %5 oranında modifiye nişasta kullanılması gerektiği ve püskürterek kurutma hava giriş sıcaklığının 156°C olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Optimum koşullarda test edilen parametrelerin tahminlenen değerleri deneysel olarak da doğrulanmış ve aradaki sapmaları da gösteren sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Zerdeçal mikrokapsüllerinin deneysel ve teorik olarak elde edilen analiz sonuçları
Table 3. Experimental and theoretical analysis results of turmeric microcapsules

	Toplam fenolik madde miktarı (mg/100g mikrokapsül) <i>Total phenolic content (mg/100 g microcapsule)</i>	Verim (%) <i>Yield (%)</i>	Carr indeksi <i>Carr index</i>	Hue açısı (h°) <i>Hue angle (h°)</i>	Çözünürlük (%) <i>Solubility (%)</i>
Teorik <i>Theoretical</i>	380.56	95.08	26.04	88.60	99.20
Deneysel <i>Experimental</i>	392.56	91.10	26.37	87.50	97.40
Farklılık (%) <i>Difference (%)</i>	3.15	4.19	1.27	1.24	1.82

Optimum koşullarda teorik ile deneysel veriler arasındaki farkın %15'ten az olması beklenmektedir (Myers vd., 2011). Bu anlamda püskürterek kurutma tekniğiyle zerdeçal

enkapsülasyonunda bu çalışma için optimum koşulların deneysel olarak doğrulanabildiğini söylemek mümkündür.

SONUÇ

Zerdeçal, içeriğindeki özellikle kurkumin başta olmak üzere fenolik maddelerden dolayı sağlıklı yaşamın önemini daha da fazla anlaşıldığı günümüzde tüketimi en fazla artış gösteren ürünlerden biri olmuştur. Özellikle zerdeçal bazlı ekstraktların fonksiyonel özellik kazandırılmak istenen gıdalara katkılanma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu anlamda su bazlı bir ekstrakt elde etmek için uygun koşulların belirlenerek elde edilen ekstraktın kolay kullanılabilir ve stabil depolanabilir bir formda üretilmesi oldukça önemlidir. Bu makalede de zerdeçal fenolikleri üzerine ekstraksiyon şartlarının etkisi araştırılmış, elde edilen ekstraktın toz forma dönüştürülmesi için kullanılan püskürterek kurutma yönteminin taşıyıcı madde ve kurutma giriş sıcaklığı açısından en uygun şartları belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, ultrases desteğiyle geleneksel yöntemle göre çok daha düşük sıcaklıkta (25°C) ve kısa sürede (2 dak.) daha fazla fenolik maddenin (1436.68 mg GAE/100 g KM) ekstrakte edilebileceğini göstermiştir. Püskürterek kurutma işleminin optimum koşulları olarak karışımda %15 oranında maltodekstrin, %5 oranında modifiye nişasta kullanılması gerektiği ve püskürterek kurutma hava giriş sıcaklığının 156°C olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada ülkemizde yetiştiriciliği yapılmaya başlanan zerdeçal rizomları kullanılmış olup, yetiştiriciliğinin ve kullanımının yaygınlaşmasında katma değerli ürünlerin üretimi ile ilgili bilimsel çalışmaların daha fazla yapılması oldukça önemlidir.

ÇIKAR ÇATISMASI BEYANI

Bu makalede yer alan yazarların, başka kişiler ve/veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKISI

Keziban Kübra GÜNGÖR, Gülderen COŞGUN ve Merve ÖZDEMİR, analizlerin yürütülmesi, sonuçların istatistiksel değerlendirilmesi ve makale taslağının yazım sürecinde katkı sağlamışlar; Mehmet TORUN, denemenin kurulması, analiz sonuçlarının kontrol edilerek değerlendirilmesi, taslak makalenin düzeltilmesi ve çalışma için maddi kaynak temini aşamalarında

katkı sağlayarak yüksek lisans öğrencilerine danışmanlık yapmıştır.

TEŞEKKÜR

Antalya Gazipaşa ilçesinde zerdeçal üreticiliği yapan ve çalışmanın materyallerini temin eden Süleyman TUNCER'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Aniesrani Delfiya, D. S., Thangavel, K., Natarajan, N., Kasthuri, R., Kailappan, R. (2015). Microencapsulation of turmeric oleoresin by spray drying and *in vitro* release studies of microcapsules. *J Food Process Eng*, 38(1): 37–48, doi: 10.1111/jfpe.12124.
- Balcı-Torun, F. (2019). Farklı enkapsülasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen aroma kapsüllerinin depolama stabilitesinin ve gıda katkı maddesi olarak kullanımının araştırılması. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Antalya, Türkiye, 182 s.
- Banožić, M., Babić, J., Jokić, S. (2020). Recent advances in extraction of bioactive compounds from tobacco industrial waste—a review. *Ind Crops Prod*, 144, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.112009.
- Bhandari, B. R., Dumoulin, E. D., Richard, H. M. J., Noleau, I., Lebert, A. M. (1992). Flavor encapsulation by spray drying: application and linalyl acetate. *Food Rev Int*, 57 (1): 217–221, doi: 10.1111/j.1365-2621.1992.tb05459.x.
- Bhandari, B.R., Datta, N., Howes, T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Dry Technol*, 15(2): 671–684, doi: 10.1080/07373939708917253.
- Beristain, C., Garcia, H., Vernon-Carter, E. (2001). Spray-dried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with mesquite (*Prosopis juliflora*) gum. *LWT-Food Sci and Technol (N Y)*, 34 (6): 398–401, doi: 10.1006/fstl.2001.0779.
- Bucurescu, A., Blaga, A.C., Estevinho, B. N., Rocha, F. (2018). Microencapsulation of Curcumin by a Spray-Drying Technique Using Gum Arabic as Encapsulating Agent and Release

- Studies. *Food Bioproc Tech*, 11(10): 1795–1806, doi: 10.1007/s11947-018-2140-3.
- Cano-Higuera, D. M., Vélez, H. A. V., Telis, V. R. N. (2015). Microencapsulation of turmeric oleoresin in binary and ternary blends of gum Arabic, maltodextrin and modified starch, *Cienc Agrotecnol*, 39(2): 173–182, doi: 10.1590/S1413-70542015000200009.
- Carneiro, H. C. F., Tonon, R.V., Grosso, C. R. F., Hubinger, M. D. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *J Food Eng*, 115(4): 443–451, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033.
- Carr, R.L. (1965). Evaluating flow properties of solids. *Chem Eng*, 72: 163-168.
- Coronel-Delgado, A. Y., Ciro-Velásquez, H. J., Restrepo-Molina, D. A. (2017). Secado por aspersión de extractos líquidos de cúrcuma: Evaluación del proceso y propiedades de calidad del producto. *Ing Compet*, 19(1): 219, doi: 10.25100/iyc.v19i1.2146.
- Cortés-rojas, D. F., Souza, C. R. F., Olivera, W. P. (2014). Chemical Engineering Research and Design Optimization of spray drying conditions for production of *Bidens pilosa* L. dried extract. *Chem Eng Res Des*, 93: 366–376, doi: 10.1016/j.cherd.2014.06.010.
- Ferreira, S., Piovanni, G. M. O., Malacrida, C. R., Nicoletti, V. R. (2019). Influence of emulsification methods and spray drying parameters on the microencapsulation of turmeric oleoresin. *Emir J Food Agric*, 31(7): 491–500, doi: 10.9755/ejfa.2019.v31.i7.1968.
- Hailemichael, G., Zakir, M. (2021). Pre- and post-harvest practices influencing yield and quality of turmeric (*Curcuma longa* L.) in Southwestern Ethiopia: A review. *Afr J Agric Res*, 17(8): 1096–1105, doi: 10.5897/ajar2020.15409.
- Ghandehari Yazdi, A. P., Barzegar, M., Sahari, M. A., Gavlighi, H. A. (2021). Encapsulation of pistachio green hull phenolic compounds by spray drying. *J Agric Sci Technol*, 23(1): 51–64.
- Goëlo, V., Chaumon, M., Goncalves, A., Estevinho, B. N., Lepaba, F. R. (2020). Polysaccharide-based delivery systems for curcumin and turmeric powder encapsulation using a spray-drying process. *Powder Technol*, 370: 137–146, doi: 10.1016/j.powtec.2020.05.016.
- Gomes, J. V. P., Oliveira, L. A., Francisquini, J. A., Anunciação, P. C., Stephani, R., Oliveira, L. F., Perrone Í. T., Carvalho, A. F., Lucia, C. M. D. (2020). Morphological characterization of whey protein concentrate admixture of microencapsulated curcumin by spray drying. *J Food Process Preserv*, 45(2): 1–8, doi: 10.1111/jfpp.15141.
- Güngör, K. K. (2021). Balkabağı kabuğundan çevre dostu yöntemler kullanılarak β -karoten ekstraksiyonu ve elde edilen ekstraktın farklı yöntemlerle enkapsülasyonu. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Antalya, Türkiye, 69 s.
- Jangam, S. V., & Thorat, B. N. (2010). Optimization of spray drying of ginger extract. *Dry Technol*, 28(12), 1426-1434.
- Koç, M. (2015). Farklı kurutma yöntemleri ile bal tozu üretim koşullarının optimize edilmesi ve depolama stabilitesinin belirlenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, İzmir, 202 s.
- Komonsing, N., Khuwijtjaru, P., Nagle, M., Müller, J., Mahayothee, B. (2021). Effect of drying temperature together with light on drying characteristics and bioactive compounds in turmeric slice. *J Food Eng*, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110695.
- Köprüalan, Ö., İltter, I., Akyıl, S., Koç, M., Kaymak Ertekin, F. (2021). Improving the stability of oily turmeric extract by microencapsulation using spray drying technique. *J Dispers Sci Technol*, doi: 10.1080/01932691.2021.1929290.
- Kshirsagar, A. C., Yenge, V. B., Sarkar, A., Singhal, R. S. (2009). Efficacy of pullulan in emulsification of turmeric oleoresin and its subsequent microencapsulation. *Food Chem*, 113(4): 1139–1145, doi: 10.1016/j.

- Liu, W., Chen, X. D., Cheng, Z. (2016). On enhancing the solubility of curcumin by microencapsulation in whey protein isolate via spray drying. *J Food Eng*, 169: 189–195, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2015.08.034.
- Mathew, D., Hsu, W. L. (2018). Antiviral potential of curcumin. *J Funct Foods*, 40: 692–699, doi: 10.1016/j.jff.2017.12.017.
- Myers R. H., Montgomery D. C., Anderson-Cook, C. M. (2011). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. 3th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Nisar, T., Iqbal, M., Raza, A., Safdar, M., Iftikhar, F., Waheed, M. (2015). Estimation of Total Phenolics and Free Radical Scavenging of Turmeric (*Curcuma longa*). *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, 15(7): 1272–1277, doi: 10.5829/idosi.ajeaes.2015.15.7.9527.
- Özgüner-Kabak, M. (2019). Meyan kökünde bulunan bazı biyoaktif bileşenlerin ekstraksiyonu üzerine farklı yöntemlerin etkisinin araştırılması. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Antalya, Türkiye, 70 s.
- Papillo, V. A., Arlorio, M., Locatella, M., Fusob, L., Pellegrini, N., Foglianod, V. (2019). In vitro evaluation of gastro-intestinal digestion and colonic biotransformation of curcuminoids considering different formulations and food matrices. *J Funct Foods*, 59: 156–163, doi: 10.1016/j.jff.2019.05.031.
- Patel, S. S., Pushpadass, H. A., Franklin, M. E. E., Battula, S. N., Vellingiri, P. (2021). Microencapsulation of curcumin by spray drying: Characterization and fortification of milk. *J Food Sci Technol*, doi: 10.1007/s13197-021-05142-0.
- Sablania, V., Bosco, S. J. D. (2018). Optimization of spray drying parameters for *Murraya koenigii* (Linn) leaves extract using response surface methodology. *Powder Technol*, 335: 35–41, doi: 10.1016/j.powtec.2018.05.009.
- Sahin Nadeem, H., Torun, M., Özdemir, F. (2011). Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. *Food Sci Technol*, 44: 7: 1626–1635, doi: 10.1016/j.lwt.2011.02.009.
- Sana, S., Arshad, M. U., Saeed, F., Ahmad, R. S., Imran, A., Tufail, T. (2019). Nutritional characterization of cinnamon and turmeric with special reference to their antioxidant profile. *Int J Biosci*, 15(4): 178–187, doi: 10.12692/ijb/15.4.178-187.
- Singh, R., Feroze, S.M., Kumar, S., (2020). Production of Turmeric in North East Hill Region of India: A Value Chain Analysis. *Indian J Agric Econ*, 75(4): 359–374.
- Škerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hraš, A. R., Simonič, M., & Knez, Ž. (2005). Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *Food Chem*, 89(2): 191–198, doi: 10.1016/j.foodchem.2004.02.025.
- Şahin Nadeem, H., Torun, M., Özdemir, F. (2011). Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT - Food Sci Technol*, 44(7): 1626–1635, doi: 10.1016/j.lwt.2011.02.009.
- Tanvir, E. M., Hossen, M. S., Hossain, M. F., Afroz, R., Gan, S. H., Khalil, M. I., Karim, N. (2017). Antioxidant properties of popular turmeric (*Curcuma longa*) varieties from Bangladesh. *J Food Qual*, 1–8, doi: 10.1155/2017/8471785.
- Tasova, M., Özkurt, M. (2018). Korunga (*Onobrychis sativa* L.) Tohumlu ğunun Bazı Biyoteknik ve Renk Özelliklerinin Belirlenmesi. *Int J Life Sci Biotechnology*, 1(2): 48–58, doi: 10.38001/ijlsb.475100.
- Tayyem, R. F., Heath, D.D., Al-Delaimy, W. K., Rock, C.L. (2006). Curcumin content of turmeric and curry powders. *Nutr Cancer*, 55(2): 126–131, doi: 10.1207/s15327914nc5502_2.
- Torun M., Dincer C., Topuz A., Sahin-Nadeem H., Ozdemir F. (2015). Aqueous extraction kinetics of soluble solids, phenolics and flavonoids from sage (*Salvia fruticosa* Miller) leaves.

J Food Sci Technol, 52(5): 2797-2805, doi: 10.1007/s13197-014-1308-8.

Tsali, A., Goula, A. M. (2018). Valorization of grape pomace: Encapsulation and storage stability of its phenolic extract. *Powder Technol*, 340: 194–207. doi: 10.1016/j.powtec.2018.09.011.

Vidović, S. S., Vladić, J. Z., Vaštag, Ž. G., Zeković, Z. P., Popović, L. M. (2014). Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in *Satureja montana* dry powder extract obtained by spray drying technique. *Powder Technol*, 258, 209–215, doi: 10.1016/j.powtec.2014.03.038.

Yang, Q. Q., Chenga, L. Z., Zhangb, T., Yaronc, S., Jiand, H. X., Suia, Z. Q., Corkea, H. (2020). Phenolic profiles, antioxidant, and antiproliferative activities of turmeric (*Curcuma longa*). *Ind Crops Prod*, 152: 1-8, doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112561.

Zhang, N., Li, H., Jia, J., He, M. (2015). Anti-inflammatory effect of curcumin on mast cell-mediated allergic responses in ovalbumin-induced allergic rhinitis mouse. *Cell Immunol*, 298(1–2): 88–95, doi: 10.1016/j.cellimm.2015.09.010.