



The Effect of Carrier Agent Addition on the Physicochemical Properties and Sorption Behavior of Freeze-Dried Jujube

Banu Koç^{1,a,*}, Tarık Yörükoğlu^{2,b}

¹Department of Gastronomy and Culinary Arts, Tourism Faculty, Gaziantep University, 27310 Gaziantep, Türkiye

²Food Processing Program, Türkoğlu Vocational School, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, 46800 Kahramanmaraş, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 27/07/2022 Accepted : 09/01/2023</p> <p>Keywords: Jujube powder Carrier agent Freeze-drying Sorption isotherm Physicochemical properties</p>	<p>The physical properties (bulk, tapped and particle density, flowability, porosity, particle size, hygroscopicity, degree of caking and reconstitution properties), chemical properties (moisture content, color, glass transition temperature, total phenolic content, and antioxidant activity) properties and sorption isotherms of freeze-dried jujube powder prepared with and without carrier agents (inulin, gum arabic, and whey) were studied. The moisture content, hygroscopicity, Carr index, Hausner ratio, and degree of caking of the powder with a carrier agent, especially whey, were lower than jujube powder without carrier agent (control). In contrast, the glass transition temperature, bulk, and tapped density were higher. Jujube powder with inulin (74.07) and whey (72.07) retained more brightness compared to gum arabic (66.56) and control (65.85). The sorption isotherms of all jujube powders depend on the temperature and the type of carrier agent. The equilibrium moisture content decreased with increasing temperature. The monolayer moisture content of the powder containing whey was lower than other samples ($M_0=0.072$ g/g dry solids for 25°C and $M_0=0.062$ g/g dry solids for 40°C according to GAB model), followed by inulin added powder, gum arabic added powder, and control.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(1): 18-28, 2023

Farklı Kurutma Ajanları Eklenmesinin Dondurarak Kurutulmuş Hünnapın Fizikokimyasal Özellikleri ve Sorpsiyon Davranışı Üzerine Etkisi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 27/07/2022 Kabul : 09/01/2022</p> <p>Anahtar Kelimeler: Hünnap tozu Kurutucu ajan Dondurarak kurutma Sorpsiyon izotermi Fizikokimyasal özellikler</p>	<p>Bu çalışmada, inülin, gam arabik ve peynir altı suyu tozu gibi kurutucu ajanların eklenmesi ile dondurularak kurutulmuş hünnap tozunun, fiziksel özellikleri (yığın, partikül ve sıkıştırılmış yoğunluk, akabilirlik, gözeneklilik, partikül boyutu, higroskopiklik, kekleşme derecesi ve rekonstitüsyon özellikleri), kimyasal özellikleri (nem içeriği, renk, camsı geçiş sıcaklığı, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite) ve nem sorpsiyon izotermi incelenmiştir. Kurutucu ajan olarak peynir altı suyu eklenmiş dondurarak kurutulmuş hünnap tozunun nem içeriği, higroskopisi, Carr indeksi, Hausner oranı ve kekleşme derecesi değerleri kurutucu ajan eklenmemiş (kontrol) hünnap tozundan daha düşük olmasına rağmen, camsı geçiş sıcaklığı, yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri daha yüksek bulunmuştur. İnülin (74,07) ve peynir altı suyu tozu (72,07) eklenmiş hünnap tozunun parlaklık değerleri, gam arabik (66,56) eklenmiş hünnap tozu ve kontrole (65,85) göre daha parlak olduğu belirlenmiştir. Hünnap tozlarının hepsinde, nem sorpsiyon izotermi sıcaklığı ve kurutucu ajanının tipine bağlı olarak değişmekte ve denge nem içerikleri ise artan sıcaklıkla birlikte azalmaktadır. Peynir altı suyu tozu içeren hünnap tozunun tek tabaka denge nem içeriği diğer tozlardan daha düşük çıkmış (GAB modeline göre 25°C için $M_0=0,072$ g·g⁻¹ kuru katı ve 40°C için $M_0=0,062$ g·g⁻¹ kuru katı) ve bu nem içeriğini sırasıyla inülin, gam arabik kurutucu ajan eklenmiş hünnap tozları ve son olarak kontrol grubu izlemiştir.</p>

banukoc@gantep.edu.tr

<http://orcid.org/0000-0002-1239-3353> | tarikyorukoglu@ksu.edu.tr

<http://orcid.org/0000-0001-8507-708X>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Dünyadaki besleyici ve sağlıklı gıdalara olan talebin gün geçtikçe artış göstermesi, gıda endüstrisi araştırmalarının, besleyici ve sağlıklı gıda ürünlerine odaklanmasına neden olmuştur. Sonuç olarak lif, vitamin ve mineral bakımından zengin meyve ve sebzelerin üretimi ve tüketimi artmıştır. Özellikle bölgesel veya geleneksel gıdaların fonksiyonel ve besinsel özellikleri yeniden keşfedilmiştir (Yaşa, 2016). Hünnap (*Ziziphus jujuba* Mill), Çin kökenli Rhamnaceae ailesinin bir üyesidir ve Kuzey Yarımkürenin ılıman bölgelerinde yetişmektedir (Liu ve Wang, 2009). Hünnap, yüksek besin değeri (yüksek konsantrasyonda şeker, polisakkaritler, mineraller (potasyum, fosfor, kalsiyum ve magnezyum), amino asitler, organik asitler (sitrik, malonik ve malik asitler), A, C ve B vitamini kompleksleri ve polifenoller) ve fonksiyonel özellikleri nedeniyle gıda ve fonksiyonel gıda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Gao ve ark., 2012; Du ve ark., 2013; Wojdyło ve ark., 2016). Hünnap meyvesi taze veya kurutulmuş olarak tüketilmesinin yanı sıra konserve, reçel, ezme, püre, meyve suyu, şekerli çay şurubu, turşu, komposto, likör ve şekerleme olarak da tüketilmektedir (Wang ve ark., 2016a). Hünnapın gıda endüstrisinde çok fazla tercih edilen bir meyve çeşidi haline gelmesi beklenmektedir (Elmas ve ark., 2019).

Taze hünnapın hızlı bozulması nedeniyle hasattan sonra raf ömrü çok kısadır ve meyveler toplandıktan sonra, ortam koşullarında 10 günden fazla depolanamamaktadır (Zozio ve ark., 2014), bu durum ticari değer kayıplarına neden olmakta ve meyvenin taze olarak endüstriyel kullanımını sınırlamaktadır (Song ve ark., 2019). Sonuç olarak hem meyve kalitesini korumaya hem de besin kaybı, nakliye ve depolama maliyetlerini en aza indirmeye yönelik yaklaşımlar gereklidir. Ayrıca, gıda endüstrisinde depolama ve nakliye sırasında hünnap tozunun stabilitesini etkileyen faktörleri araştırmak ve belirlemek çok önemlidir. Bu nedenle, kurutma, meyvelerin raf ömrünü uzatmak için en yaygın kullanılan endüstriyel işlemlerden biridir. Literatürde, sıcak hava kurutma (Fang ve ark., 2009; Bi ve ark., 2014; Chen ve ark., 2015; Wang ve ark., 2016b; Wojdyło ve ark., 2016; Pu ve ark., 2018; Elmas ve ark., 2019; Bao ve ark., 2021; Tepe ve Ekinci, 2021; Wang ve ark., 2021), puf kurutma (Wang ve ark., 2021), infrared kurutma (Bi ve ark., 2014; Chen ve ark., 2015; Doymaz ve ark., 2016), püskürtmeli kurutma (Chen ve ark., 2014; Pandey ve ark., 2019), mikrodalga kurutma (Fang ve ark., 2011; Wang ve ark., 2016b), darbeli hava-jeti çarpmalı kurutma (Cao ve ark., 2018; Wei ve ark., 2018), dondurarak kurutma (Wang ve ark., 2016b; Wojdyło ve ark., 2016; Addo ve ark., 2019; Song ve ark., 2020; Wang ve ark., 2021) ile hünnapın kurutulduğu çalışmalar mevcuttur. Her bir kurutma yönteminin, kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Bu yöntemler kullanılarak üretilen son ürünün; fizikokimyasal, fonksiyonel ve besinsel özellikleri farklılık gösterebilir. Bahsi geçen bu kurutma teknikleri arasında dondurarak kurutma, kurutma işlemi sırasında meyvelerin fonksiyonel özelliklerini, aromasını, rengini, besin özelliklerini ve biyoaktif bileşiklerini korumak için tercih edilen bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Nowak ve Jakubczyk, 2020). Wang ve ark. (2016b) ve Wojdyło ve ark. (2016) çalışmalarında, dondurarak kurutulmuş hünnapların

toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitelerinin en yüksek değere sahip olmalarından dolayı dondurarak kurutma yönteminin, en iyi hünnap kurutma yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. Buna rağmen, dondurularak kurutulmuş tozlar; düşük yığın yoğunluğuna ve akabilirliğe ve ayrıca yüksek gözenekliliğe ve kekleşme derecesine sahiptir (Addo ve ark., 2019; Nowak ve Jakubczyk, 2020). Bu durum depolama, nakliye ve toz ürünün stabilitesinin sağlanmasında sorunlara neden olabilmektedir. Kurutucu ajanların eklenmesi, camsı geçiş sıcaklığını arttırmakta ve yapışkanlığı azaltmakta ve bu sayede yukarıda bahsedilen istenmeyen durumların oluşumu önlenmektedir (Adetoro ve ark., 2020). Teknolojik ve fonksiyonel özellikleri nedeniyle, peynir altı suyu, gam arabik ve inülin gıda endüstrisinde en çok kullanılan kurutma ajanları arasındadır (Bhusari ve ark., 2014; Baranauskaitė ve ark., 2016; Turkiewicz ve ark., 2020).

Gıdaların nem sorpsiyon izotermi, teorik hesaplama ile raf ömrünü tahmin etmede kullanılacak kritik bilgiler sağlamaktadır. Ayrıca gözenek boyutu dağılımı, gözenek hacmi, gıdanın kristal yapısı ve yüzey alanı gibi belirli yapısal özelliklerini belirlemek için de nem sorpsiyon izotermi kullanılabilir. Literatürde, gıdaların sorpsiyon davranışlarını temsil eden matematiksel modeller üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Al-Muhtaseb ve ark., 2002; Kaymak-Ertekin ve Gedik, 2004; Lahsasni ve ark., 2004; Varghese ve ark., 2014; Zungur-Bastioğlu ve ark., 2016; Staniszevska ve ark., 2021). Ayrıca çalışmalar nem içeriğinin tek tabaka denge nem içeriği değerinde veya altında bir değerde olduğunda ürünlerin daha kararlı olduğunu göstermiştir (Chen ve ark., 2017; Koç ve ark., 2022). Literatürde, kurutma ajanı eklenmiş ve dondurarak kurutulmuş hünnap tozunun nem sorpsiyon izotermi hakkında bilgi bulunmaktadır. Gıda tozlarının sorpsiyon davranışı ve rekonstitüsyon özellikleri kurutma yönteminden, partikül boyutundan ve hammadde özelliklerinden etkilendiğinden, hünnap tozunun adsorpsiyon izotermi belirlenmesi gereklidir. Bununla birlikte, kurutucu ajan ilave edilmiş ve edilmemiş dondurularak kurutulmuş hünnap tozlarının fizikokimyasal özelliklerini, camsı geçiş sıcaklığını ve nem sorpsiyon izotermi sistematiğini ve pratik olarak değerlendirilmesi ile ilgili sınırlı bilimsel çalışma mevcuttur.

Bu çalışmanın amacı, farklı kurutma ajanlarının (inülin, gam arabik ve peynir altı suyu) eklenmesi ile dondurularak kurutulmuş hünnap tozlarının; nem içeriği, renk, fiziksel özellikler (yığın, partikül ve sıkıştırılmış yoğunlukları, akabilirlik, gözeneklilik, higroskopiklik, kekleşme derecesi, ıslanabilirlik, dağılılabirlik ve çözünabilirlik), toplam fenolik madde, antioksidan aktivite, camsı geçiş sıcaklığı ve nem sorpsiyon izotermi üzerine etkilerini belirlemektir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Bu çalışmada kullanılan taze hünnaplar, Isparta'da bulunan yerel bir pazardan satın alınmıştır. Hünnaplar önce yıkanmış, soyularak dilimlenmiş ve son olarak püre haline getirilmiştir. Vakum etüv yöntemi ile hünnap püresinin

ortalama başlangıç nem içeriği %65,16 ± 0,451 (yaş temel) olarak belirlenmiştir. Peynir altı suyu, gam arabik ve inülinin ticari formları Hammadeler San. Tic. A.Ş.'den satın alınmıştır. Kullanılan tüm çözücüler ve kimyasallar Sigma Aldrich (St. Louis, MO, ABD) firmasından satın alınmıştır.

Dondurarak Kurutma Yöntemi

Her bir kurutucu ajan ayrı ayrı %5 (w/w) konsantrasyonda olacak şekilde hünnap püresine ilave edilerek 1000 rpm'de 10 dakika homejenizatörde (Daihan Scientific, HG-15A, Kore) homojenize edilmiştir. Sonuç olarak; İnülin (INH), gam arabik (GAH), ve peynir altı suyu (PASH) eklenen üç ayrı homojenize hünnap püresi ve hiçbir kurutucu ajan içermeyen homojenize hünnap püresi (kontrol) -24°C' de 24 saat süresince bekletilerek dondurulmuştur. Dondurulmuş örnekler, dondurarak kurutucuda (FreeZone 6, Labconco, ABD) 0,250 mbar ve -50°C'ta 24 saat kurutulmuştur. Kurutma işleminin sonunda, elde edilen kurutulmuş hünnap pürelere kahve değirmeni (Kiwi, KSPG-4811, Türkiye) ile öğütülmüştür.

Nem İçeriği (MC)

Vakum etüv yöntemiyle korelasyonu 0,99 olan halojen kurutmalı nem analiz cihazı (Daihan Scientific, MA10, Kore) kullanılarak hünnap tozlarının nem içerikleri 90 °C sıcaklıkta belirlenmiştir.

Renk

Hünnap tozlarında renk CIE L*, a* ve b* değerleri ölçülerek (3NH, Çin) belirlenmiştir.

Camsı Geçiş Sıcaklığı (T_g)

Hünnap tozlarının camsı geçiş sıcaklığı değerleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC 6000 PerkinElmer) ile belirlenmiştir. Yaklaşık 6-7 mg örnek azot gazı altında sızdırmaz alüminyum kaplar içerisine yerleştirilerek ve -40°C sıcaklık ile başlanan analizde dakikada 10°C'lik artışla 200°C'lik son sıcaklık sağlanmıştır. Cihazın yazılımı (Pyris Manager, ABD) yardımıyla elde edilen termogramlardan, tozların camsı geçiş sıcaklıkları belirlenmiştir.

Yığın Özellikleri

Örneklerin yığın (ρ_b) ve sıkıştırılmış (ρ_t) yoğunlukları, Jinapong ve ark. (2008)'e göre kütle hacim oranı kullanılarak hesaplanmıştır.

Hünnap tozlarının akabilirlikleri Carr indeks (CI) ve Hausner oranına (HR) göre aşağıdaki Eşitlik (1) ve (2) kullanılarak hesaplanmıştır (Carr, 1965; Hausner, 1967).

$$CI = \frac{(\rho_t - \rho_b)}{\rho_t} \times 100 \quad (1)$$

$$HR = \frac{\rho_t}{\rho_b} \times 100 \quad (2)$$

Örneklerin gözeneklilik (ϵ , porozite) değeri; partikül yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk arasındaki ilişkiyi hesaplanmıştır.

$$\epsilon = \frac{(\rho_p - \rho_t)}{\rho_p} \times 100 \quad (3)$$

Higroskop için, 1g toz örnek vezin kaplarına konulmuş ve 25°C sabit sıcaklıkta NaCl çözeltisi ile %75,3 bağlı nemi sağlanan desikatör içerisine yerleştirilmiştir. 10 dakikalık periyotlarda tartım yapılarak, 90 dakika sonundaki kütle artışı hesaplanmıştır (Koç ve ark., 2014). Higroskop analizi sonucunda alınan örnek 1 saat boyunca 102± 2°C'ta etüvde kurutulmuş, örnek 500µm'lik eleğe aktarılmış ve 5 dakika elenmiştir. Elek üzerinde kalan örnek miktarı tartılmış ve kekleşme derecesi Eşitlik (4)'e göre hesaplanmıştır (Jaya ve Das, 2004).

$$KD = \frac{100 \times b}{a} \quad (4)$$

Burada;

a: kullanılan toz miktarı (g), b: elek üzerinde kalan toz miktarı (g)'dir.

Toz örneklerin ıslanabilirlik, dağılılırlik ve çözünebilirlik analizleri Elmas ve ark. (2019)'da verilen yöntemle yapılmıştır.

Partikül Özellikleri

Örneklerin partikül yoğunlukları Barbosa-Cánovas ve ark. (2005)'e göre, 2-propanol kullanılarak sıvı piknometresi ile belirlenmiştir.

Hünnap tozlarının, partikül boyut dağılımı D_[4,3] (µm) ve açıklık değerleri LLD (Laser Light Diffraction) cihazı (Mastersizer 2000, Malvern, UK) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm ortamı olarak 2-propanol kullanılmıştır.

Antioksidan Aktivite ve Toplam Fenolik İçeriği

Toplam fenolik ve antioksidan aktivite analizleri için toz örneklerin ekstraksiyonu, çözücü tipi ve oranı ön denemeler sonucu belirlenerek modifiye edilen Saenz ve ark. (2009) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Çözgen olarak su kullanılmış ve 1:10 oranında 2 g örneğin üzerine ilave edilmiş ve su banyosunda (Mikrotest, MSC-30, Türkiye) 60°C'de 20 dakika süreyle bekletilmiştir. Örnekler daha sonra 6000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiş (PCE Instruments, CFE100, Almanya) ve süpernatant alınmıştır. Elde edilen ekstrakt 0,45 µm aralığına sahip şırınga filtresi kullanılarak süzülükten sonra analizlerde kullanılmıştır.

Toplam fenolik madde miktarı, de La Rosa ve ark. (2011) yöntemine göre belirlenmiştir. Ekstraktlardan 100µL alınarak üzerine 1,25 mL %10 Folin-Ciocalteu'nun reaktifi ve 1 mL %7,5'lik sodyum karbonat eklenmiş ve karanlıkta 2 saat bekletilmiştir. Örnekler 760 nm'de absorbansta spektrofotometrede (Soif Optical Instruments V-5000H, Türkiye) okunmuştur. Standard olarak gallik asit kullanılarak kalibrasyon eğrisi elde edilmiş ve sonuçlar mg GAE/ g kuru madde olarak ifade edilmiştir.

Örneklerin antioksidan aktivitesi (AA), Sangsrchan ve Wanson (2008) tarafından geliştirilen, DPPH (2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil) radikal süpürme kapasitesi yöntemi ile belirlenmiştir. Ekstraktan 100 µL alınmış ve üzerine 1,5 mL 6x10⁻⁵ M DPPH çözeltisi eklenmiştir. Karanlıkta 30 dk bekletildikten sonra 517 nm absorbansta spektrofotometrede (Soif Optical Instruments V-5000H, Türkiye) (A_{örnek}) ölçülmüştür. Kontrol olarak ekstrakt içermeyen DPPH çözeltisi de aynı işlemlere tabi tutulmuştur ve absorban

değeri (A_{kontrol}) kaydedilmiştir. Serbest radikal inhibisyon yüzdesi Eşitlik (5) ile hesaplanmıştır. Standart kalibrasyon eğrisi, troloks (6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilroman-2-karboksilik asit) kullanılarak elde edilmiş ve numunelerin antioksidan aktivitesi (AA) mg troloks/g kuru madde olarak ifade edilmiştir.

$$\% \text{ inhibisyon} = \frac{(A_{\text{kontrol}} - A_{\text{örnek}})}{A_{\text{kontrol}}} \times 100 \quad (5)$$

Sorpsiyon İzotermi

Standart statik, gravimetrik yöntem kullanılarak hünnap tozlarının adsorpsiyon izotermi 25 ve 40°C sıcaklıkta belirlenmiştir (Spiess ve Wolf, 1983). Hünnap tozları öncelikle 60°C etüvde 4 saat kurutulmuştur. Adsorpsiyon denemeleri, su aktivitesi $0,1 < a_w < 0,9$ aralığını sağlayan, doygun tuz çözeltileri (LiCl, CH_3COOK , MgCl_2 , K_2CO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, NaBr, SrCl_2 , NaCl ve KCl) içeren ağız contalı 1 litrelik cam kavanozlarda gerçekleştirilmiştir. Örnekler yaklaşık 0,3 g ($\pm 0,001$ g) ağırlığında cam vezinlere tartılmış ve cam ayaklar üzerinde doygun tuz çözeltisi içeren kavanozlara yerleştirilmiştir. Kullanılan 9 doygun tuz çözeltisinin farklı sıcaklıklardaki su aktivite değerleri Greenspan (1977) tarafından belirtilen verilerden alınmıştır. Kavanozlar, etüve yerleştirilmiş ve adsorpsiyon denemeleri 25 ve 40°C olmak üzere 2 farklı sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Örneklerin sabit tartıma ($\pm 0,01$ g) gelinceye kadar (yaklaşık sekiz hafta) bekletilmiş ve dengeye gelen örnekleri denge nem içerikleri (g su/g kuru madde) olarak hesaplanmıştır.

Deneyel verilerin değerlendirilmesinde BET (Brunauer-Emmett-Teller) ve GAB (Guggenheim-Anderson-De Boer) sorpsiyon modelleri analiz edilmiştir.

Modeldeki parametreler deneysel sorpsiyon verilerinden, hata kareleri toplamını minimize eden non-linear regresyon analizi (SPSS 21.0 for Windows) kullanılarak saptanmıştır. İncelenen eşitliğin amaca uygunluğunun saptanabilmesi için R^2 yanı sıra, ortalama % bağıl sapma (P) ve hata kareleri kökü (RMSE) değerleri esas alınmış ve aşağıda eşitliklerde gösterilmiştir.

$$\% P = \frac{100}{N} \sum_i^N \frac{|M_e - M_c|}{M_e} \quad (6)$$

$$\% \text{ RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N \left(\frac{M_e - M_c}{M_e} \right)^2} \quad (7)$$

Burada;

M_e : Deneysel nem içeriği (kuru temel)

M_c : Model ile hesaplanan nem içeriği (kuru temel)

N: Deneysel veri sayısıdır

P değerleri %10 'nun altında ise ve RMSE ne kadar küçük ise önerilen model kabul edilebilir olarak düşünülmektedir (Koç ve ark., 2022).

İstatistiksel Analiz

Tüm ölçümler üç paralel olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama \pm standart sapma olarak ifade edilmiştir. İstatistiksel analiz SPSS Statics 21.0 (SPSS Inc., Chicago, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi (ANOVA) ve Duncan çoklu karşılaştırma testi %95 güven aralığında anlamlı farklılıkları görmek için kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Kurutucu Ajanların Hünnap Tozunun Nem İçeriği, Renk, Camsı Geçiş Sıcaklığı, Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivitesi Üzerine Etkileri

İnülin, gam arabik ve peynir altı suyu eklenmiş ve kurutucu ajan eklenmemiş (kontrol) hünnap tozlarının nem içeriği, renk değerleri, camsı geçiş sıcaklıkları, toplam fenolik madde ve antioksidan aktiviteleri üzerine etkileri Çizelge 1'de verilmiştir. Tüm tozların nem içeriği değerleri %10'un altındadır ki bu durum tozların mikrobiyolojik ve oksidatif olarak güvenli olduğunu ve uzun süre depolanacağını göstermektedir (Koç ve ark., 2011). En yüksek nem içeriği değeri kontrol hünnap tozunda belirlenirken, en düşük nem içeriği değeri ise gam arabik eklenmiş hünnap tozunda belirlenmiştir. Kurutucu ajan eklenmiş hünnap tozlarının nem içeriği değerleri birbirine çok yakındır ve aralarında istatistiksel olarak önemli bir fark saptanmamıştır ($P > 0,05$). Benzer sonuçlar, kurutucu ajan olarak gam arabik ve peynir altı suyu eklenmiş dondurularak kurutulmuş bal tozu için de elde edilmiştir (Osés ve ark., 2021).

Tozların rengi, ürün kalitesini ve müşteri tercihinin büyük ölçüde etkileyen önemli bir ölçüttür. Kontrol hünnap tozunun, L^* ve a^* değerleri sırasıyla 65,85 ve 6,35 olarak belirlenmiş ve bu durum, kontrol hünnap tozunun, inülin ve peynir altı suyu tozu eklenmiş hünnap tozundan daha düşük parlaklıkta ve daha yeşil renkte olduğunu göstermektedir. Kurutma ajanı eklenmiş tüm hünnap tozları arasında en yüksek L^* değeri (74,07) ve en düşük a^* (8,74) ve b^* (22,48) değerleri inülin eklenen hünnap tozunda saptanmıştır. Benzer bir sonuç Japon ayva tozları için de elde edilmiştir (Turkiewicz ve ark., 2020). Kontrol hünnap tozu ve gam arabik eklenmiş hünnap tozunun L^* değerleri birbirine çok yakın bulgulanmış ve bu iki değer arasında istatistiksel olarak önemli bir fark saptanmamıştır. Ayrıca, gam arabik kendi renginden dolayı, gam arabik eklenmiş hünnap tozu en yüksek a^* ve b^* değerlerine sahiptir ve diğer tozlara göre daha sarı ve kırmızı renktedir. Tozların b^* değerlerinde (gam arabik eklenmiş hünnap tozu hariç), istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık ($P > 0,05$) saptanmamış, a^* değerlerinde ise tüm tozların birbirlerinden istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklı olduğu saptanmıştır ($P < 0,05$).

Camsı geçiş sıcaklığı; toz ürünün stabilitesi ile alakalıdır ve amorf sistemde, camsı durumdan elastimsi duruma değişiminin olduğu sıcaklık olarak tanımlanmaktadır (Daza ve ark., 2016). Çizelge 1'de verilen sonuçlara göre kontrol hünnap tozunun camsı geçiş sıcaklığı 12,35°C olarak belirlenmiştir. Bu değer, Addo ve ark. (2019) yapmış olduğu çalışmada elde edilen dondurularak kurutulmuş hünnap tozunun camsı geçiş sıcaklığından (17,9°C) biraz daha düşük, Elmas ve ark. (2019) yaptığı çalışmadaki sıcak havada kurutulmuş hünnap tozu camsı geçiş sıcaklığı değerleri (10,65 ila 18,41°C) için karşılaştırılabilir düzeydedir. Beklendiği gibi, inülin, gam arabik ve peynir altı suyunun eklenmesi, hünnap tozunun camsı geçiş sıcaklığını arttırmıştır. Kurutma ajanı içeren tozların daha yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahip olmasının nedeni, kurutucu ajanların moleküler hareketliliği azaltan yüksek molekül ağırlıklı bileşenler içermesi ile açıklanabilir. Ayrıca, istatistiksel analiz sonuçları da kurutucu ajanın eklenmesinin, hünnap tozunun camsı geçiş sıcaklıkları üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ($P > 0,05$) göstermiş, ancak kurutucu ajan

eklenen hünnap tozlarının camısı geçiş sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı da belirlenmiştir ($P>0,05$).

Hünnap tozların toplam fenolik madde değerleri 5,45–11,48 mg GAE/100 g kuru madde arasında belirlenmiştir. Hünnap tozlarının antioksidan aktivite değerleri ise 28,70–44,92 mg troloks/100 g kuru madde arasında saptanmıştır. Kontrol hünnap tozu, kurutucu ajan eklenen hünnap tozlarından önemli ölçüde daha yüksek toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerine sahiptir. Benzer sonuçlar, Seerangurayar ve ark. (2018)'in gerçekleştirdiği çalışmada da elde edilmiş ve kurutucu ajan eklenmiş ve köpük-mat dondurarak kurutulmuş hünnap tozlarının da toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri kurutucu ajan içermeyen hünnap tozlarından daha düşük bulunmuştur. Gam arabik ve peynir altı suyu içeren hünnap tozlarının daha düşük toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerine sahip olmasının nedeni, suda çözünürlük değerlerinin daha düşük olmasıyla açıklanabilir (Çizelge 1). Kurutucu ajan eklenmesi, hünnap tozlarının toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilemiştir ($P<0,05$).

Kurutucu Ajanların Hünnap Tozunun Yiğın ve Partikül Özellikleri Üzerine Etkileri

Hünnap tozlarının yiğın (yiğın ve sıkıştırılmış yoğunluk, Carr indeksi, Hausner oranı, dağılılırlık, ıslanabilirlik, çözünürlük, higroskopiklik ve kekleşme derecesi) ve partikül (partikül yoğunluğu, gözeneklilik, partikül boyut dağılımı $D_{[4,3]}$ ve açıklık değeri) özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Gıda tozlarının yiğın özellikleri, fiziksel bir özellik olup partiküller arasındaki çekici kuvvetlerin şiddetinden, partiküllerin içindeki ve aralarındaki havadan, partikül yoğunluğundan, partikül boyutundan ve yüzey özelliklerinden etkilenmektedir (Koç ve ark., 2021).

Hünnap tozlarının yiğın yoğunluğu; kontrol hünnap tozuna göre, inülin, gam arabik ve peynir altı suyu eklendiğinde $347 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 'ten 404 , 445 ve $581 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ değerine sırasıyla yükselmiştir. Yiğın yoğunluğu değerlerinde olduğu gibi, peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozunun sıkıştırılmış yoğunluk değeri ($693 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) en yüksektir. Peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozunun daha yüksek yiğın ve sıkıştırılmış yoğunluğa sahip olmasının nedeni, düşük $D_{[4,3]}$ ve gözeneklilik değerlerinin sıra sıra yüksek açıklık değerinden kaynaklanmaktadır. Öte yandan, kontrol hünnap tozu, kurutucu ajanı eklenmiş hünnap tozlarından önemli ölçüde daha düşük bir yiğın ve sıkıştırılmış yoğunluğa sahiptir. Yüksek yiğın yoğunluğu, kurutucu ajanlarının daha yüksek moleküler ağırlığa sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Daha ağır malzeme, partikül boşluklarına daha kolay yerleşerek, daha az alanla yiğın yoğunluğunu arttırmaktadır (Goula ve Adamopoulos, 2008; Tonon ve ark., 2010).

Farklı çalışmalardan elde edilen benzer sonuçlar da rapor edilmiş; hünnap, ıspanak ve dağ çayı tozlarının yiğın ve sıkıştırılmış yoğunluğun, kurutucu ajanın eklenmesiyle arttığı tespit edilmiştir (Nadeem Şahin ve ark., 2011; Singh ve ark., 2014; Koç ve Dirim, 2018). ANOVA sonuçları kurutucu ajan eklenmesinin tüm hünnap tozlarının yiğın ve sıkıştırılmış yoğunluğu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu açıkça ortaya koymuştur ($P<0,05$). Ayrıca, Koç ve ark. (2021) kurutucu ajanın tipinin ve özelliklerinin, tozların yiğın ve sıkıştırılmış yoğunluğu üzerine önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Nakliye ve paketleme maliyetleri, yiğın yoğunluğu değerinin azalmasıyla artmakta ve bununla birlikte dondurarak kurutma yöntemi ile elde edilen tozların genellikle düşük yiğın yoğunluğuna sahip olduğu göz önüne alındığında, kurutucu ajan eklenmesinin finansal olarak faydalı olduğu söylenebilir.

Çizelge 1. Hünnap tozlarının nem içeriği, renk, camısı geçiş sıcaklığı, toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve fiziksel özellikleri.

Table 1. Moisture content, color, glass transition temperature, total phenolic content, antioxidant activity, and physical properties of jujube powders.

Analiz	Kontrol	INH	GAH	PASH
Nem İçeriği (%)	6,047 ± 0,022 ^a	5,200 ± 0,048 ^b	5,135 ± 0,087 ^b	5,209 ± 0,021 ^c
L*	65,85 ± 0,057 ^a	74,07 ± 1,161 ^b	66,56 ± 0,376 ^a	72,07 ± 0,499 ^c
a*	6,351 ± 0,347 ^a	8,737 ± 0,049 ^b	13,11 ± 0,130 ^c	10,58 ± 0,212 ^d
b*	23,07 ± 0,602 ^a	22,48 ± 0,423 ^a	32,48 ± 0,806 ^b	23,44 ± 0,341 ^a
T _g (°C)	12,35 ± 0,125 ^a	37,72 ± 0,455 ^b	36,85 ± 0,665 ^c	37,77 ± 0,040 ^b
TPC (mg GAE/g kuru madde)	11,48 ± 0,411 ^a	10,89 ± 0,896 ^a	5,450 ± 0,376 ^b	6,883 ± 0,215 ^c
Antioksidan Aktivite (mg troloks /g kuru madde)	44,92 ± 3,509 ^a	40,06 ± 1,572 ^b	28,7 ± 1,723 ^c	30,93 ± 0,369 ^c
Yiğın Yoğunluğu (kg/m ³)	347,5 ± 9,014 ^a	404,5 ± 2,357 ^b	445,3 ± 0,203 ^c	581,1 ± 7,250 ^d
Sıkıştırılmış Yoğunluk(kg/m ³)	496,5 ± 6,277 ^a	511,9 ± 1,596 ^b	523,6 ± 2,912 ^c	692,9 ± 5,224 ^d
Partikül Yoğunluğu (kg/m ³)	1405 ± 8,202 ^a	1438 ± 18,17 ^b	1448 ± 2,575 ^b	1453 ± 17,52 ^b
Carr İndeksi (%)	30,02 ± 0,931 ^a	20,99 ± 0,485 ^b	14,95 ± 0,434 ^c	16,14 ± 1,369 ^c
Hausner Oranı	1,429 ± 0,019 ^a	1,266 ± 0,008 ^b	1,176 ± 0,006 ^c	1,193 ± 0,020 ^c
Gözeneklilik (%)	64,65 ± 0,241 ^a	64,41 ± 0,498 ^a	63,83 ± 0,266 ^a	52,29 ± 0,768 ^b
Dağılılırlık (%)	91,60 ± 1,766 ^a	94,98 ± 0,179 ^b	72,63 ± 2,136 ^c	94,00 ± 0,522 ^{ab}
Islanabilirlik (%)	2,165 ± 0,155 ^a	2,345 ± 0,165 ^a	2,320 ± 0,060 ^a	2,345 ± 0,075 ^a
Çözünürlük (%)	67,66 ± 0,364 ^a	71,56 ± 0,124 ^b	58,92 ± 1,639 ^c	60,63 ± 2,898 ^c
Higroskopik (g/g kuru madde)	0,0692 ± 0,015 ^a	0,0471 ± 0,003 ^b	0,0505 ± 0,001 ^b	0,0385 ± 0,004 ^b
Kekleşme Derecesi (%)	40,03 ± 0,846 ^a	22,83 ± 2,165 ^b	13,21 ± 2,095 ^c	4,372 ± 0,339 ^d
Açıklık (Span)	1,480 ± 0,030 ^a	0,915 ± 0,036 ^b	1,381 ± 0,049 ^c	1,934 ± 0,086 ^d
$D_{[4,3]}$ (µm)	237,9 ± 6,077 ^a	253,8 ± 13,39 ^b	221,5 ± 4,236 ^c	197,2 ± 12,48 ^d

Aynı satırdaki farklı üstsimge harfleri önemli ölçüde farklılık gösterir ($P<0,05$).

Hünnap tozlarının partikül yoğunluğu, 1405–1453 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ arasında değişmektedir. Yığın yoğunluğu değerlerinde olduğu gibi, kontrol hünnap tozunun partikül yoğunluğu diğer tozlardan önemli ölçüde daha düşüktür. Kurutucu ajanların eklenmesi hünnap tozunun partikül yoğunluğunu istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilemiştir ($P<0,05$). Buna rağmen, kurutucu ajan içeren hünnap tozlarının partikül yoğunluğu değerleri arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır ($P>0,05$). Peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozu en yüksek partikül yoğunluğuna ve en düşük gözeneklilik değerine sahiptir. Tüm kurutucu ajan eklenen, hünnap tozlarının gözeneklilik değeri partikül boyutunun küçülmesiyle azalmıştır. Daha yüksek gözeneklilik değeri, tozun daha fazla su adsorbe etmesi ile de ilişkilidir ki kontrol hünnap tozunun gözeneklilik değerinin yüksek oluşu, yüksek higroskopikliği ile de alakalıdır. Ek olarak, peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozu hariç hünnap tozlarının gözeneklilik değerlerinde istatistiksel olarak bir farklılık belirlenmemiştir ($P>0,05$).

Hünnap tozlarının akabilirliği ve yapışkanlık derecesi, sırasıyla Carr indeks ve Hausner oranı kullanılarak hesaplanmıştır. Carr (1965) tarafından belirlenen akabilirlik sınıflandırmasına göre, gam arabik eklenmiş hünnap tozu çok iyi akabilirliğe (%14,95) ve peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozu (%16,14) ise iyi akabilirlik yeteneğine sahiptir. Buna rağmen, inülin eklenmiş hünnap tozu (%24,76) ve kontrol hünnap tozu (%30,02) zayıf akabilirlik yeteneğindedir. Özellikle, toz gıdalarda akabilirliğin kaybolması şeklinde ifade edilen yapışkanlık derecesini belirten Hausner oranı, Carr indeks değerleri ile uyumludur ve Hausner oranının sınıflandırılmasına göre; gam arabik eklenmiş hünnap tozu (1,176) ve peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozu (1,193) düşük yapışkanlık derecesine, inülin eklenmiş hünnap tozu (1,329) orta yapışkanlık derecesine ve kontrol hünnap tozu (1,429) yüksek yapışkanlık derecesine sahiptir. Kontrol hünnap tozunun ve inülin eklenmiş hünnap tozunun, diğer tozlardan daha yüksek partikül boyutu ve kekleşme derecesi değerlerine sahip olması akabilirliğin kötü olmasını açıklamaktadır. Ayrıca hünnap tozlarının akabilirlik değerleri yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleriyle de tutarlıdır. Ek olarak, kontrol ve inülin eklenmiş hünnap tozunun Carr indeks ve Hausner oranı değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farkın olmadığı belirlenmiştir ($P>0,05$).

Kontrol hünnap tozu, en yüksek higroskopi (0,0692 g/g kuru madde) değerine sahipken, bu değeri gam arabik eklenmiş hünnap tozu (0,0505 g/g kuru madde) ve inülin eklenmiş hünnap tozu (0,0471 g/g kuru madde) takip etmiş ve en düşük higroskopi değeri ise peynir altı suyu tozu eklenmiş hünnap tozunda (0,0385 g/g kuru madde) belirlenmiştir. Higroskopi değerleri için, kurutma ajanı içeren hünnap tozları arasında istatistiksel olarak herhangi bir farklılık ($P>0,05$) olmamasına rağmen, hepsi de kontrol hünnap tozu higroskopi değerinden istatistiksel olarak farklıdır ($P<0,05$). Bu çalışmanın sonuçları, gam arabik eklenmiş açai tozu ve nar suyu tozunun en yüksek higroskopi değerine sahip olduğu belirlenen, Adetoro ve ark. (2020) ve Tonon ve ark. (2009)'ının gerçekleştirmiş olduğu çalışmalarla uyum içerisindedir. Ayrıca, Suhag ve Nanda (2016) çalışmasında peynir altı suyu eklenmiş bal tozlarının en düşük higroskopi değerine sahip olduğunu saptamışlardır. Yüksek şeker içeren tozların yapışkanlığı,

higroskopikliği ve kekleşme derecesi camısı geçiş sıcaklığı ile alakalıdır (Roos, 1993) Bu çalışmada kullanılan tüm kurutma ajanları, hünnap tozunun higroskopikliğini, kekleşme derecesini ve yapışkanlığını düşürmüştür (akabilirliğin yüksek olması) ve camısı geçiş sıcaklığını da arttırmıştır. Ayrıca kontrol hünnap tozu, ortamdaki nemi diğer hünnap tozlarından daha hızlı absorplamasıyla daha yüksek higroskopi değerine sahip olmuştur ki bu durumun nedeni, tozun gözenekli yapısından ve düşük camısı geçiş sıcaklığından kaynaklanmaktadır. Sonuçlar, kurutucu ajan eklemenin, hünnap tozunun higroskopikliğini ve kekleşme derecesini iyileştirdiğini kanıtlamaktadır. Yüksek kekleşme derecesi (%40,03), kontrol hünnap tozunda önemli bir kekleşme sorunu olduğuna dikkat çekmektedir. Kurutucu ajan eklenmiş hünnap tozları karşılaştırıldığında; peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozunun kekleşme derecesi (%4,37), inülin eklenmiş (%22,83) ve gam arabik eklenmiş (%13,21) hünnap tozlarından önemli ölçüde daha düşüktür. Tüm hünnap tozlarının kekleşme derecelerinde istatistiksel olarak da anlamlı bir farkın olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$). Ek olarak, daha düşük açıklık değerleri toz akışına karşı daha az direnç göstermekte ve partiküller arasındaki temas alanını arttırmakta, bu da daha fazla partikül etkileşimine, birbirleriyle kenetlenmeye ve böylece kekleşmeye neden olmaktadır (Carpin et al., 2017). Kurutma ajanlarının kekleşme derecesi üzerine etkisini gösteren sonuçlar; higroskopiklik, gözeneklilik, akabilirlik ve açıklık değerleri sonuçlarıyla uyum içerisindedir. En yüksek açıklık değeri (1.934) ve en düşük $D_{[4,3]}$ (197.2 μm) değeri peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozunda bulgulanmıştır. Tüm kurutulmuş hünnaplar kahve değirmeni kullanılarak aynı parametrelerde öğütülmüş olsa da, kurutma ajanı, $D_{[4,3]}$ ve açıklık değerlerinde farklılığa neden olmuştur. Bu farklılığı istatistiksel analiz sonuçları da desteklemektedir ($P<0,05$).

Rekonstitüsyon sonuçlarına göre, tüm tozların ıslanabilirlik değerleri 2,5 s'den düşüktür, bu durum da tüm tozların iyi bir ıslanabilirliğe sahip olduğunu göstermektedir. Hünnap tozlarının dağılılırılık değerleri, aynı zamanda en düşük çözünebilirliğe (%58,92) sahip olan gam arabik eklenmiş hünnap tozu (%72,6) hariç, %91,6'dan yüksektir. İnülin eklenmiş hünnap tozu (%71,56) ve kontrol hünnap tozunun (%67,66) çözünebilirlikleri diğer tozlara göre daha yüksektir. Kontrol hünnap tozu, inülin eklenmiş hünnap tozu ve gam arabik eklenmiş hünnap tozunun; dağılılırılık ve çözünebilirlik değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0,05$). Aynı zamanda, gam arabik eklenmiş hünnap tozu ile peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozunun çözünebilirlik değerleri arasında anlamlı bir farkın olmadığı belirlenmiştir ($P>0,05$).

Kurutucu Ajanların Hünnap Tozunun Sorpsiyon İzotermi Üzerine Etkileri

Gıdaların nem sorpsiyon izotermi, sabit sıcaklıkta ve basınçta, gıdanın nem içeriği ile ortam su aktivitesi arasındaki ilişkiyi tanımlar (Koç ve ark., 2022). Hünnap tozlarının standart statik, gravimetrik yöntem kullanılarak 25 ve 40°C sıcaklıkta nem adsorpsiyon izotermi belirlenmiştir. Analizler her bir hünnap tozu için 3 paralel ve 2 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Hünnap tozlarının 25°C için adsorpsiyon izotermi Şekil 1'de, 40°C için adsorpsiyon izotermi ise Şekil 2'de verilmiştir. 25 ve

40°C’de gerçekleştirilen analizler sonucunda, sıcaklığın artması ile tüm hünnap tozlarının, ortam bağıl nemine karşılık gelen denge nem içeriği miktarları azalmıştır. Ayrıca hünnap tozlarının hepsi aynı nem sorpsiyon davranışını göstermiştir. Her iki sıcaklık için, kurutucu ajan eklenmiş ve eklenmemiş hünnap tozlarının nem adsorpsiyon izotermine göre, 0,1 ile 0,6 a_w aralığında denge nem içeriklerindeki artış yavaş bir şekildedir. Su aktivitesi değeri 0,6’nin üzerine çıkmasıyla birlikte, hünnap tozlarının hepsinde denge nem içeriğinde artış hızlanmıştır. Bu noktadan sonra hızlanmanın nedeni, su aktivitesinin artması ile ürün tarafından adsorbe edilen su miktarının artması ve buna bağlı olarak da ürünün tuttuğu su hacminde artışın olmasıdır. Ayrıca su aktivitesi değerinin 0,6 olduğu nokta hünnap tozlarının hepsi için kritik sınır olarak kabul edilebilir.

Tüm hünnap tozlarının adsorpsiyon izotermi, her iki sıcaklık için, BET sınıflandırmasına göre tip III davranışı göstermiştir. Bu, tozların düşük su aktivitesi seviyelerinde az miktarda su ve daha yüksek su aktivitesi seviyelerinde daha fazla su tutabileceği anlamına gelmektedir. Şekerler ve tuz gibi kristalli bileşene sahip olan gıdaların çoğu Tip III sorpsiyon davranışı göstermektedir (Meenune ve Naknean, 2013). 25°C’de, su aktivitesi 0,11’den 0,6’a yükseldiğinde, kontrol, inülin eklenmiş, gam arabik eklenmiş ve peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozlarının denge nem içeriği değerleri sırasıyla 0,018’den 0,177 $g \cdot g^{-1}$ kuru katı, 0,015’ten 0,121 $g \cdot g^{-1}$ kuru katı, 0,012’den 0,136 $g \cdot g^{-1}$ kuru katı ve 0,009’dan 0,115 $g \cdot g^{-1}$ kuru katı değerlerine artmıştır. Bununla birlikte, su aktivitesi değeri 0,75 olduğunda kontrol, inülin eklenmiş, gam arabik eklenmiş ve peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozlarının denge nem içeriği değerleri sırasıyla 0,371, 0,275, 0,285 ve 0,274 $g \cdot g^{-1}$ kuru katıdır. Chen ve ark. (2017) maltodekstrin eklenmiş ve eklenmemiş kısa ve orta dalga infrared ile kurutulmuş hünnap dilimleri için de benzer sonuçlar gözlemişlerdir.

Hünnap tozlarının sorpsiyon izotermi, sıcaklık, kurutucu ajan tipi ve partikül boyutu etkilemiştir. Şekil 1 ve Şekil 2’de görüldüğü gibi, kontrol hünnap tozu her iki sıcaklık için en yüksek denge nem içeriği değerlerine sahiptir, bunu gam arabik eklenmiş ve inülin eklenmiş hünnap tozları izlerken, en düşük denge nem içeriği

değerlerini peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozu göstermiştir. Higroskopik değerleri de yüksekten düşüğe doğru sıralandığında da benzer durum göze çarpmaktadır (Çizelge 1). Ayrıca, her iki sıcaklık için de kurutucu ajan eklenmiş tozların su adsorpsiyonları birbirine çok yakın olduğu ve kontrol hünnap tozunun daha yüksek su adsorbe etme eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Maltodekstrin eklenmiş ve eklenmemiş hünnap tozu (Chen ve ark., 2017) ve gam arabik eklenmiş ve eklenmemiş hurma şurubu tozu (Mansoori ve ark., 2020) için de benzer sonuçlar rapor edilmiştir.

Gıda yapısı ve bileşimine bağlı olarak farklılaşan sistemlerden oluşan nem sorpsiyonu çok kompleks bir olgudur (Zungur-Bastioğlu ve ark., 2017). Literatürde farklı modeller gıda matrisleri içindeki nem sorpsiyon davranışlarını temsil etmeye çalışmaktadır. Birçok gıda tozunun sorpsiyon davranışını anlamak için yaygın olarak kullanılan BET ve GAB modelleri, 25 ve 40°C’de hünnap tozlarının deneysel verilerine fit edilmiştir. GAB ve BET modellerinin deneysel verilere fit edilmesine ilişkin doğrusal olmayan regresyon analiz sonuçları ve hesaplanan %P, %RMSE ve R² değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

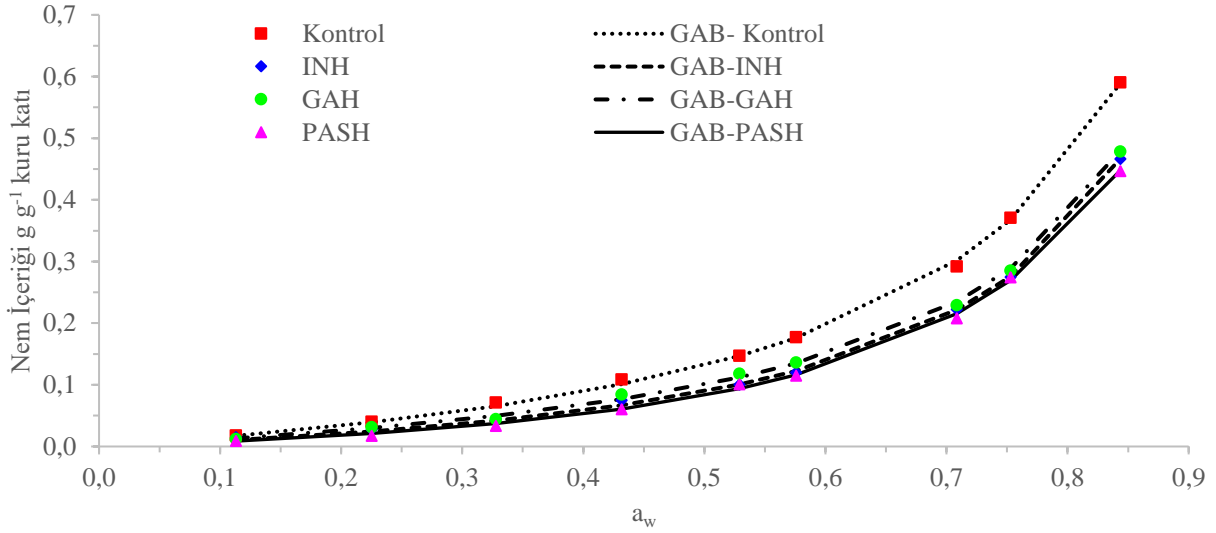
Guggenheim Anderson ve deBoer tarafından geliştirilen GAB modeli, çok katmanlı adsorpsiyon izotermi tanımlamaktadır (van den Berg ve Bruin, 1981). Üç adet parametresi olan GAB modelinin, 0,11 – 0,84 a_w aralığında hünnap tozlarının deneysel verilerini yeterince temsil ettiği tespit edilmiştir. Her iki sıcaklık ve hünnap tozlarının hepsi için, GAB modelinden elde edilen sonuçların, P ve %RMSE değerleri sırasıyla %9,95 ve %0,99’den daha düşük, ayrıca R² değerlerinin ise 0,99’den yüksek olduğu belirlenmiştir. Ek olarak, BET modeli, 0,11 – 0,5 a_w aralığında sorpsiyon davranışını iyi tanımlayabilmiştir. BET modelinin sadece 0,1 ile 0,5 aralığında çalıştığı dikkate alındığında, GAB modeli her iki sıcaklık ve kurutucu ajan içeren ve içermeyen tüm hünnap tozları için en iyi sorpsiyon izotermi tanımlayan model olarak seçilmiştir. Deneysel veriler ile GAB modeli kullanılarak hesaplanan denge nem içeriklerinin karşılaştırılması 25°C için Şekil 1’de, 40°C için ise Şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Hünnap tozlarının tahminlenmiş sorpsiyon modeli parametreleri.

Table 2. Estimated sorption model parameters of jujube powders.

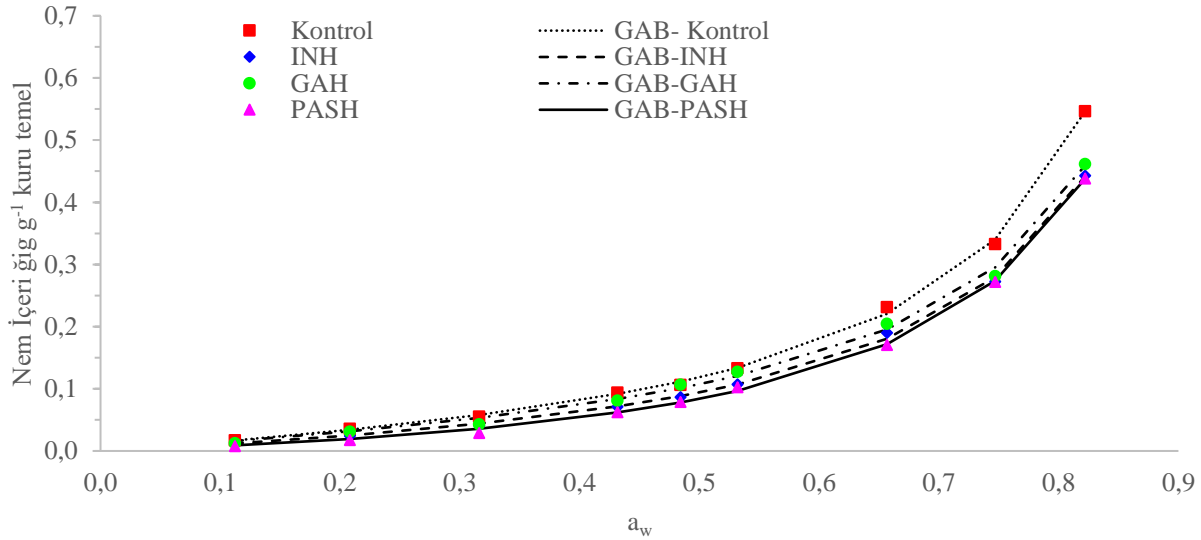
Model	Parametreler	Kontrol		INH		GAH		PASH	
		25°C	45°C	25°C	45°C	25°C	45°C	25°C	45°C
BET	M_0	0,147	0,093	0,104	0,098	0,121	0,116	0,099	0,096
	C	0,964	1,593	0,893	0,908	0,802	0,893	0,886	0,902
	R ²	0,999	0,995	0,991	0,999	0,979	0,987	0,998	0,991
	RMSE (%)	0,111	0,230	0,214	0,080	0,371	0,393	0,103	0,181
	P (%)	1,892	3,080	7,298	2,137	6,507	7,597	6,505	6,791
GAB	M_0	0,149	0,096	0,115	0,091	0,106	0,087	0,072	0,062
	C	0,963	1,423	0,718	1,044	1,005	1,505	1,624	1,957
	K	0,948	1,027	0,964	1,008	0,971	1,012	1,015	1,059
	R ²	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,997	0,995	0,995
	RMSE (%)	0,479	0,481	0,348	0,424	0,423	0,729	0,993	0,907
P (%)	3,101	2,814	6,868	3,141	4,588	8,643	9,958	9,040	

M: denge nem içeriği (g/g kuru katı); M₀: te tabaka denge nem içeriği (g/g kuru katı); C ve K: Model sabitleri. HT: Hünnap Tozu, KAE: Kurutucu Ajan Eklenmemiş. BET (Brunauer et al., 1938), GAB (van den Berg ve Bruin, 1981)



Şekil 1. Hünnap tozlarının 25°C adsorpsiyon izotermeleri ve GAB eşitliği kullanılarak hesaplanmış adsorpsiyon denge nem içerikleri

Figure 1. Experimental and predicted adsorption equilibrium moisture contents of jujube powders at 25°C



Şekil 2. Hünnap tozlarının 40°C adsorpsiyon izotermeleri ve GAB eşitliği kullanılarak hesaplanmış adsorpsiyon denge nem içerikleri

Figure 2. Experimental and predicted adsorption equilibrium moisture contents of jujube powders at 40°C

Tek tabaka denge nem içeriği (M_0), belirli bir bölgeye güçlü bir şekilde adsorbe edilen su miktarını ölçmek için kullanılmakta ve gıdanın fizikokimyasal stabilitesini sağlamak için kritik bir değer olarak kabul edilmektedir. Kontrol, inülin eklenmiş, gam arabik eklenmiş ve peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozlarının, 25°C'deki M_0 değerleri sırasıyla, 0,149, 0,115, 0,106 ve 0,072 $g \cdot g^{-1}$ kuru katı ve 40°C'deki ise 0,096, 0,091, 0,087 ve 0,062 $g \cdot g^{-1}$ kuru katı olarak hesaplanmıştır. Kontrol hünnap tozunun M_0 değerleri kurutucu ajan eklenmiş hünnap tozlarının M_0 değerlerinden daha yüksektir. Kurutma ajanının eklenmesi tek tabaka denge nem içeriği değerinde bir azalmaya neden olmuştur. Ayrıca, tüm tozlar için sıcaklığın 25°C'den 40°C'ye yükselmesiyle M_0 değerlerinin düştüğü saptanmıştır. Kurutucu ajan eklenmesinin tek tabaka denge nem içeriği üzerine benzer etkisi, maltodekstrin eklenmiş hünnap tozu (Chen ve ark., 2017) ve gam arabik eklenmiş hurma şurubu tozu (Mansoori ve ark., 2020) için de gözlemlenmiştir.

Kontrol, inülin eklenmiş, gam arabik eklenmiş ve peynir altı suyu eklenmiş hünnap tozlarının C parametresi değerleri sırasıyla 0,963 – 1,423, 0,718 – 1,044, 0,971 – 1,012 ve 1,624 – 1,957 aralığında değiştiği belirlenmiştir. İlk adsorbe edilen tabakadaki toplam sorpsiyon ısı, GAB modelinin C parametresi ile doğrudan ilişkilidir (Zungur-Bastioğlu ve ark., 2017) ve GAB modelinden elde edilen sonuçlara göre, tüm hünnap tozlarının C değerleri artan sıcaklıkla birlikte artış göstermiştir.

Adsorbe edilmiş çok katmanlı adsorpsiyon ısını ve çok katmanlı ve adsorban içindeki moleküller arasındaki etkileşimleri K parametresi tanımlamaktadır. Her iki sıcaklık için, hünnap tozlarının hepsinde K değerleri 0,948'den büyüktür, bu da tek katmanlı ve çok katmanlı moleküllerin o kadar da farklı olmadığını ve çok katmanlı moleküllerin daha çok sıvı moleküller gibi davrandığını göstermektedir (Zungur-Bastioğlu ve ark., 2017).

Sonuç

Bu çalışmada, kurutucu ajan (inülin, gam arabik ve peynir altı suyu) eklenmesinin, dondurularak kurutulmuş hünnap tozunun fizikokimyasal özellikleri ve sorpsiyon davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, inülin eklenmiş hünnap tozunun L^* , camsı geçiş sıcaklığı, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri gibi kimyasal özellikleri üzerine daha önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, kurutucu ajan olarak inülin, çözünürlüğü arttırmada gam arabik ve peynir altı suyundan daha iyi performans göstermiştir. Kurutucu ajan tipi, hünnap tozlarının fiziksel parametrelerini büyük ölçüde etkilemiştir. Analiz edilen parametrelerin çoğu için (yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk, gözeneklilik, higroskopiklik ve kekleşme derecesi), peynir altı suyu eklenmesi, hünnap tozunun kalitesini olumlu yönde etkilemiştir. Bu nedenle, dondurularak kurutulmuş hünnap tozunun hazırlanmasında fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri geliştirmek için inülin ve peynir altı suyunun en uygun kurutucu ajanlar olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca sıvı karışım ürünlerinde, hünnap tozunun kullanılmasının, rekontstitüsyon özelliklerine bağlı olarak uygun olabileceği belirlenmiştir. Hünnap tozlarının sorpsiyon davranışı tip III izoterm davranışına uygundur. GAB modeli, tüm sıcaklıklar için deneysel verileri tanımlamak için en uygun modeldir. Deneysel verilerin GAB modeline fit edilmesiyle, kurutucu ajanların, tek tabaka denge nem içeriğini düşürdüğü tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, uzun raf ömrüne sahip hünnap tozunun depolama koşullarının optimize edilmesinde kullanılabilir. Ayrıca hünnap tozunun, ekmek, pasta ve hazır toz meyveli içecek karışımları gibi endüstriyel ürünlerde kullanımlarının araştırılması ve yeni ürünlerin duyusal değerlendirmelerinin yapılabilmesi için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

Kaynaklar

Addo KA, Bi J, Chen Q, Wu X, Zhou M, Lyu J, Song J. 2019. Understanding the caking behavior of amorphous jujube powder by powder rheometer. *LWT*, 101: 483-490. doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.059

Adetoro AO, Opara UL, Fawole OA. 2020. Effect of carrier agents on the physicochemical and technofunctional properties and antioxidant capacity of freeze-dried pomegranate juice (Punica granatum) powder. *Foods*, 9: 1388. doi.org/10.3390/foods9101388

Al-Kahtani HA, Hassan BH. 1990. Spray drying of roselle (Hibiscus sabdariffa L.) extract. *Journal of Food Science*, 55(4): 1073-1076. doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01601.x

Al-Muhtaseb AH, McMinn WAM, Magee TRA. 2002. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. *Food and bioprocess processing*, 80(2): 118-128. doi.org/10.1205/09603080252938753

Bao T, Hao X, Shishir MRI, Karim N, Chen W. 2021. Cold plasma: an emerging pretreatment technology for the drying of jujube slices. *Food Chemistry*, 337: 127783. doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127783

Baranauskaitė J, Jakštas V, Ivanauskas L, Kopustinskiene DM, Drakšienė G, Masteikova R, Bernatoniene J. 2016. Optimization of carvacrol, rosmarinic, oleanolic and ursolic acid extraction from oregano herbs (*Origanum onites* L., *Origanum vulgare* spp. *hirtum* and *Origanum vulgare* L.). *Natural Product Research*, 30(6): 672-674. doi.org/10.1080/14786419.2015.1038998

Barbosa-Canovas GV, Ortega-Rivas E, Juliano P, Yan H. 2005. *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*, New York. Kluwer Academic=Plenum Publishers. ISBN: 978-0-387-27613-7

Bhusari SN, Muzaffar K, Kumar P. 2014. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266: 354-364. doi.org/10.1016/j.powtec.2014.06.038

Bi J, Chen Q, Zhou Y, Liu X, Wu X, Chen R. 2014. Optimization of short-and medium-wave infrared drying and quality evaluation of jujube powder. *Food and Bioprocess Technology*, 7(8): 2375-2387. doi.org/10.1007/s11947-013-1245-y

Brunauer S, Emmett PH, Teller E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American chemical society*, 60(2): 309-319. doi.org/10.1021/ja01269a023

Cao Y, Yao X. 2018. Colour change and kinetics of winter jujube slices during pulsed air-jet impingement drying. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(4):307-313. doi.org/10.17221/259/2017-CJFS

Carpin M, Bertelsen H, Dalberg A, Bech JK, Risbo J, Schuck P, Jeantet R. 2017. How does particle size influence caking in lactose powder? *Journal of Food Engineering*, 209: 61-67. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.006

Carr RL. 1965. Evaluating flow properties of solids. *Chemical engineering*, 72(2): 163-168.

Chen Q, Bi J, Zhou Y, Liu X, Wu X, Chen R. 2014. Multi-objective optimization of spray drying of jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) powder using response surface methodology. *Food and bioprocess technology*, 7(6): 1807-1818. doi.org/10.1007/s11947-013-1171-z

Chen Q, Bi J, Wu X, Yi J, Zhou L, Zhou Y. 2015. Drying kinetics and quality attributes of jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) slices dried by hot-air and short-and medium-wave infrared radiation. *LWT-Food Science and Technology*, 64(2): 759-766. doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.071

Chen Q, Bi Y, Bi J, Zhou L, Wu X, Zhou M. 2017. Glass transition and state diagram for jujube powders with and without maltodextrin addition. *Food and Bioprocess Technology*, 10(9): 1606-1614. doi.org/10.1007/s11947-017-1927-y

Daza LD, Fujita A, Fávoro-Trindade CS, Rodrigues-Ract JN, Granato D, Genovese MI. 2016. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. *Food and bioprocess processing*, 97: 20-29. doi.org/10.1016/j.fbp.2015.10.001

De la Rosa LA, Alvarez-Parrilla E, Shahidi F. 2011. Phenolic compounds and antioxidant activity of kernels and shells of Mexican pecan (*Carya illinoensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1): 152-162. doi.org/10.1021/jf1034306

Doymaz İ, Karasu S, Baslar M. 2016. Effects of infrared heating on drying kinetics, antioxidant activity, phenolic content, and color of jujube fruit. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(2): 283-291. doi.org/10.1007/s11694-016-9305-4

Du LJ, Gao QH, Ji XL, Ma YJ, Xu FY, Wang M. 2013. Comparison of flavonoids, phenolic acids, and antioxidant activity of explosion-puffed and sun-dried jujubes (*Zizyphus jujuba* Mill.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(48): 11840-11847. doi.org/10.1021/jf401744c

Elmas F, Varhan E, Koç M. 2019. Drying characteristics of jujube (*Zizyphus jujuba*) slices in a hot air dryer and physicochemical properties of jujube powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1): 70-86. doi.org/10.1007/s11694-018-9920-3

Fang S, Wang Z, Hu X, Datta AK. 2009. Hot air drying of whole fruit chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Miller): Physicochemical properties of dried products. *International Journal of Food Science Technology*, 44(7): 1415-1421. doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01972.x

- Fang S, Wang Z, Hu X, Chen F, Zhao G, Liao X, Wu J, Zhang YAN. 2011. Energy requirement and quality aspects of Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) in hot air drying followed by microwave drying. *Journal of Food Process Engineering*, 34(2): 491-510. doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00372.x
- Gao QH, Wu CS, Yu JG, Wang M, Ma YJ, Li CL. 2012. Textural characteristic, antioxidant activity, sugar, organic acid, and phenolic profiles of 10 promising jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) selections. *Journal of Food Science*, 77(11): C1218-C1225. doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02946.x
- Goula AM, Adamopoulos KG. 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. Drying kinetics and product recovery. *Drying technology*, 26(6): 714-725. doi.org/10.1080/07373930802046369
- Greenspan L. 1977. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of research of the National Bureau of Standards. Section A, Physics and chemistry*, 81(1): 89. doi: 10.6028/jres.081A.011
- Jaya S, Das H. 2004. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal Food Engineering*, 63(2): 125-134. doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00135-3
- Jinapong N, Suphantharika M, Jamnong P. 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of food engineering*, 84(2): 194-205. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.032
- Hausner HH. 1967. Friction conditions in a mass of metal powder. *Int J Powder Metal.*, 3: 7-13.
- Kaymak-Ertekin F, Gedik, A. 2004. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *LWT-Food Science and Technology*, 37(4), 429-438. doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.012
- Koç B, Sakin-Yılmaz M, Kaymak-Ertekin F, Balkır P. 2014. Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. *Journal of food science and technology*, 51(7): 1377-1383. doi.org/10.1007/s13197-012-0653-8
- Koç B, Koç M, Baysan U. 2021. Food Powders Bulk Properties. In: Ermiş E, (Editor). *Food Powders Properties and Characterization*, Springer, Cham. pp. 1-36. ISBN: 978-3-030-48907-6 (Print) 978-3-030-48908-3 (Online)
- Koç B, İsleroğlu H, Turker I. 2022. Sorption behavior and storage stability of microencapsulated transglutaminase by ultrasonic spray-freeze-drying. *Drying Technology*, 40(2): 337-351. doi.org/10.1080/07373937.2020.1793771
- Koç GÇ, Dirim SN. 2018. Spray dried spinach juice: powder properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3): 1654-1668. doi.org/10.1007/s11694-018-9781-9
- Koç M, Koç B, Susyal G, Sakin Yılmaz M, Kaymak Ertekin F, Bağdatlıoğlu N. 2011. Functional and physicochemical properties of whole egg powder: effect of spray drying conditions. *Journal of food science and technology*, 48(2): 141-149. doi.org/10.1007/s13197-010-0159-1
- Lahsasni S, Kouhila M, Mahrouz M. 2004. Adsorption-desorption isotherms and heat of sorption of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Energy Conversion and Management*, 45(2): 249-261. doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00133-X
- Liu MJ, Wang M. 2009. Germplasm resources of Chinese jujube. *Acta Hort.* 840: 25-32. doi: 10.17660/ActaHortic. 2009.840.1
- Mansoori N, Majzoobi M, Gavahian M, Badii F, Farahnaky A. 2020. Acacia gum as a natural anti-plasticizer for the production of date syrup powder: Sorption isotherms, physicochemical properties, and data modeling. *Foods*, 9(1): 50. doi.org/10.3390/foods9010050
- Meenune M, Naknean P. 2013. Moisture sorption isotherm and glass transition of palm sugar cake as affected by storage temperature. *2nd IPCBEE*, 53, 13. doi: 10.7763/IPCBEE. 2013. V53. 13
- Nadeem Şahin H, Torun M, Özdemir F. 2011. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT-Food Science and Technology*, 44(7): 1626-1635. doi.org/10.1016/j.lwt.2011.02.009
- Nowak D, Jakubczyk E. 2020. The freeze-drying of foods—The characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. *Foods*, 9(10): 1488. doi.org/10.3390/foods9101488
- Osés SM, Cantero L, Crespo M, Puertas G, González-Ceballos L, Vallejos S, Fernández-Muino MA, Sancho MT. 2021. Attributes of ling-heather honey powder obtained by different methods with several carriers. *LWT*, 150: 112063. doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112063
- Pandey S, Poonia A, Rai S. 2019. Optimization of spray drying conditions for the production of quality ber (*Zizyphus mauritiana* Lamk.) fruit powder. *Nutrition and Food Science*, 49(6): 1088-1098. doi.org/10.1108/NFS-12-2018-0339
- Pu Y, Ding T, Wang W, Xiang Y, Ye X, Li M, Liu D. 2018. Effect of harvest, drying and storage on the bitterness, moisture, sugars, free amino acids and phenolic compounds of jujube fruit (*Zizyphus jujuba* cv. Junzao). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(2): 628-634. doi.org/10.1002/jsfa.8507
- Roos YH. 1993. Water activity and physical state effects on amorphous food stability. *Journal of Food processing and Preservation*, 16(6): 433-447. doi.org/10.1111/j.17454549.1993.tb00221.x
- Sañez C, Tapia S, Chávez J, Robert P. 2009. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food chemistry*, 114(2): 616-622. doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.095
- Sangsrichan S, Wanson W. 2008. The antioxidant capacity of honey samples collected in the north part of Thailand in relationship with its total polyphenol. *KMITL Sci. J*, 8(2): 68-73.
- Seerangurayar T, Manickavasagan A, Al-Ismaili AM, Al-Mulla YA. 2018. Effect of carrier agents on physicochemical properties of foam-mat freeze-dried date powder. *Drying Technology*, 36(11): 1292-1303. doi.org/10.1080/07373937.2017.1400557
- Singh VK, Pandey S, Pare A, Singh RB. 2014. Optimization of process parameters for the production of spray dried Ber (*Zizyphus jujuba* L.) powder. *Journal of food science and technology*, 51(12): 3956-3962. doi 10.1007/s13197-012-0897-3
- Song J, Bi J, Chen Q, Wu X, Lyu Y, Meng X. 2019. Assessment of sugar content, fatty acids, free amino acids, and volatile profiles in jujube fruits at different ripening stages. *Food chemistry*, 270: 344-352. doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.102
- Song J, Chen Q, Bi J, Meng X, Wu X, Qiao Y, Lyu Y. 2020. GC/MS coupled with MOS e-nose and flash GC e-nose for volatile characterization of Chinese jujubes as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 331: 127201. doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127201
- Spies WEL, Wolf WR. 1983. Results of the COST 90 project on water activity. *Physical properties of foods*/edited by R. Jowitt. et al. pp. 65-91.
- Staniszewska I, Dzadz L, Nowak KW, Zielinska M. 2021. Evaluation of storage stability of dried powdered coriander, parsley and celery leaves based on the moisture sorption isotherms and glass transition temperature. *Lwt*, 146, 111440. doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111440
- Suhag Y, Nanda V. 2016. Evaluation of different carrier agents with respect to physico-chemical, functional and morphological characteristics of spray dried nutritionally rich honey powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(6): 1429-1437. doi.org/10.1111/jfpp.12728
- Tepe B, Ekinci R. 2021. Drying characteristics and some quality parameters of whole jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) during hot air drying. *Italian Journal of Food Science*, 33(1): 1-15. doi.org/10.15586/ijfs.v33i1.1947

- Tonon RV, Baroni AF, Brabet C, Gibert O, Pallet D, Hubinger MD. 2009. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. *Journal of food engineering*, 94(3-4): 215-221. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.03.009
- Tonon RV, Brabet C, Hubinger MD. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food research international*, 43(3): 907-914. doi.org/10.1016/j.foodres.2009.12.013
- Turkiewicz I, Wojdyło A, Tkacz K, Lech K, Michalska-Ciechanowska A, Nowicka P. 2020. The influence of different carrier agents and drying techniques on physical and chemical characterization of Japanese quince (*Chaenomeles japonica*) microencapsulation powder. *Food chemistry*, 323: 126830. doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126830
- Van den Berg C, Bruin S. 1981. Water activity and its estimation in food systems: Theoretical aspects. In: L. B. Rockland, L.B., Stewart, G. E., (Editors). *Water activity: Influences on food Quality*. New York, Academic Press. pp 45-58.
- Varghese KS, Radhakrishna K, Bawa AS. 2014. Moisture sorption characteristics of freeze-dried whey-grape beverage mix. *Journal of food science and technology*, 51(10): 2734-2740. doi: 10.1007/s13197-012-0797-6
- Wang B, Venkatasamy C, Zhang F, Zhao L, Khir R, Pan Z. 2016a. Feasibility of jujube peeling using novel infrared radiation heating technology. *LWT-Food Science and Technology*, 69: 458-467. doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.077
- Wang R, Ding S, Zhao D, Wang Z, Wu J, Hu X. 2016b. Effect of dehydration methods on antioxidant activities, phenolic contents, cyclic nucleotides, and volatiles of jujube fruits. *Food Science and Biotechnology*, 25(1): 137-143. doi 10.1007/s10068-016-0021-y
- Wang X, Gao Y, Zhao Y, Li X, Fan J, Wang L. 2021. Effect of different drying methods on the quality and microstructure of fresh jujube crisp slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2): e15162. doi.org/10.1111/jfpp.15162
- Wei S, Yao X. 2018. Pulsed air jet impingement drying characteristics of winter jujube slices. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(4): 329-337. doi.org/10.17221/258/2017-CJFS
- Wojdyło A, Carbonell-Barrachina AA, Legua P, Hernández F. 2016. Phenolic composition, ascorbic acid content, and antioxidant capacity of Spanish jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) fruits. *Food chemistry*, 201: 307-314. doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.090
- Yaşa F. 2016. Türkiye’de yetiştirilen hünnap meyvesinin bileşimi ve meyvenin kurutulması sırasında bileşiminde meydana gelen değişimler. MSc thesis, Institute of Natural and Applied Sciences, Pamukkale University, Denizli, Türkiye.
- Zozio S, Servent A, Casal G, Mbéguié-A-Mbéguié D, Ravion S, Pallet D, Abel H. 2014. Changes in antioxidant activity during the ripening of jujube (*Ziziphus mauritiana* Lamk). *Food Chemistry*, 150: 448-456. doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.022
- Zungur Bastoğlu A, Dirim SN, Kaymak Ertekin F. 2016. Moisture sorption isotherms of yogurt powder containing candied chestnut puree. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(8): 676-683. doi.org/10.24925/turjaf.v4i8.676-683.681
- Zungur Bastoğlu A, Koç M, Kaymak Ertekin F. 2017. Moisture sorption isotherm of microencapsulated extra virgin olive oil by spray drying. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3): 1295-1305. doi 10.1007/s11694-017-9507-4