



Dondurarak kurutulmuş bal tozu üretimi; fizikokimyasal ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi

Production of freeze-dried honey powder; determination of its physicochemical and technological properties

Şeyda Yanardağ Karabulut^{1,*} , Gülce Bedis Kaynarca² , Hatice Şanlıdere Aloglu³ ,
Harun Uran⁴

^{1,2,3,4} Kırklareli University, Department of Food Engineering, Kırklareli Türkiye

Öz

En yüksek bal içeriğine, en yüksek verime ve aynı zamanda iyi fizikokimyasal ve teknolojik özelliklere sahip bal tozu elde etmek için üç farklı taşıyıcı ajan (peynir altı suyu protein izolatu, maltodekstrin ve sığır jelatini) iki farklı bal: taşıyıcı oranı (60:40 ve 70:30) ve üç farklı besleme katı konsantrasyon oranı (%20, %30 ve %40 bal+taşıyıcı) parametreleri kullanılarak çalışılmıştır. Dondurarak kurutulmuş (liyofilize) örneklerde, düşük su aktivitesi (0.238), nem (%2.78), higroskopisi (%13.05), Hausner oranı (HR) (1.049), Carr indeks (CI) (4.651) ve yüksek çözünürlük (32.5 saniye) parametreleri en iyi olan örnek, besleme çözeltisinin katı konsantrasyonunun (bal + taşıyıcı) %30 olduğu, bal:taşıyıcı oranının ise 60:40 olduğu formülasyonda taşıyıcı olarak maltodekstrinin kullanıldığı örnek grubu olarak belirlenmiştir. Higroskopitesi oldukça yüksek bir ürün olan balın taşıma, muhafaza ve ürün formülasyonlarında kullanılabilirliğini geliştirmek için toz formuna dönüştürülmesi önemlidir. Bu çalışma ile geliştirilen toz ürünlerin sütlü tatlılar, unlu mamüller ve şekerleme formülasyonlarında sakkaroz alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Bal tozu, Dondurarak kurutma, Peynir altı suyu protein izolatu, Maltodekstrin, Sığır jelatini

1 Giriş

Bal; bal arılarının (*Apis mellifera* L.) bitkilerden topladığı nektar, bitki salgısı ve bazı bitki emen böceklerin dışkılarına tükürük salgılarını ilave edip peteklerde olgunlaştırdıkları, eşsiz tada sahip doğal tatlı bir üründür [1, 2, 3]. Polifenol, organik asit, enzim, amino asit gibi mikro bileşenlerce (180'den fazla biyoaktif bileşik) zengin olmasının yanı sıra sayılamayan tıbbi, besleyici, antimikrobiyel, antioksidatif ve prebiyotik (içerdiği oligosakkaritler sayesinde) özellikleri ile de fonksiyonel bir gıda olarak kabul edilmektedir [3, 4, 5, 6, 7]. Balın antioksidan özellikleri hem enzimatik (glukoz oksidaz, katalaz, peroksidaz vb.) hem de enzimatik olmayan maddelerden (karotenoidler, α-tokoferol, flavonoidler, fenolik asitler vb.) kaynaklanır [8]. Balın sahip olduğu bütün

Abstract

In order to obtain honey powder with the highest honey content, the highest yield, and simultaneously good physicochemical and technological properties, three different carrier agents (whey protein isolate, maltodextrin, and bovine gelatin), two different honey-to-carrier ratios (60:40 and 70:30), and three different feed solid concentration ratios (20%, 30%, and 40% honey + carrier) were investigated. Among the freeze-dried (lyophilized) samples, the formulation in which maltodextrin was used as the carrier agent, with a feed solution solid concentration (honey + carrier) of 30% and a honey-to-carrier ratio of 60:40, was determined to be the optimal group. This formulation exhibited the best parameters, including low water activity (0.238), moisture content (2.78%), hygroscopicity (13.05%), Hausner ratio (HR) (1.049), Carr index (CI) (4.651), and high solubility (32.5 seconds). Given that honey is a highly hygroscopic product, its conversion into powder form is crucial for improving its transportation, storage, and usability in product formulations. The honey powder developed in this study is considered a potential alternative to sucrose in dairy desserts, bakery products, and confectionery formulations.

Keywords: Honey powder, Freeze-drying, Whey protein isolate, Maltodextrin, Bovine gelatine.

bu özellikler tüketici talebini artırmakla birlikte farklı gıda ürünlerine fonksiyonel özellik kazandırmak amacıyla da kullanım alanı bulmaktadır [9]. Şekerleme ve fırıncılık ürünlerinde şeker ikamesi olarak, sosis, et köftesi, balık, meyve ve sebze gibi gıdalarda ise raf ömrünü ve/veya biyoaktif bileşence zenginleştirme amacıyla kullanılmaktadır [9]. Bütün bu olumlu özelliklerine rağmen balın gıda bileşeni olarak kullanımı, yüksek viskozitesi ve higroskopite ayrıca kristalizasyona yatkınlığı nedeniyle zorluk teşkil etmektedir. Isıl işlem gören gıdalarda kullanımı ise kanserojen bir bileşen olan hidroksimetilfurfural içeriğinin artması nedeniyle sınırlıdır [6, 7]. Balın raf ömrü boyunca kristalleşmesi ile birlikte su aktivitesinin artması balda mayalar tarafından istenmeyen fermentasyona neden olabilmektedir [4, 10]. Bu sorunların üstesinden gelmek ve

* * Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: seydakarabulut@klu.edu.tr (Ş. Yanardağ Karabulut)

Geliş / Received: 19.03.2025 Kabul / Accepted: 17.04.2025 Yayınlanma / Published: 15.07.2025

doi: 10.28948/ngumuh.1660966

bal tüketimini artırmak için çeşitli kurutma teknikleriyle bal tozu, granül bal, bal gevreği gibi bal bazlı yeni ürünler geliştirilmektedir [2, 7, 11]. Bu ürünlerden biri olan bal tozu; sprey, vakum ve mikrodalga vakumlu kurutma gibi farklı kurutma yöntemleriyle üretilmektedir [11]. Bal tozu; paketlenme ve taşıma kolaylığı sağlayarak, balın fermentasyonu önler, raf ömrünü artırır ve gıda endüstrisinde kullanım kolaylığı sağlar [7, 10]. Ayrıca kuru karışımlara, çeşnilere veya kuru kaplamalara doğrudan eklenebilme kolaylığı da sağlamaktadır [12].

Camsılığa geçiş sıcaklığı (T_g), özellikle düşük su içeriğine sahip sistemlerde (dondurulmuş gıdalar, kurutulmuş gıdalar, ekstrüde edilmiş gıdalar ve şekerlemeler) daha fazla önem arz etmektedir [12]. T_g 'si -27 ile -51 °C arasında değişen bal gibi şeker açısından zengin gıdalarda, gıdanın amorf yapısını artırıcı bir proses olan kurutma işleminin uygulanması glukoz (~%31, T_g : 31 °C) ve fruktoz (~%38, T_g : 5 °C) gibi camsı yapıdaki düşük moleküler ağırlıklı şekerlerden dolayı zordur [3, 5, 6, 7, 9, 11]. Bu durum toz partiküllerinde yapışkanlık ve topaklaşma sorunlarına yol açar. Bu nedenlerden dolayı sıvı balın toz haline başarılı bir şekilde dönüştürülebilmesi ve bu sorunların aşılabilmesi için yüksek molekül ağırlıklı taşıyıcı maddelerin bala eklenmesi gerekmektedir [6, 7, 9, 11].

Protein, karbonhidrat, diyet lif gibi polimerik gıda bileşenleri bal tozu üretiminde kullanılan dolgu malzemeleridir [13]. Bu amaçla maltodekstrin, arabik gam, peynir altı suyu proteini izolatu veya sodyum kazeinat gibi taşıyıcılar kullanılmaktadır [9]. Taşıyıcı ajanlarla birlikte akışkanlık maddesi olarak gliserol monostearat ve topaklanmayı önleyici madde olarak trikalsiyum fosfat, kalsiyum stearat ve magnezyum karbonat kullanılabilmektedir [14, 15]. Bu taşıyıcılar molekül ağırlıkları ile doğru orantılı olarak T_g 'yi artırmaktadırlar [9, 16]. Bu çalışmada kullanılan peynir altı suyu protein izolatu, maltodekstrin ve sığır jelatinin molekül ağırlıkları sırasıyla 18 kDa [17], 937-2225 Da [18] ve 22 kDa [19] olarak bilinmektedir. Bunların yanı sıra peynir altı suyu protein izolatu veya sodyum kazeinat gibi düşük miktarlarda yüzey aktif maddelerin eklenmesi balın kapsüllenmesini de sağlamaktadır [16].

Dondurarak kurutma yavaş ve pahalı bir kurutma yöntemi olmasına rağmen yüksek kaliteli kuru gıda ürünleri üretilmesine olanak sağlar. Dondurarak kurutma işlemi sırasında su, süblimasyon yoluyla donmuş üründen çıkarılır [17]. Dondurarak kurutma oksijensiz ortamda düşük sıcaklıkta kurutma sağladığı için yüksek uçucu bileşik içeriği, ısıya duyarlı bileşiklerin ve aromanın korunması, yapının korunması, besinsel ve biyoaktif özelliklerin korunması, enzimatik olmayan veya oksidatif reaksiyonlardan kaynaklanabilecek hasarların düşük olması gibi bazı avantajlara sahiptir [7]. Yapılan bir çalışmada liyofilize bal tozunun daha yüksek α -amilaz aktivitesi ve daha düşük hidroksimetilfurfural içeriği ile püskürtmeli kurutucuda kurutulmuş bal tozundan daha iyi kalite özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir [10]. Başka bir çalışmada ise liyofilizasyon işleminin balın toplam fenolik madde içeriğini % 21-32 azaltmasına rağmen antioksidan aktivitesini değiştirmediğini göstermiştir [18].

Bu çalışmanın amacı, yüksek bal içeriğine, yüksek verime sahip olan ve aynı zamanda iyi fizikokimyasal ve teknolojik özelliklerde bal tozu elde etmektir. Bal, birçok ısıya duyarlı bileşen içerir ve ısı işlem sırasında bu ısıya duyarlı moleküllerin zarar görme ve balın kalitesini düşürme olasılığı vardır [19]. Bu nedenle balın kurutulmasında dondurarak kurutma (liyofilizasyon) yöntemi tercih edilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde balın liyofilizatör ile kurutulmasında taşıyıcı olarak genellikle maltodekstrin, peynir altı suyu protein izolatu ve arabik gamın kullanıldığı görülmektedir [6, 7, 10, 12, 14, 20, 22]. Bu çalışmada ise peynir altı suyu protein izolatu (P) ve maltodekstrinin yanı sıra (M) farklı olarak sığır jelatini (J) kullanılmıştır. Literatür verilerine benzer olarak [6, 7, 10, 12, 14, 20, 22] kurutma petrilere dökülecek solüsyonlar 60:40 ve 70:30 bal:taşıyıcı içerecek şekilde iki farklı konsantrasyonda hazırlanmıştır. Literatür çalışmalarından farklı olarak kurutulacak solüsyonların katı madde miktarı, toz verimi ve kalitesine etkisini görmek için farklı oranlarda (%20, %30 ve %40 bal+taşıyıcı) hazırlanmıştır. Elde edilen toz balların renk, su aktivitesi, nem, yığın yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk, çözünürlük, higroskopite, % geri kazanım ve bal+taşıyıcıdan uzaklaştırılan % su değerleri incelenmiştir.

2 Materyal ve metod

2.1 Materyal

Bu çalışma Kırklareli bölgesindeki arıcılardan temin edilen coğrafi işaretli meşe balı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı ajan olarak ise peynir altı suyu protein izolatu (Alfasol, Türkiye), maltodekstrin (Alfasol, Türkiye) ve sığır jelatini (Tijda, Türkiye) kullanılmıştır.

2.2 Bal solüsyonlarının hazırlanması ve liyofilizasyonu

Bal ve taşıyıcı maddeler, Tablo 1'de belirtilen oranları sağlayacak miktarda tartılıp saf su içerisinde, manyetik karıştırıcıda, oda sıcaklığında tamamen çözündürülmüştür. Petrilere 20 ml örnek yaklaşık 2-3 mm kalınlığında dökülmüştür. Karışım -80 °C'de 24 saat dondurulduktan sonra 72 saat boyunca 0.112 mbar basınçta liyofilizatörde (TRS4-4DS, Teknosem Corp., İstanbul, Türkiye) kurutulmuştur. Toz örnekler vakum ambalajlanarak analize kadar -18 °C'de depolanmıştır.

2.3 Renk analizi

Renk parametreleri olan L^* (parlaklık, siyah(0)-beyaz(100)), a^* (kırmızı(+)-yeşil(-)) ve b^* (sarı(+)-mavi(-)) değerleri Konica Minolta Chromo Meter CR-400 (Tokyo, Japonya) cihazı ile belirlenmiştir.

2.4 Su aktivitesi tayini

Bal tozu örneklerinin su aktivitesi, ± 0.001 hassasiyete sahip su aktivitesi ölçüm cihazı (Novasina LabSwift, Lachen, İsviçre) kullanılarak belirlenmiştir.

2.5 Nem tayini (%)

Toz örneklerin % nem içeriği, 105 °C'de 4 saat boyunca etüvde (Nüve, FN055, Türkiye) kurutulmasıyla gravimetrik olarak belirlenmiştir [20].

Tablo 1. Liyofilizasyon için hazırlanan örnek grupları

Örnek kodu	Taşıyıcı adı	Bal:taşıyıcı oranı	Besleme çözeltisi katı konsantrasyonu (%)
6/P20	Peynir altı suyu protein izolatu	60:40	20
6/P30	Peynir altı suyu protein izolatu	60:40	30
6/P40	Peynir altı suyu protein izolatu	60:40	40
6/M20	Maltodekstrin	60:40	20
6/M30	Maltodekstrin	60:40	30
6/M40	Maltodekstrin	60:40	40
6/J20	Sığır jelatini	60:40	20
6/J30	Sığır jelatini	60:40	30
6/J40	Sığır jelatini	60:40	40
7/P20	Peynir altı suyu protein izolatu	70:30	20
7/P30	Peynir altı suyu protein izolatu	70:30	30
7/P40	Peynir altı suyu protein izolatu	70:30	40
7/M20	Maltodekstrin	70:30	20
7/M30	Maltodekstrin	70:30	30
7/M40	Maltodekstrin	70:30	40

2.6 Yığın yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk tayini

Toz örneklerin yığın yoğunluğu (pB) Santhalakshmy vd. [21]'nin, sıkıştırılmış yoğunluk (pT) ise Suhag vd. [8]'nin önerdiği prosedür uygulanarak belirlenmiştir. Yığın yoğunluk için: 1 g toz 10 ml'lik dereceli bir silindire yüklenip işgal edilen hacim kaydedilmiş ve daha sonra yığın yoğunluğunu (pB) hesaplamak için kullanılmıştır. Sıkıştırılmış yoğunluk için; iki gram toz, 10 ml'lik boş bir dereceli silindirde el ile 10 cm yükseklikten bir tezgâha 40 kez vurularak ve tozun kütesinin numunenin kapladığı hacme bölünmesiyle hesaplanmıştır. Yığın yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinden Jinapong vd. [22] önerdiği şekilde tozun akışkanlığını gösteren Carr indeksi (CI) değeri Denklem (1) ve yapışkanlığını gösteren Hausner oranı (HR) Denklem (2)'ye göre belirlenmiştir [23]

$$CI = \left[\frac{\rho T - \rho B}{\rho T} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$HR = \frac{\rho T}{\rho B} \quad (2)$$

2.7 Çözünürlük tayini

Tozların çözünürlüğü, oda sıcaklığında 100 ml'lik bir cam beher içindeki 25 ml damıtılmış suya 1 g örnek ilave edilerek ölçülmüştür. Karışım, 875 rpm'de (karıştırma çubuğu 5 mm x 15 mm) manyetik bir karıştırıcıyla çalkalanmış ve tamamen çözünmesi için gereken süre kaydedilmiştir [16].

2.8 Higroskopisite tayini

Higroskopisite için, 1g toz örnek tartım kaplarına konulduktan sonra 25°C'de içerisinde %75.3 bağıl nemi sağlayacak olan doygun NaCl çözeltisi içeren desikatöre yerleştirilmiş ve 1 hafta boyunca belirli aralıklarla tartım alınarak en sonundaki kütle artışı hesaplanmıştır. Higroskopik oranı (g H₂O/dk, bal tozunun ağırlık değişiminin eğimi) ve 100 g kuru katı başına bir hafta sonra

emilen nem g olarak ifade edilen higroskopik indeksi elde etmek için numuneler ilk 4 saat boyunca saatte bir tartılmıştır [16].

2.9 Kurutmada % geri kazanım oranı tayini

Toz geri kazanımı Denklem (3)'e göre hesaplanmıştır [16].

$$\% \text{ geri kazanım} = \frac{M_1}{M_2} \times 100 \quad (3)$$

M₁ beslemedeki katı madde (g) miktarını, M₂ ise liyofilizasyon sonrası tartımı (g) göstermektedir.

2.10 Kurutmada bal ve taşıyıcı kitlesinden uzaklaştırılan % su miktarı tayini

Bal ve taşıyıcı kitlesinden uzaklaştırılan % su miktarı Denklem (4)'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{uzaklaştırılan \% su miktarı} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (4)$$

M₁ beslemedeki katı madde (g) miktarını, M₂ ise liyofilizasyon sonrası tartımı (g) göstermektedir.

2.11 İstatistiksel analiz

Örnek grupları arasındaki farklılık varyans analizi, tek yönlü varyans analizi (ANOVA), çoklu karşılaştırmalar (Post Hoc Multiple Comparisons) ile, değişkenler arasındaki ilişki ise Pearson korelasyonu ile SPSS 22 (SPSS Inc., Chicago, USA) programında değerlendirilmiştir. Posthoc testlerinden Duncan, çoklu karşılaştırma testi) kullanılmıştır. Farklılıktaki anlamlılık düzeyi $P < 0.05$ olarak belirlenmiştir.

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Renk analizi

Bal tozunun rengi tüketici beğenisi açısından önem taşımaktadır. Bal; çeşidine bağlı olarak rengi açık sarıdan kehribar rengine hatta siyaha kadar değişen geniş renk skalasına sahip bir üründür. Bu çalışmada kullanılan meşe balı için L*, a* ve b* değerleri sırasıyla 44.48±0.30, 30.41±1.13 ve 28.69±0.70 olarak belirlenmiştir. Tablo 2'de görüldüğü üzere iyi bir bal tozu için istenen düşük L* değeri bal oranı artırılarak elde edilebilir. Tablodaki negatif a* değerleri yeşillik düzeyini gösterirken, pozitif b* değerleri ise sarılık düzeyini göstermektedir. Bal tozlarının renk değerleri meşe balının renk değerleri ile kıyaslandığında L* değerinde artış a* ve b* değerlerinde ise azalma görülmektedir. L* değerindeki artışın taşıyıcı varlığından kaynaklandığı ve buna bağlı olarak elde edilen tozun daha beyaz olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Örnek gruplarının L* değerleri, taşıyıcı türü yönünden kıyaslandığında, aralarındaki farklılık istatistiksel olarak önemli olup; meşe balına en yakın değerler sırasıyla jelatin, maltodekstrin ve peynir altı suyu protein izolatu içeren örnek gruplarında görülmüştür ($P < 0.05$). Bu sıralama a* değeri için jelatin, peynir altı suyu protein izolatu ve maltodekstrin şeklinde iken b* değeri için ise jelatin, maltodekstrin ve peynir altı suyu protein izolatu şeklindedir. Bu durum taşıyıcıların renk ve çözünürlük özelliklerindeki farklılık ile

açıklanabilir. Nitekim maltodekstrin ve jelatin çözündüğünde saydam ve homojen bir çözelti oluştururken peynir altı suyu protein izolatu ise opak ve beyazımsı bir çözelti oluşturmaktadır. Ayrıca jelatin maltodekstrine kıyasla daha sarıya yakın bir toz niteliğindedir. Dolayısıyla elde edilen tozların renk değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Şekil 3).

Oses vd. [16] yaptıkları çalışmada, liyofilize bal örneklerinin L*, a*, b* değerlerini peynir altı suyu protein izolatu içeren örnekler için sırasıyla 66.89-78.31; 2.40-5.72; 22.49-27.73 ve maltodekstrin içeren örnekler için ise 69.46-83.05; 1.15-6.04; 20.92-29.05 olarak belirlemişlerdir. Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar Oses vd. [16]'nın sonuçları ile kıyaslandığında hem peynir altı suyu içeren hem de maltodekstrin içeren örnek gruplarının L* değerleri (78.18-95.84) daha yüksek iken a* ((-0.57)-1.2) ve b* (12.06-20.86) değerleri daha düşüktür. Aynı taşıyıcıların kullanıldığı ve bal:taşıyıcı oranının 60:40 olduğu başka bir liyofilize bal tozu çalışmasında ise L*, a*, b* değerleri peynir altı suyu protein izolatu içeren örnekler için sırasıyla 86.65-89.18; (-0.84)-(-0.04); 7.64-12.82 ve maltodekstrin içeren örnekler için ise 90.30-91.55; (-0.05)-(0.01); 8.14-12.52 olarak belirlenmiştir [17]. Bal:taşıyıcı oranının 60:40 olduğu örnek gruplarından peynir altı suyu içeren tozların L* (93.64-95.84), a* ((-0.07)-(-0.02)), b* (14.65-15.23) değerleri Ganaie vd. [17]'nin sonuçlarından daha yüksek iken maltodekstrin içeren tozların ise L* (78.18-89.07) değerleri daha düşük, a* ((-0.57)-0.22) ve b* (12.06-19.25) değerleri daha yüksek bulunmuştur. Cantero vd.'nin [7] yaptığı çalışmada ise (bal:maltodekstrin oranı 75:25; toplam katı konsantrasyonu %45) bu değerler 75.88-87.71, (-1.75)-2.85, 10.82-28.73 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Bal tozlarının renk analizi sonuçları

Örnek kodu	L*	a*	b*
Bal	44.48±0.30 ^j	30.41±1.13 ^a	28.69±0.70 ^a
6/P20	93.64±0.02 ^b	-0.02±0.02 ^b	14.65±0.03 ^k
6/P30	95.84±0.23 ^a	-0.07±0.01 ^b	15.22±0.02 ^j
6/P40	95.37±0.17 ^a	-0.02±0.01 ^b	15.23±0.01 ^j
6/M20	89.07±1.56 ^d	-0.57±0.01 ^j	12.06±0.28 ^l
6/M30	78.18±1.17 ^g	-0.31±0.04 ^j	17.75±0.15 ^h
6/M40	84.24±1.68 ^f	0.22±0.07 ^f	19.25±0.04 ^{ef}
6/J20	78.92±2.35 ^g	0.14±0.22 ^{fg}	15.51±0.48 ^j
6/J30	56.67±0.10 ⁱ	2.28±0.16 ^b	21.87±0.32 ^c
6/J40	70.11±0.01 ^h	-0.04±0.00 ^h	22.73±0.07 ^b
7/P20	83.63±0.06 ^f	1.20±0.02 ^c	20.86±0.03 ^d
7/P30	87.91±0.03 ^d	0.88±0.02 ^d	19.07±0.02 ^f
7/P40	88.56±0.06 ^d	0.66±0.00 ^e	18.70±0.06 ^g
7/M20	86.35±0.00 ^e	0.03±0.02 ^{gh}	19.46±0.09 ^e
7/M30	88.58±0.31 ^d	14.65±0.03 ⁱ	17.04±0.53 ⁱ
7/M40	91.34±0.03 ^c	-0.02±0.02 ^h	17.79±0.09 ^h

a-l: aynı sütunda farklı küçük harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (P < 0.05).

3.2 Su aktivitesi tayini

Gıda stabilitesi açısından indikatör olarak kabul edilen ve mikroorganizmaların kullanabileceği serbest suyun bir ölçüsü olan su aktivitesi, balın mikrobiyel bozulmasının takibi için kritik önem teşkil etmektedir [24]. Dolayısıyla su aktivitesi liyofilize bal tozunun stabilitesini etkileyen önemli bir parametredir. Tablo 3 incelendiğinde bal oranı artınca su aktivitesinin arttığı gözlenmektedir. Bal oranındaki artış ile

gözlenen su aktivitesi artışı balın içeriği ile açıklanabilir. Nitekim gıdanın şeker içeriği yükseldikçe kurutma verimi düşmekte dolayısıyla su aktivitesi ve nemde artış görülmektedir. Ayrıca örnek solüsyonunun katı madde içeriği %20'den %40'a çıkarıldığında maltodekstrinli örneklerde su aktivitesi artış göstermiştir. Bu durum katı madde içeriğindeki artışın kurutma verimini azalttığını göstermektedir. Su aktivitesi maltodekstrin içeren örnek grubunda daha düşük değerlere sahip iken, jelatin içeren örnek grubunda en yüksek değerleri sergilemiştir. Bu durumun hidrofilik ve hidrofobik denge farklılığından ve protein karakterizasyonundaki taşıyıcının suyu bağlayarak buharlaşmayı önlemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [26]. Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre farklı taşıyıcı türlerine sahip örnek gruplarının su aktivitesi değerleri arasındaki farklılık önemli bulunmuştur (P < 0.05).

Oses vd. [16] yaptıkları liyofilize bal çalışmasında su aktivitesi değerlerini arabik gam, peynir altı suyu protein izolatu ve maltodekstrin içeren örnekler için sırasıyla 0.254-0.315; 0.250-0.263; 0.211-0.261 aralığında bulmuştur. Ganaie vd. [17] peynir altı suyu protein izolatu ve maltodekstrin içeren örneklerde su aktivitesini sırasıyla 0.249-0.264; 0.209-0.223 olarak belirlemiştir. Cantero vd. [7] ise maltodekstrin içeren liyofilize bal örneklerinde su aktivitesini 0.210-0.224 aralığında bulmuştur. Taşıyıcı kullanılmadan yapılan bal tozu çalışmalarında ise su aktivitesi 0.30 [25] ve 0.425-0.427 [2] olarak belirlenmiştir. Çalışmamızda elde ettiğimiz bal tozu örneklerine ait su aktivitesi değerlerinin 6/J40 grubu hariç olmak üzere (0.44) yukarıda verilen literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Bal tozlarının fiziksel analiz sonuçları

Örnek	Su aktivitesi	% Nem	Çözünürlük (s)
6/P20	0.29 ± 0.01 ^e	9.10 ± 0.10 ^e	146.0 ± 22.0 ^g
6/P30	0.26 ± 0.01 ^f	7.69 ± 0.02 ^d	232.0 ± 10.0 ^e
6/P40	0.24 ± 0.00 ^g	6.60 ± 0.04 ^e	109.0 ± 19.0 ^{gh}
6/M20	0.22 ± 0.00 ^h	2.83 ± 0.22 ^g	49.5 ± 2.5 ^{ij}
6/M30	0.24 ± 0.01 ^{gh}	2.78 ± 0.18 ^g	32.5 ± 2.5 ^j
6/M40	0.27 ± 0.01 ^f	2.78 ± 0.00 ^g	37.5 ± 0.5 ^j
6/J20	0.37 ± 0.00 ^c	9.77 ± 0.00 ^b	757.0 ± 45.0 ^c
6/J30	0.39 ± 0.01 ^b	10.48 ± 0.00 ^a	1503.0 ± 40.0 ^b
6/J40	0.44 ± 0.01 ^a	10.85 ± 0.00 ^a	1954.0 ± 33.0 ^a
7/P20	0.33 ± 0.02 ^d	9.67 ± 0.27 ^{bc}	401.5 ± 21.5 ^d
7/P30	0.29 ± 0.01 ^e	9.17 ± 0.58 ^{bc}	105.5 ± 12.5 ^h
7/P40	0.34 ± 0.01 ^d	9.27 ± 0.29 ^{bc}	81.0 ± 6.0 ^{hi}
7/M20	0.30 ± 0.01 ^e	2.71 ± 0.13 ^g	185.5 ± 18.5 ^f
7/M30	0.31 ± 0.00 ^e	4.60 ± 0.92 ^f	198.0 ± 34.0 ^{ef}
7/M40	0.33 ± 0.00 ^d	3.25 ± 0.53 ^g	101.5 ± 5.5 ^h

a-j: aynı sütunda farklı küçük harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (P < 0.05).

3.3 Nem tayini (%)

Toz örneklerin nem içeriği akışkanlık, yığın yoğunluk, yapışkanlık ve depolama stabilitesi açısından önem taşımaktadır [5]. Çalışmamızda elde ettiğimiz bal tozu örneklerinin nem içerikleri incelendiğinde, bal oranının daha yüksek olduğu maltodekstrinli örnek gruplarının çoğunda nem içeriğinin %4'ün altında olduğu görülmektedir (Bk. Tablo 3). Ayrıca peynir altı suyu protein izolatu içeren örneklerin nem içeriğinin (%6.60-%9.67) maltodekstrinli örneklerden (%2.71-%4.60) daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum hidrofilik ve hidrofobik denge

farkından kaynaklanabileceği gibi, peynir altı suyu protein izolatındaki protein yapısının suyu bağlaması ve damlacıkları ince bir film tabakasıyla kaplayarak buharlaşmayı önlemesi ile de açıklanabilir [26]. Elde edilen bulgular istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, farklı taşıyıcı içeren örnek gruplarının nem içerikleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($P < 0.05$).

Bal: taşıyıcı (maltodekstrin) oranının 1:2 olduğu bir çalışmada, liyofilize balın nem içeriği %4 olarak bulunmuştur [19]. Oses vd. [16]'nın yaptığı çalışmada ise arabik gam, peynir altı suyu protein izolatu ve maltodekstrin içeren grupların % nem içerikleri sırasıyla 4.09-5.12; 5.67-7.40 ve 1.90-3.42 olarak belirlenmiştir. Liyofilize bal üretim optimizasyonunun yapıldığı başka bir çalışmada örneklerin nem içerikleri %2.5-5.5 aralığında tespit edilmiştir [6]. Sramek vd. [4] ise taşıyıcı olarak %45 glikoz şurubu ve %1 peynir altı suyu protein izolatını kullandıkları çalışmada, toz örneğin nem içeriğini %3.1 olarak belirlemişlerdir. [25] farklı botanik kökenli bal çeşitleri ile yaptıkları çalışmada, örneklerin nem içeriklerini %1.30-1.63 aralığında bulmuşlardır. Taşıyıcı kullanılmadan gerçekleştirilen liyofilize bal çalışmalarında ise örneklerin nem içerikleri %4.17-5.24 [27] ve %10.1-11.5 [2] olarak belirlenmiştir. Bal tozu örneklerinin nem içeriklerinin kullanılan taşıyıcının özelliğine göre değişiklik gösterdiği yapılan çalışmalardan anlaşılmakta olup, bu çalışmada örnek gruplarının literatür ile büyük ölçüde uyumlu olduğu görülmektedir.

3.4 Çözünürlük tayini

Çalışmamızda elde ettiğimiz verilere göre %60 bal içeren maltodekstrinli örneklerin çözünürlüğü daha iyi bulunurken (32.5-49.5 saniye), bal içeriği %70 olan toz numunelerde genel olarak çözünürlük hızının yavaşladığı (81.0-401.5 saniye) gözlenmiştir (Bk. Tablo 3). Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre farklı taşıyıcıya sahip örnek gruplarının çözünürlükleri arasındaki fark önemlidir ($P < 0.05$). Bu durum taşıyıcıların çözünme hızlarının farklı olması ile açıklanabilir. Nitekim maltodekstrin yapısı gereği peynir altı suyu protein izolatu ve jelatine kıyasla daha kolay ve homojen olarak çözünmektedir.

Rivero vd. [6] arabik gam ve peynir altı suyu protein izolatu kullanarak yaptığı liyofilize bal çalışmasında, elde edilen örneklerin çözünürlüğünü %70-92.1 aralığında belirlemişlerdir. Farklı botanik kökenli bal çeşitleri ile yapılan bir başka çalışmada ise çözünürlük (2g tozun 25 ml suda, oda sıcaklığında, 890 rpm'deki çözünürlüğü) değerleri 5.28-14.62 saniye aralığında bulunmuştur [7]. Çözünürlük süresi metotta baz alınan örnek miktarı, çözgen miktarı, çözme işleminin gerçekleştirildiği beherin hacmi, karıştırma hızı (rpm) ve karıştırma çubuğunun boyutlarına bağlı olarak değişebileceği için literatür sonuçlarının çok geniş aralıkta değişkenlik göstermesi muhtemeldir. Sonuç olarak elde edilen toz ürünün çözünürlüğünün, taşıyıcının çözünürlüğüne bağlı olduğu söylenebilir. Buna bağlı olarak çözünürlüğü az ve yavaş olan peynir altı suyu protein izolatu ile hazırlanan toz balların çözünürlüğü daha yavaş olmuştur.

3.5 Yığın yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk tayini

Toz parçacıkların şekline, boyutuna ve yüzey özelliklerine bağlı olan yığın yoğunluk, paketleme ve taşıma maliyetlerini belirleyen önemli bir özelliktir. Düşük yığın yoğunluktaki tozlar için ambalajlama ve nakliye maliyetleri artacağından toz ürünlerde yüksek yığın yoğunluk arzu edilen bir durumdur [5]. Genel olarak tozların yığın yoğunluğu parçacık boyutuna bağlıdır ve parçacıklar ne kadar küçükse yığın yoğunluğu da o kadar yüksek olur [23]. Çalışmamızda örnek gruplarının yığın yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin sırasıyla 0.252 ile 0.500 ve 0.271 ile 0.537 g/ml arasında değiştiği tespit edilmiştir (Bk. Tablo 4). Peynir altı suyu protein izolatu içeren örneklerin yığın ve sıkıştırılmış yoğunluğu maltodekstrin içeren örneklerden yüksek olup, aralarındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). Oses vd. [16] yaptıkları çalışmada maltodekstrin ve peynir altı suyu protein izolatu içeren liyofilize bal örneklerinde sıkıştırılmış yoğunluğu sırasıyla 0.64 ve 0.45 g/ml olarak belirlemişler ve sıkıştırılmış yoğunluktaki artışı aglomerasyon ile ilişkilendirmişlerdir. Buna bağlı olarak tozdaki bal oranı arttıkça aglomerasyonun ve dolayısıyla da sıkıştırılmış yoğunluğun arttığını belirtmişlerdir. Yapılan bir diğer liyofilize bal çalışmasında ise yığın yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk peynir altı suyu protein izolatu içeren örneklerde 0.5-0.52 ve 0.68-0.70 g/ml ve maltodekstrin içeren örneklerde 0.37-0.41 ve 0.52-0.55 g/ml olarak belirlenmiştir [17]. Rivero vd. [6]'nın yaptığı liyofilize bal çalışmasında, yığın yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk sırasıyla 0.42-0.50; 0.45-0.57 g/ml olarak belirlenmiştir. Farklı botanik kökenli bal çeşitleri ile yapılan çalışmada ise sıkıştırılmış yoğunluk 0.455-0.626 aralığında bulunmuştur [7]. Tablo 4 incelendiğinde yoğunluk değerlerinin literatür ile uyumlu olduğu ve bal oranı arttıkça sıkıştırılmış yoğunluğun da arttığı görülmektedir. Ayrıca arzu edilen yüksek yığın yoğunluk; peynir altı suyu protein izolatu içeren, besleme solüsyonunun katı konsantrasyonu ile bal oranı yüksek olan örneklerde bulunmuştur. İstatistiksel olarak besleme katı konsantrasyonlarından %20 ile %40 arasındaki farklılık önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). Ayrıca yığın yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri arasında yüksek pozitif korelasyon belirlenmiştir ($r = 0.991$; $P = 0.000$). Sıkıştırılmış yoğunluk ve yığın yoğunluk değerlerinin nem değeri ile arasındaki pozitif korelasyon da önemli bulunmuştur (sırasıyla $r = 0.626$; $P = 0.026$; $r = 0.569$; $P = 0.043$).

Tozun akışkanlığını gösteren CI değeri Jinapong vd. [22]'in belirttiği üzere %15'in altında ise akışkanlığın iyi olduğunu, %45'in üzerinde ise kötü olduğunu göstermektedir. Tablo 4 incelendiğinde bütün toz örneklerinin akışkanlığının yüksek olduğu görülmektedir. Toz örneklerinin akışkanlıkları arasındaki farklılık katı konsantrasyonu bakımından önemli olup, en iyi akışkanlık sırasıyla %20, 40 ve 30 katı konsantrasyonuna sahip örnek gruplarında görülmüştür ($P < 0.05$). En iyi akışkanlık gösteren örnek grubunun ise düşük CI değeri ile taşıyıcı olarak maltodekstrinin kullanıldığı, solüsyondaki bal oranının %70 olduğu ve solüsyonun katı konsantrasyonunun ise %20 olduğu örnek olmuştur.

Tozun yapışkanlığını gösteren HR değerleri incelendiğinde ise bal tozlarında bu oranın 1.000-1.133 arasında değiştiği görülmektedir (Bk. Tablo 4). Samborska vd. [23]'in yaptığı toz bal çalışmasında bu oranın 1.25'in üzerinde olması durumunda toz ürünün düşük yapışkanlık ve yüksek akışkanlık gösterdiği bildirilmiştir. Jinapong vd. [22]'nin yaptığı çalışmada ise HR değeri 1.2'nin altında ise düşük yapışkanlık, 1.4'ün üzerinde ise yüksek yapışkanlık şeklinde sınıflandırıldığı belirtilmiştir. Çalışmamızdaki örnek gruplarının hepsinin HR değeri 1.25'in altındadır. Örnek gruplarından en düşük HR değerine sahip olan toz bal ise taşıyıcı olarak maltodekstrinin kullanıldığı, solüsyondaki bal oranının %70 olduğu ve solüsyonun katı konsantrasyonunun ise %20 olduğu örnek olmuştur. Örnek gruplarının HR değerleri arasındaki farklılık taşıyıcı cinsi ve bal konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli olup en iyi HR değerleri taşıyıcı olarak peynir altı suyu protein izolatı içeren örnek gruplarında iken, bal oranı bakımından ise %60 bal içeren örnek gruplarında görülmüştür ($P < 0.05$). Bu durum peynir altı suyu protein izolatının maltodekstrine kıyasla daha iyi taşıyıcı özellik göstermesi ile açıklanabilir. Peynir altı suyu protein izolatı maltodekstrine kıyasla hem yüksek molekül ağırlığı hem de yüksek kapsülleme özelliği sayesinde daha iyi taşıyıcı özellik göstermiştir.

Tablo 4. Bal tozlarının yoğunluk analizi sonuçları

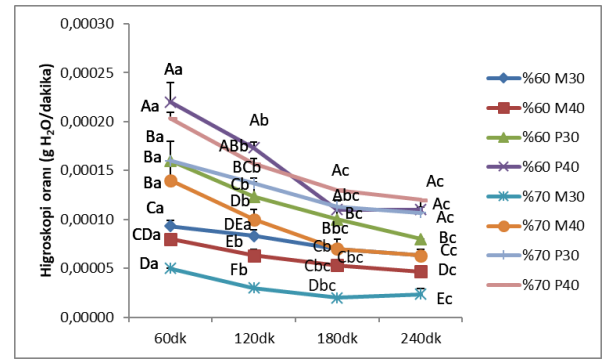
Örnek	Yığın yoğunluk (g/ml)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/ml)	CI	HR
6/P20	0.37 ± 0.02 ^c	0.40 ± 0.02 ^c	7.72 ± 0.38 ^{ab}	1.08 ± 0.01 ^{abc}
6/P30	0.42 ± 0.02 ^b	0.47 ± 0.03 ^b	11.64 ± 1.39 ^a	1.13 ± 0.02 ^a
6/P40	0.50 ± 0.01 ^a	0.54 ± 0.04 ^a	6.64 ± 5.11 ^{bc}	1.07 ± 0.06 ^{bc}
6/M20	0.25 ± 0.01 ^d	0.27 ± 0.02 ^d	6.85 ± 3.19 ^{bc}	1.07 ± 0.04 ^{bc}
6/M30	0.29 ± 0.02 ^d	0.30 ± 0.03 ^d	4.46 ± 2.89 ^{bc}	1.05 ± 0.03 ^{bcd}
6/M40	0.39 ± 0.01 ^{bc}	0.41 ± 0.01 ^c	5.10 ± 0.12 ^{bc}	1.05 ± 0.00 ^{bcd}
6/J20	*	*	*	*
6/J30	*	*	*	*
6/J40	*	*	*	*
7/P20	*	*	*	*
7/P30	0.47 ± 0.06 ^a	0.52 ± 0.05 ^{ab}	8.50 ± 2.77 ^{ab}	1.09 ± 0.03 ^{ab}
7/P40	0.49 ± 0.01 ^a	0.51 ± 0.03 ^{ab}	3.46 ± 0.00 ^{de}	1.04 ± 0.04 ^{bcd}
7/M20	0.28 ± 0.02 ^d	0.28 ± 0.02 ^d	0.00 ± 0.00 ^f	1.00 ± 0.00 ^d
7/M30	*	*	*	*
7/M40	0.50 ± 0.01 ^a	0.52 ± 0.01 ^{ab}	2.91 ± 0.06 ^{de}	1.03 ± 0.00 ^{cd}

a-f: aynı sütunda farklı küçük harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($P < 0.05$); * Akışkan bir toz elde edilemediği için ölçülemez.

3.6 Higroskopisite tayini

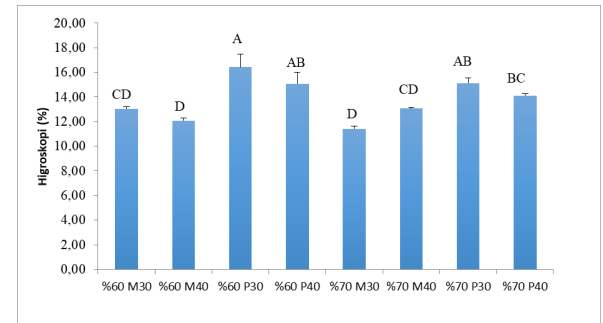
Bal tozu, ihtiva ettiği fruktozun yüksek nem tutma kapasitesi nedeniyle doğası gereği oldukça higroskopiktir [7]. Araştırmamızda elde ettiğimiz verilere göre, higroskopik oran 4 saat sonunda tüm örneklerde azalmış ve ilk 1 saat tüm örnekler hızlı bir şekilde nem çekmiştir (Bk. Şekil 1). Higroskopik oran, bal oranı değişimsiz en yüksek peynir altı suyu proteini içeren örneklerde olmuştur. %70 bal içeren ve taşıyıcı ajan olarak maltodekstrinin kullanıldığı örnekler en düşük higroskopik orana sahip toz örnek olarak belirlenmiştir. Peynir altı suyu protein izolatı içeren örnek gruplarından en keskin değişimi gösteren örneğin %60 bal içeren ve besleme katı konsantrasyonu %40 olan örnek grubu olduğu, maltodekstrin için ise %70 bal, %40 katı konsantrasyonlu örnek olduğu gözlenmiştir. Genel olarak

%30 katı konsantrasyonlu örneklerin daha az higroskopik olduğu söylenebilir. Osos vd. [16] yaptıkları çalışmada peynir altı suyu protein izolatı içeren örneklerin higroskopik oranını, maltodekstrin içeren örneklerden daha yüksek olarak belirlemişlerdir. Ancak maltodekstrin ve peynir altı suyu protein izolatının liyofilizasyonda taşıyıcı olarak kıyaslandığı bir başka çalışmada ise, maltodekstrin (28.04-28.97 > 22.23-23.80) içeren örneklerde % higroskopisite daha yüksek bulunmuştur [17]. Taşıyıcı olarak arabik gam ve peynir altı suyu protein izolatı karışımının kullanıldığı liyofilize bal çalışmasında % higroskopiklik 19.5-24.4 olarak belirlenmiştir [6]. Cantero vd. [7], elde ettikleri bal tozlarının % higroskopisite indekslerini 2.92-3.66 aralığında bulmuşlardır.



Şekil 1. Bal tozu örneklerinin higroskopik oranlarının zamanla değişimi. Büyük harfler aynı sürelerde örnekler arası farkı küçük harfler ise örneklerin farklı sürelerdeki farkını gösterir ($P < 0.05$).

Şekil 2 incelendiğinde, peynir altı suyu protein izolatı içeren örneklerin daha higroskopik olduğu söylenebilir. Bu durum peynir altı suyu protein izolatının T_g değerinin (59-106 °C [28] maltodekstrinin T_g değerinden (112-180 °C [29] daha düşük olması ile açıklanabilir [26]. Duncan çoklu karşılaştırmalar sonucuna göre bal oranı değişimi ile higroskopi arasındaki ilişki istatistiksel olarak önemli değildir ($P < 0.05$). %20'nin üzerinde higroskopi oranına sahip olan bal tozlarının çok higroskopik olarak değerlendirildiği Nurhad vd. [26]'nin çalışması baz alındığında, bütün örnek gruplarının % higroskopi oranlarının bu değerin altında olması bal tozlarının toz karakteristiğinin iyi olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Bal tozu örneklerinin % higroskopi değerleri. Grafikte sütunlar üzerinde aynı harfle gösterilen örnekler arasında istatistik olarak fark bulunmamaktadır ($P < 0.05$).

3.7 Geri kazanım (%)

Geri kazanım (%), püskürtmeli kurutmanın verimini belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Çünkü püskürtmeli kurutma esnasında kurutma çemberi, siklon gibi kurutma sistemi parçalarında ürün kayıpları olmakta ve verimi belirleyen ise örnek toplama haznesinde biriken ürün miktarı olmaktadır [3]. Liyofilizatörde ise böyle bir ürün kaybı yaşanmadığı için kurutma verimini kıyaslamak adına % geri kazanımdan ziyade kurutulan ürün ve taşıyıcı kitlesinin toplamından uzaklaştırılan su miktarının kıyaslanması daha doğru olacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda Tablo 5 incelendiğinde bal tozlarının geri kazanım oranının %85.31 ile %94.86 arasında olduğu görülmektedir. Bal ve taşıyıcı kitlesinden uzaklaştırılan su miktarı ise %5.14 ile %14.69 arasında değişmektedir. Besleme solüsyonundaki bal oranı arttıkça % geri kazanımın azaldığı, ancak bal ve taşıyıcı kitlesinden uzaklaştırılan % su miktarının arttığı görülmektedir. Bal ve taşıyıcı kitlesinden uzaklaştırılan su miktarı en yüksek olan örnek ise 60:40 bal:taşıyıcı içeren ve %40 katı konsantrasyonuna sahip olan örnek olmuştur. Taşıyıcı olarak arabik gam, peynir altı suyu protein izolatu ve maltodekstrinin kullanıldığı liyofilize bal üretimi üzerine yapılan bir çalışmada, geri kazanım oranları en yüksek maltodekstrin içeren örnekte görülmüş olmakla birlikte, bu oranlar %73.62-96.41 aralığında bulunmuştur [16]. Farklı botanik kökenli bal çeşitleri için dondurarak kurutma (bal:maltodekstrin oranı 75:25; toplam katı konsantrasyonu %45) ile elde edilen bal tozlarının özelliklerinin kıyaslandığı başka bir çalışmada ise, % geri kazanım 96.60-99.89 aralığında belirlenmiştir [7]. Örnek gruplarının % geri kazanım oranları literatür ile uyumludur. Taşıyıcı olarak jelatin içeren örneklerin katı fraksiyonu su bağladığı için ağırlıkta azalma yerine artış gözlenmiştir. Dolayısıyla geri kazanım ve uzaklaştırılan su miktarı belirlenememiştir.

Tablo 5. Bal tozlarında kurutma verimi sonuçları

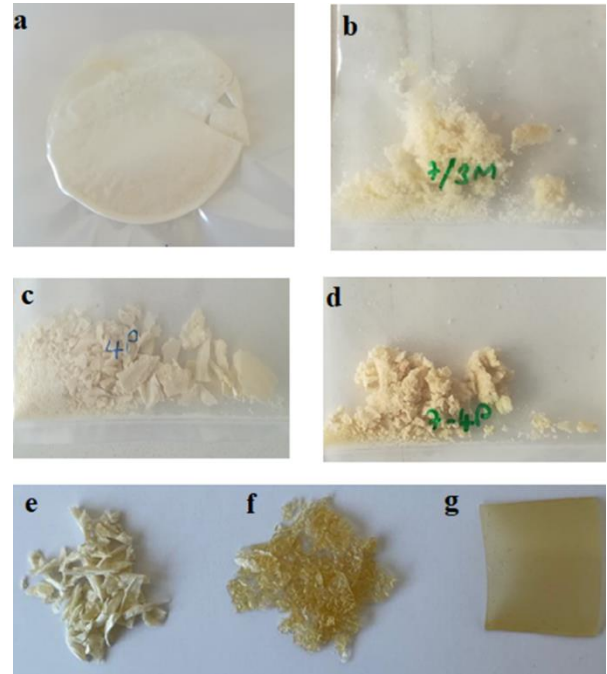
Örnek	% Geri kazanım	Bal ve taşıyıcı kitlesinden uzaklaştırılan % su miktarı
6/P20	94.86	5.14
6/P30	94.03	5.97
6/P40	85.31	14.69
6/M20	87.83	12.17
6/M30	89.34	10.66
6/M40	90.08	9.92
6/J20	*	*
6/J30	*	*
6/J40	*	*
7/P20	88.10	11.90
7/P30	88.15	11.85
7/P40	85.90	14.10
7/M20	87.57	12.43
7/M30	88.40	11.60
7/M40	87.20	12.80

* Saptanamadı.

3.8 Toz karakteristiği

Polimerik sistem olarak tanımlanan gıdalar amorf yapıdadırlar ve amorf yapıya sahip tozlar daha higroskopik ve yapışkan olup, akması ve dağılması zordur [5, 30]. Bu nedenle iyi toz karakteristiğinin elde edilebilmesi için doğru

formülasyonun geliştirilmesi önem teşkil etmektedir. Şekil 3a ve b’de görüldüğü gibi maltodekstrinli örneklerin bal içeriği yüzde 60’tan yüzde 70’e yükseldiğinde, toz ürünlerde daha fazla aglomerasyon gözlenmiştir. Peynir altı suyu protein izolatu içeren numuneler (Bk. Şekil 3c ve d) daha iyi toz ürün özellikleri göstermiştir. Bal oranı arttırılsa bile toz yapısı maltodekstrine göre daha iyi korunmuştur. Bu durum peynir altı suyu protein izolatının molekül ağırlığının (22 kDa) maltodekstrinden (937-2225 Da) daha yüksek olması ve dolayısıyla daha iyi taşıyıcı özellik göstermesi ile açıklanabilir. Taşıyıcı ajan olarak jelatin içeren örneklerde ise toz yapı oluşturulamamıştır (Bk. Şekil 3e, f ve g). Kurutulacak solüsyonun kuru madde oranı arttıkça oluşan ürün parçalanamaz niteliğe dönüşmüş ve elastik formda bir film oluşturmuştur. Molekül ağırlığı peynir altı suyu protein izolatu ile benzer olan jelatin (18 kDa) ile bal tozu elde edilebilmesi için daha düşük oranlarda kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. %60 bal içeren maltodekstrinli örnek (a); %70 bal içeren maltodekstrinli örnek (b), %60 bal içeren peynir altı suyu proteinli örnek (c); %70 bal içeren peynir altı suyu proteinli örnek (d), %20 kuru madde oranına sahip jelatinli örnek (e); %30 kuru madde oranına sahip jelatinli örnek (f) ve %40 kuru madde oranına sahip jelatinli örnek (g).

4 Sonuçlar

Bal tozunun stabilitesi ve rekonstitüsü için düşük nem içeriği ve su aktivitesi değerlerinin yanı sıra iyi çözünürlük ve düşük higroskopisite özellikleri önem teşkil etmektedir. Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk gibi ürün özellikleri de paketleme hususları ve taşıma maliyetleri açısından önemlidir. Bütün bu parametreler besleme çözeltisinin özelliklerinden güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Ayrıca tozun akıcılık ve çözünürlük gibi

teknolojik özellikleri, parçacık boyutu ve morfolojisi ile güçlü bir şekilde bağlantılıdır. Doğal olarak da farklı boyut ve morfolojideki taşıyıcılar toz ürüne farklı morfolojik ve teknolojik özellikler kazandırmaktadırlar.

Araştırmamızda elde ettiğimiz sonuçlara göre renk, su aktivitesi, nem, çözünürlük, higroskopik, HR ve CI parametreleri göz önünde bulundurulduğunda, her bir parametre için istenilen koşulların en iyi sağlandığı örnek grubunun; besleme çözeltisinin katı konsantrasyonunun (bal:taşıyıcı) %30 olduğu, bal:taşıyıcı oranının ise 60:40 olduğu ve taşıyıcı olarak maltodekstrinin kullanıldığı örnek grubu olduğu görülmüştür.

Bu çalışma ile dondurarak kurutma yöntemiyle salgı balı kategorisinde yer alan coğrafi işaretli meşe balı, başarılı bir şekilde toz forma dönüştürülmüştür. Elde edilen bu toz ürünün çeşitli formülasyonlarda kullanımı ile gıda endüstrisi için önemli bir alternatif sunacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından finanse edilen ve Yüksek Öğretim Kurumu tarafından koordine edilen Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşma Programı kapsamında Kırklareli Üniversitesi Gıda İhtisaslaşma Koordinatörlüğü tarafından BKOP_01 nolu proje ile desteklenmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): % 5

Kaynaklar

- [1] M.S. Ngalimat, R.N.Z.R.A. Rahman, M.T. Yusof, A. Syahir, S. Sabri. Characterisation of bacteria isolated from the stingless bee, *Heterotrigona itama*, honey, bee bread and propolis. *PeerJ*, 7, e7478, 2019. <https://doi.org/10.7717/peerj.7478>
- [2] N.M. Nedić, M. Gojak, I. Zlatanović, N. Rudonja, K.B. Lazarević, M.S. Dražić, K. Gligorević, M.B. Pajić. Study of vacuum and freeze drying of bee honey. *Thermal Science*, 24, 6, 4241-4251, 2020. <https://doi.org/10.2298/TSCI200317194N>
- [3] Y. Suhag, G.A. Nayik, I.K. Karabagias, V. Nanda. Development and characterization of a nutritionally rich spray-dried honey powder. *Foods*, 10, 1, 162, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10010162>
- [4] M. Sramek, B. Woerz, H. Horn, J. Weiss, R. Kohlus. Preparation of high-grade powders from honey-glucose syrup formulations by vacuum foam-drying method. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40, 4, 790-797, 2016. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12660>
- [5] K. Samborska. Powdered honey-drying methods and parameters, types of carriers and drying aids, physicochemical properties and storage stability. *Trends in food science & technology*, 88, 133-142, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.019>
- [6] R.C. Rivero, D.A. Archaina, C.M. Busquet, B.M.B. Coronel, V.M. Busch. Development of a honey-based powder ingredient using a mixture design: Botanical origin effect and hydration properties. *LWT*, 147, 111446, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111446>
- [7] L. Cantero, L. González-Ceballos, S. Vallejos, G. Puertas, M.A. Fernández-Muiño, M.T. Sancho, S.M. Osés. Impact of the Drying Procedure and Botanical Origin on the Physico-Chemical and Potentially Bioactive Properties of Honey Powders. *Foods*, 12, 21, 3990, 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12213990>
- [8] Y. Suhag, V. Nanda. Optimisation of process parameters to develop nutritionally rich spray-dried honey powder with vitamin C content and antioxidant properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 8, 1771-1777, 2015. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12841>
- [9] S.M. Osés, L. Cantero, G. Puertas, M.Á. Fernández-Muiño, M.T. Sancho. Antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activities of ling-heather honey powder obtained by different methods with several carriers. *LWT*, 159, 113235, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113235>
- [10] A. Keke, I. Cinkmanis. α -Amylase Activity in Freeze-Dried and Spray-Dried Honey. *Research for Rural Development*, 35, 2020. DOI: [10.22616/rrd.26.2020.017](https://doi.org/10.22616/rrd.26.2020.017)
- [11] C. Mutlu, A. Koç, M. Erbaş. Some physical properties and adsorption isotherms of vacuum-dried honey powder with different carrier materials. *LWT*, 134, 110166, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110166>
- [12] S.M. Osés, L. Cantero, M. Crespo, G. Puertas, L. González-Ceballos, S. Vallejos, M.Á. Fernández-Muiño, M.T. Sancho. Attributes of ling-heather honey powder obtained by different methods with several carriers. *LWT*, 150, 112063, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112063>
- [13] Y.H. Roos. Glass transition temperature and its relevance in food processing. *Annual review of food science and technology*, 1, 1, 469-496, 2010. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.102308.124139>
- [14] F. Fan, Y.H. Roos. Physicochemical properties, structural transformation, and relaxation time in strength analysis for honey powder models. *Food research international*, 122, 137-148, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.003>
- [15] K. Samborska, B. Bienkowska. Physicochemical properties of spray dried honey preparations. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 575, 2013.
- [16] H. Umesh Hebbar, N. Rastogi, R. Subramanian. Properties of dried and intermediate moisture honey products: A review. *International Journal of Food Properties*, 11, 4, 804-819, 2008. <https://doi.org/10.1080/10942910701624736>
- [17] A.R. Jambrak, T.J. Mason, V. Lelas, L. Paniwnyk, Z. Herceg. Effect of ultrasound treatment on particle size and molecular weight of whey proteins. *Journal of Food Engineering*, 121, 15-23, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.012>

- [18] N. Castro, V. Durrieu, C. Raynaud, A. Rouilly. Influence of DE-value on the physicochemical properties of maltodextrin for melt extrusion processes. *Carbohydrate Polymers*, 144, 464–473, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.004>
- [19] A. Saxena, K. Sachin, H.B. Bohidar, A.K. Verma. Effect of molecular weight heterogeneity on drug encapsulation efficiency of gelatin nano-particles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 45, 42–48, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2005.07.005>
- [20] T.A. Ganaie, F. Masoodi, S.A. Rather, A. Gani. Exploiting maltodextrin and whey protein isolate macromolecules as carriers for the development of freeze dried honey powder. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100040, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100040>
- [21] D. Stagos, N. Soultisiotis, C. Tsadila, S. Papaconomou, C. Arvanitis, A. Ntontos, F. Karkanta, S. Adamou-Androulaki, K. Petrotos, D.A. Spandidos. Antibacterial and antioxidant activity of different types of honey derived from Mount Olympus in Greece. *International journal of molecular medicine*, 42, 2, 726-734, 2018. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2018.3656>
- [22] A. Keke, I. Cinkmanis. Comparison of individual phenolic compounds in freeze-dried and spray-dried honey powders. 187-191, 2022. [UDC 638.162:547.56\]:66.047.3](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285447)
- [23] AOAC, Official Methods of Analysis, (Moisture in Nuts and Nuts Products), Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. 1995.
- [24] S. Santhalakshmy, S.J.D. Bosco, S. Francis, M. Sabeena. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, 274, 37-43, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.01.016>
- [25] N. Jinapong, M. Suphantharika, P. Jamnong. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of food engineering*, 84, 2, 194-205, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.032>
- [26] K. Samborska, E. Langa, A. Kamińska-Dwórznička, D. Witrowa-Rajchert. The influence of sodium caseinate on the physical properties of spray-dried honey. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 1, 256-262, 2015. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12629>
- [27] L.N. Ikhsan, K.-Y. Chin, F. Ahmad. Methods of the dehydration process and its effect on the physicochemical properties of stingless bee honey: a review. *Molecules*, 27, 21, 7243, 2022. <https://doi.org/10.3390/molecules27217243>
- [28] B. Nurhad, R. Andoyo, R. Indiarto. Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method. *International Food Research Journal*, 19, 3, 2012.
- [29] Y.H. Chen, W.C. Chuah, F.Y. Chye. Effect of drying on physicochemical and functional properties of stingless bee honey. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, 4, e15328, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15328>
- [30] T. Tultabayeva, U. Chomanov, M. Tultabayev, A. Shoman, U. Zhumanova, R. Kasymbek, B. Tultabayev. Technology Improvement Obtaining Powdered Dried Honey. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 124, 11, 2023. [10.15587/1729-4061.2023.285447](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285447)
- [31] P. Schuck, E. Blanchard, A. Dolivet, S. Méjean, E. Onillon, R. Jeantet. Water activity and glass transition in dairy ingredients. *Le Lait*, 85, 4-5, 295-304, 2005. <https://doi.org/10.1051/lait:2005020>
- [32] F. Avaltroni, P.-E. Bouquerand, V. Normand. Maltodextrin molecular weight distribution influence on the glass transition temperature and viscosity in aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*, 58, 3, 323-334, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.08.001>
- [33] P. Gabbott. A practical introduction to differential scanning calorimetry. Principles and applications of thermal analysis, 1-50, 2008. <https://doi.org/10.1002/9780470697702>

