



Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Kullanılan Kurutma Yöntemleri

Derleme/Review

Seda GÜNAYDIN¹ Cevdet SAĞLAM¹ Necati ÇETİN¹

¹Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kayseri

* Corresponding Author: sedagunaydin07@gmail.com

Seda GÜNAYDIN ORCID ID: 0000-0003-2510-9638, Cevdet SAĞLAM ORCID ID: 0000-0002-9955-3128,

Necati ÇETİN ORCID ID: 0000-0001-8524-8272

Yayın Bilgisi

Geliş Tarihi: 31.03.2022

Revizyon Tarihi: 16.05.2022

Kabul Tarihi: 17.05.2022

Doi: 10.55257/ethabd.1096697

Anahtar Kelimeler

Kurutma, Tarımsal Ürün, Nem içeriği, Enerji Tüketimi

Keywords

Drying, Agricultural product, Moisture content, Energy consumption

Özet

Tarımsal ürünler bünyesinde bulunan yoğun nem sebebiyle hasattan kısa bir süre sonra çürüme ve bozulma eğilimine girmektedir. Çürüme rejimine giren bu ürünlerin aroma, renk, görünüş ve besinsel özelliklerinde kayıplar meydana gelmektedir. Bu kalite kayıplarını önlemek ve ürünlerin raf ömrünü artırmak amacıyla geçmişten günümüze kadar uygulanan çeşitli muhafaza yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerden en ekonomik ve yaygın olarak kullanılanı kurularak muhafaza yöntemidir. Kurutulmuş ürünün; taşıma ve depolamada kolaylık sağlaması, besin içeriği açısından daha konsantre bir özellik göstermesi, çok uzun süre boyunca muhafaza edilebilmesi, paketleme masrafının daha az olması gibi diğer muhafaza yöntemlerine göre üstünlükleri vardır. Ayrıca kurutma işlemi ile kuru incir, kuru kayısı, kuru üzüm gibi ticari değeri olan ürünler elde edilmektedir. Bu çalışmanın amacı literatür bilgileri doğrultusunda tarımsal ürünlerin kurutulmasında yararlanılan güneşte, gölgede, konvektif, vakumlu, mikrodalga, dondurarak, sprey, köpük, puf, kızılötesi, ozmotik, elektrohidrodinamik ve hibrit kurutma yöntemlerinin incelenmesidir.

Drying Methods Used in Drying of Agricultural Products

Abstract

Agricultural products tend to rot and deteriorate shortly after harvest due to the intense moisture content. The aroma, color, appearance and nutritional properties of these products, which begin the decay regime, are lost. In order to prevent these quality losses and to increase the shelf life of the products, various preservation methods have been applied from past to present. The most economical and widely used of these methods is the preservation method by drying. It has advantages over other preservation methods such as convenience in transportation and storage, more concentrated nutrient content, long-term preservation, and less packaging costs. In addition, products with commercial value such as dried figs, dried apricots, drying grapes and raisins are obtained by drying. The aim of this study is to examine the sun, shade, convective, vacuum, microwave, freeze, spray, foam, puff, infrared, osmotic, electrohydrodynamic and hybrid drying methods used for drying agricultural products in accordance with the literature.

1. GİRİŞ

Hasat sonrası taze meyve ve sebzeler bünyesinde bulunan yoğun nem miktarı ve hassas dokuları sebebiyle çürüme eğilimine girer. Bu ürünlerin fiziksel ve biyokimyasal özelliklerinde bazı kayıplar meydana gelmektedir. Bu kalite kayıplarını önlemek için ısı uygulaması ile muhafaza, soğuk uygulama ile muhafaza, kurutarak muhafaza, koruyucu maddelerle muhafaza, fermentasyon, kontrollü atmosferde depolama, modifiye atmosferde depolama gibi çeşitli muhafaza yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden en ekonomik ve en yaygın olarak kullanılanı kurutarak muhafaza yöntemidir. Kurutmada temel amaç; kurutma süresi ve enerji tüketiminin minimize edilerek materyallerin kalite parametrelerinin optimizasyonudur. Kurutmanın; taşıma ve depolamada kolaylık sağlaması, kurutulmuş ürünlerin besin içeriği açısından daha konsantre bir özellik göstermesi, ürünlerin çok uzun süre boyunca muhafaza edilebilmesi, depolama, taşıma ve paketleme masraflarının daha az olması gibi diğer muhafaza yöntemlerine göre üstünlükleri vardır. Bununla birlikte kurutma işlemi ile kuru incir, kuru kayısı, kuru üzüm gibi ticari değeri olan ürünler elde edilmektedir (Alibaş, 2012; Darıcı ve Şen 2012; Calín-Sánchez ve ark., 2012; Morad ve ark., 2017; Adeleye ve ark., 2020).

Kurutma işlemi, ürünlerin yapısında bulunan yoğun nemin, mikroorganizma faaliyetlerinin inaktive edildiği bir nem düzeyine kadar indirilmesidir (Deng ve ark., 2017; Alibaş ve ark., 2021). Kurutma işlemi “eş zamanlı gerçekleşen ısı ve kütle transferi olayı” şeklinde ifade edilmektedir. Isı transferi sırasında kurutma materyali kurutucu içerisinde sirküle olan sıcak hava ile etkileşime girerek ısınır. Kütle transferinde ise kurutma materyalinin dış kısmında ince bir film şeklinde olduğu kabul edilen nemin buharlaşmasının ardından, iç tabaklardaki nem dış katmanlara taşınır. Kurutma işlemi sırasıyla; materyalin ısınması etabı, sabit hızla kuruma etabı ve azalan hızla kuruma etabı olmak üzere üç aşamada gerçekleşir. Materyalin ısınması evresi, ürünlerin kurutucu içerisindeki sıcaklığa eriştiği süreci kapsar. Materyalin ısınması kısa sürede gerçekleştiği için bu evrede kayda değer miktarda nem kaybı olmaz. Dolayısıyla bu aşamadan sonra ürünler sabit hızla kuruma evresine girer. Sabit hızla kuruma evresinde, kurutma materyalinin yüzeyinin ince bir su filmiyle kaplı olduğu varsayılır ve burada ürünün iç kısmından yüzeye taşınan su hızı ile kurutma materyalinden buharlaşan suyun hızı eşittir. Ürünlerin iç kısmından dış katmanlara taşınan su hızının, kurutma materyalinin yüzeyindeki nemin buharlaşma hızından daha az olması durumunda ürün yüzeyindeki ince su filmi zamanla yok olmaya başlar. Sabit hızla kuruma evresi bu anda sona erer ve bu andaki neme 1. kritik nem düzeyi denir. Bu anda 1.kritik nem düzeyinden itibaren azalan hızla kuruma evresi başlar ve bu evre ürün denge nemine ulaşıncaya yani iç tabakalardan dış tabakalara olan nem geçişi bittiği anda sona erer (Yağcıoğlu, 1999). Ürünlerden fazla nemin uzaklaştırılması olarak da ifade edilen kurutma işlemi

iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışınım (radyasyon) teknikleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu tekniklerin kullanıldığı ve geçmişten günümüze uygulanan güneşte ve gölgede kurutma yöntemi, mikrodalga kurutma yöntemi, konvektif kurutma yöntemi, dondurarak kurutma yöntemi, sprey kurutma yöntemi, vakumlu kurutma yöntemi, kızılötesi kurutma yöntemi, ozmotik kurutma yöntemi, köpük kurutma yöntemi, puf kurutma yöntemi, elektrohidrokinamik kurutma yöntemi ve hibrit kurutma yöntemi gibi pek çok kurutma yöntemi tanımlanmıştır (Sadıkoğlu ve Özdemir, 2003; Gürel ve ark., 2016; Top ve ark., 2019; Liu ve ark., 2019; Dehghannya ve ark., 2019). Bu çalışmanın amacı literatür araştırması doğrultusunda tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan kurutma yöntemlerinin incelenmesini kapsamaktadır.

2. TARIMSAL ÜRÜNLERİN KURUTULMASINDA KULLANILAN KURUTMA YÖNTEMLERİ

2.1.1. Güneşte Kurutma Yöntemi

Doğal kurutma yöntemi güneşte kurutma yöntemi ve gölgede kurutma yöntemi olmak üzere iki grupta incelenir.

2.1.1. Güneşte Kurutma Yöntemi

Doğal kurutma yöntemlerinden biri olan güneşte kurutma yöntemi açık havada ürünlerin kurutulması işlemidir. Güneşte kurutma yönteminin; kurutma süresince başka bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaması ve yüksek maliyet gerektirmemesi gibi son derece önemli avantajları vardır. Fakat kurutma süresinin uzun olması, serilerek kurumaya bırakılan ürünlerin hava koşullarından etkilenmesi ile birlikte toz, toprak, böcek, kuş ve kemirici gibi çeşitli kirleticilerin etkisi altında kalması, kurutma için büyük alanlara gereksinim duyulması, ürünlerde küflenme riskinin yüksek olması ve kurutma süresinin uzamasına bağlı olarak önemli ölçüde kalite kayıplarının meydana gelmesi gibi dezavantajları vardır. Ayrıca güneşte kurutma yönteminde işgücü ihtiyacı optimum düzeydedir. Bununla birlikte, açık alanda yapılan güneşte kurutma işlemi sonlanıncaya kadar sağlık açısından son derece zararlı olan çeşitli gaz emülsiyonlarının kurutma materyaline nüfuz etme olasılığı oldukça yüksektir. Güneşte kurutma işlemi için çoğunlukla tarım arazileri kullanılır. Bu da arazide kurutma işlemi sonlanıncaya kadar tarımsal üretim yapılamamasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla güneşte kurutma yönteminin tarımsal üretimi sınırlandırıcı bir etkisi de söz konusu olmaktadır (Özbay Doğu ve Sarıçoban, 2015; Liu ve ark., 2019; Turan ve İslam, 2019; Srinivasa Reddy, 2020; Alibaş ve ark., 2021; Waswaa ve ark., 2021).

2.1.2. Gölgede Kurutma Yöntemi

Gölgede kurutma yöntemi genellikle baharatların ve aromatik tıbbi bitkilerin kurutulmasında tercih edilir. Güneşte kurutmada olduğu gibi gölgede

kurutma yönteminin de kurutma işlemi sonlanıncaya kadar herhangi bir ek enerji gereksiniminin olmaması son derece önemli bir avantajdır. Buna karşın, gölgede kurutma yönteminde kurutma süresinin uzun olması, bununla ilişkili olarak da ürünlerin besinsel içeriğinde ciddi kayıpların meydana gelmesi (aflatoksin oluşumu gibi) dezavantajlı yönlerindedir. Ayrıca gölgede kurutma yönteminde kurutma materyallerinin sinek, böcek, fare gibi zararlıların istilasına uğraması kaçınılmazdır. Bununla birlikte kurutmanın yapıldığı kapalı alanlarda nem denetimi oldukça güç olup, bu durum ürünlerde küf mantarlarının oluşmasına yol açmaktadır. Güneşte ve gölgede kurutma yöntemlerine söz konusu dezavantajlarından dolayı rağbet azalmış olup, günümüzde daha yenilikçi kurutma yöntemleri yer edinmeye başlamıştır (Toğrul, 2006; Alibaş, 2012; Kara ve ark., 2014; Gürel ve ark., 2016).

Literatürde güneşte ve gölgede kurutma yöntemi kullanılarak pek çok ürün kurutulmuştur. Silbir ve ark. (2015) kuzukulağı yapraklarını (Rumex acetosa), güneşte ve 180, 540 ve 900 W'da mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve en uzun kurutma süresinin 60 saat ile güneşte kurutma yöntemi olduğunu bildirmiştir. Ayrıca çalışmada kalite parametrelerinin en iyi korunduğu yöntemin 180 W'da mikrodalga kurutma yöntemi olduğu, güneşte kurutulan ürünlerin askorbik asit ve renk parametrelerinde önemli ölçüde kayıplar meydana geldiği tespit edilmiştir. Güleç ve Turhan Özdemir (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada karayemiş meyvesi güneşte, 460, 600 ve 700 W'da mikrodalga kurutma ile 200, 300, 400 ve 500 W'da kızılötesi kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuştur. Çalışmada en uzun kurutma süresinin 5760 dakika ile güneşte kurutma yönteminde olduğu saptanmıştır. Wasswa ve ark. (2021) tarafından yürütülen bir çalışmada börülce yaprakları güneşte kurutma ve 10 dakika boyunca sıcak suya daldırma ön işlemi ardından güneşte kurutma olmak üzere iki farklı şekilde kurutulmuştur. Çalışma sonucunda sıcak su ön işlemi uygulanarak güneşte kurutulan ürünlerde Fe, Zn ve Ca içeriğinin daha yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Alibaş ve ark. (2021) dilimlenmiş deveci armudunu doğal (gölgede) ve 60, 80, 100°C hava sıcaklıklarında konveksiyonel fırında kurutmuş olup, en uzun kurutma süresi olan gölgede kurutmanın ürünlerde kalite parametrelerini olumsuz etkilediğini bildirmiştir. Pinar ve ark. (2021) iki farklı biber çeşidini açıkta güneşte, gölgede, serada, dondurarak kurutma, 300-600 W'da mikrodalga ve 60-80°C'de konvektif kurutma yöntemi ile kurularak likopen, β -karoten ve ham protein içeriğinin dondurarak kurutulan ürünlerde çok daha iyi korunduğunu tespit etmiştir. Bununla birlikte en yüksek askorbik asit içeriği gölgede ve dondurarak kurutulan ürünlerde ölçülmüştür. Ayrıca çalışmada toplam fenolik içeriğinin mikrodalga kurutma yönteminde artış gösterdiği, gölgede kurutma yönteminde yağ asitleri kayıplarının daha az olduğu saptanmıştır. Çalışmada en uzun kurutma süresi 240 saat ile gölgede kurutma yönteminde, en kısa kurutma süresi 600 W'da mikrodalga kurutma yönteminde 21 dakika olarak kaydedilmiştir. Patel ve ark. (2020) sarımsak

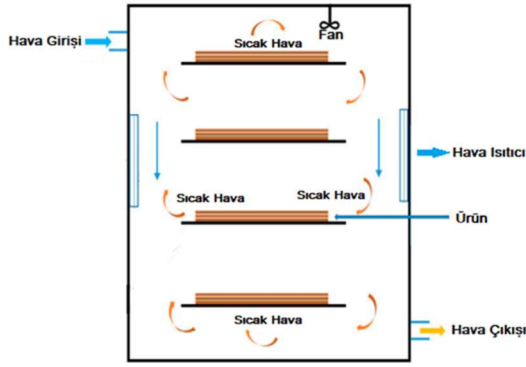
dişlerinin gölgede, güneşte, 800 W'da mikrodalga ve 60°C'de konvektif kurutma yöntemi ile kurutulmasında en uzun kurutma süresini gölgede kurutmada ölçmüştür. Ayrıca çalışmada en yüksek C vitamini içeriğinin gölgede kurutma yönteminde bulunmasına sebep olarak askorbik asitin sıcaklığa duyarlı olması gösterilmiştir.

2.2. Yapay (Sun) Kurutma Yöntemleri

Gelişen teknoloji ile birlikte tarımsal ürünlerin kurutulmasında geleneksel kurutma yöntemlerinin (güneşte ve gölgede kurutma) yerini daha yenilikçi yöntemler almaya başlamıştır. Bu bölümde tarımsal ürünlerin kurutulmasında yararlanılan yapay kurutma yöntemlerinden; konvektif kurutma metodu, mikrodalga kurutma metodu, sprey kurutma metodu, vakumlu kurutma metodu, dondurarak kurutma (liyofilizasyon) metodu, kızılötesi kurutma metodu, ozmotik kurutma metodu, köpük kurutma metodu, puf kurutma metodu, elektrohidrodinamik kurutma metodu ve hibrit kurutma metodu ayrıntılı olarak incelenmiştir.

2.2.1. Konvektif Kurutma Yöntemi

Konvektif kurutma yöntemi (sıcak hava ile kurutma), güneşte kurutmaya alternatif olarak geliştirilmiş bir yöntemdir. İlk yatırımının masraflı olmaması ve kullanım kolaylığı sunması yönüyle tarımsal ürünlerin kurutulmasında uzun yıllardan bu yana yaygın olarak kullanılır. Sıcak hava ile kurutma yöntemi kurutucu içerisine giren havanın ısıtılarak bir fan yardımıyla kurutucu içerisinde dolaştırılması esasına dayanır (Şekil 1). Bu yöntemde ısıtılan hava kurutulacak ürünlerin dış katmanından başlayarak yavaşça iç katmanlarına doğru nüfuz ederek dış tabakadan iç tabakalara doğru bir kuruma gerçekleşir (Çetin, 2019; Demir ve ark., 2019; Liu ve ark., 2019). Konvektif kurutma yöntemi özellikle bağıl nemin yüksek olduğu yerlerde kurutma süresini önemli ölçüde uzatır. Kurutucu hava sıcaklığının yükseltilmesiyle kurutma süresi kısaltılmakta fakat ürünlerde kabukta sertleşme, büzüşme, esmerleşme reaksiyonları gibi bir takım deformasyonlar meydana gelmektedir. Düşük sıcaklıklarda ise uzun süre sıcak havaya maruz kalan ürünlerde lipid oksidasyonu gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, konvektif kurutma yönteminin; kuruma süresinin uzamasına paralel olarak enerji tüketiminin artması, ürünlerde rehidrasyon kapasitesinin azalması, materyallerin fiziksel ve biyokimyasal özelliklerinde ciddi kayıpların meydana gelmesine sebep olması gibi dezavantajları söz konusudur. Söz konusu dezavantajlarının önüne geçmek adına konvektif kurutma yöntemi ile mikrodalga, vakum, dondurma, ozmotik dehidrasyon, ultrases kombinasyonu yapılarak hibrit kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Hibrit kurutma yöntemleri hem kurutma süresi ve enerji tüketimi bakımından hem de besin kalitesi açısından faydalı olabilir (Cemeroğlu ve Özkan, 2004; Russo ve ark., 2013; Szadzinska ve ark., 2017; Adeleye ve ark., 2020).



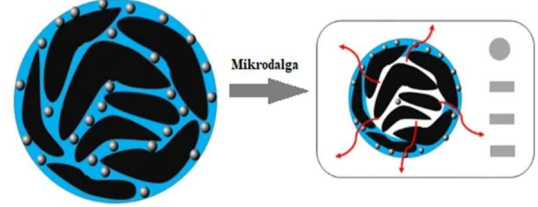
Şekil 1. Konvektif kurutmada ısı transferi (Adetoro ve ark., 2020)

Maysami ve ark. (2020) elma dilimlerinin 40, 50 ve 60°C'de konvektif kurutma yöntemi ile kurutulmasında en uzun kurutma süresi ve enerji tüketiminin sırasıyla; 537 dakika ve 11.2 kWh ile 40°C sıcaklıkta elde edildiği, sıcaklığın azalmasına paralel olarak enerji tüketiminin arttığını bildirmiştir. Kaveh ve ark. (2021) nar tanelerini 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta konvektif, 270, 450, 630 W'da mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutmuş ve özgül enerji tüketiminin en fazla olduğu yöntemin 145.12 kWh kg⁻¹ ile 50°C'de konvektif kurutma yöntemi olduğunu, buna karşın özgül enerji tüketiminin en az olduğu yöntemin 35.42 kWh kg⁻¹ ile 270 W'da mikrodalga kurutma yöntemi olduğunu tespit etmiştir. Bustos ve ark. (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada böğürtlen, ahududu, siyah ve kırmızı frenk üzümü 50, 65, 130°C'de sıcak hava ve -80°C'de dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Çalışmada konvektif kurutma yönteminde sıcaklığın azaltılmasıyla renk kayıplarının arttığı ve kurutma süresinin uzadığı, dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulmuş ürünlerde renk parametrelerinin daha iyi korunduğu bildirilmiştir. Demir ve ark. (2019) kızılçık tanelerini 50, 60, 70°C'de konveksiyonel kurutucuda kurutarak kurutucu hava sıcaklığının azalmasıyla ürünlerdeki renk kayıplarının arttığını ve ürünlerde kararmalar meydana geldiğini bildirmiştir. Polatoğlu ve Beşe (2017) kızılçık meyvelerini sıcak hava sirkülasyonlu fırında 50, 60, 70°C'de kurutmuş olup, kurutma hava sıcaklığının artmasıyla kurutma süresinin kısaldığını bildirmiştir. Ayrıca çalışmada C vitamini kayıplarının en fazla olduğu kurutma hava sıcaklığının 50°C olduğu tespit edilmiştir. Koca ve ark. (2009) kuşburnu meyvesini 50, 60 ve 70°C'de konvektif kurutma tekniğiyle kurutmuş ve kurutma hava sıcaklığının azalması ile kurutma süresi ve enerji tüketiminin arttığını bildirmiştir. Horuz ve ark. (2017) yaptıkları bir çalışmada vişnenin 50 ve 70°C'de konvektif, 120-180 W çıkış güçlerinde mikrodalga ve bu yöntemlerin kombinasyonları ile kurutulmasında özgül enerji tüketimi ve toplam enerji tüketiminin en fazla olduğu yöntemin kurutma süresinin uzun olmasına paralel olarak 50°C'de konvektif kurutma olduğunu bildirmiştir. Zia ve Alibas (2021) kızılçık meyvesini gölgede, 100, 300 ve 500 W'da mikrodalga ve 50, 70 ve 90°C'de konvektif ve kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemi ile kurutmuş, en kısa kurutma süresinin 500W-90°C'de kombine kurutma yönteminde ölçüldüğünü, 50°C'de konvektif kurutma

yönteminde özgül enerji tüketiminin en yüksek olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca çalışmada antioksidan kapasitesi, toplam fenolik içerik, askorbik asit ve antosiyanin içeriği açısından taze ürüne en yakın değerlerin 300 W'da mikrodalga kurutma yönteminde elde edildiği belirtilmiştir. Kowalski ve ark. (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada çileğin 50°C'de konvektif, 100 W çıkış gücünde mikrodalga ve 50°C-100 W'da kombine konvektif-mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulmasında özgül enerji tüketiminin en yüksek olduğu yöntemin 50°C'de konvektif kurutma yöntemi olduğu bulgulanmıştır. Niro ve ark. (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada goji berry meyvesi 60°C sıcaklıkta konvektif kurutma yöntemiyle kurutulmuş ve konvektif kurutulan ürünlerdeki K, P, Cu, Fe, Mn ve Zn içeriğinin taze ürüne göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

2.2.2. Mikrodalga Kurutma Yöntemi

Mikrodalga kurutucular temel olarak magnetron, fırın boşluğu, dalga yayıcı bir güç kaynağı ve havalandırma sisteminden meydana gelmektedir (Yağcıoğlu, 1999; Alibas ve ark., 2021; Çetin, 2021). Bu yöntemde kurutucuda yer alan magnetron kurutulacak ürünlerin içerisindeki su moleküllerini yüksek frekansta titreştirmektedir. Bu titreşim hareketi sonucu oluşan hareket enerjisi ısı enerjisine dönüştürülerek ürünler merkezden başlayarak dış tabakalara doğru ısıtılmaktadır. Böylece ürünlerin içten dışa doğru kendi iç enerjisi ile kuruması sağlanmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Mikrodalga kurutmada ısı transferi (Karimi ve ark., 2021)

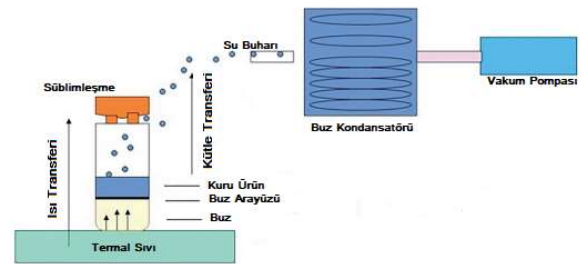
Mikrodalga kurutma yönteminin; kurutma işleminin çok kısa bir sürede sonlanması, kuruma süresinin kısalmasına bağlı olarak enerji sarfiyatının azalması ve kurutma materyalinde aroma, renk, tat, makro ve mikro besin elementi içeriği gibi kalite parametrelerinin optimum seviyede korunması ve kurutma yapılacak alanın önceden ısıtılmasına gerek duyulmaması gibi son derece önemli avantajları vardır (Alibas, 2015; Günaydın, 2020; Guo ve ark., 2021; Liu ve ark., 2021). Buna karşın, mikrodalga kurutma yönteminin ilk yatırımının oldukça pahalı olması, tasarımı, kurulumu ve kullanımının zor olması, kurutma materyalinin tüm yüzeyinin eşit oranda ısınmamasından kaynaklı ürünlerin eşit oranda kurumaması, şekerli ürünlerde yanma, esmerleşme, patlama, çatlama gibi deformasyonlara sebep olması gibi dezavantajlı yönleri vardır. Yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulmuş ürünlerde meydana gelen deformasyonları minimize etmek adına kombine kurutma yöntemlerinin uygulanması yaygınlaşmaya başlamış olup mikrodalga vakum kombinasyonunun enerji tüketimini azalttığı, bununla birlikte ürünlerde

kalite parametrelerinin çok iyi düzeyde korunduğu bilinmektedir. Benzer şekilde mikrodalga konvektif kurutma kombinasyonu ile yapılan kurutma işlemleri kurutma süresini, bununla ilişkili olarak da enerji tüketimini azaltmaktadır (Karaaslan ve ark., 2012; Alibaş, 2012; Xu ve ark., 2018; Cin ve Palazoğlu, 2019; Alibaş ve ark., 2021). Simsek ve Süfer (2021) beyaz tatlı kirazların 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta konvektif ve aynı sıcaklıkların 90 W'da mikrodalga kombinasyonu ile kurutulmasında tek başına konvektif kurutma süresinin hibrit yöntemle göre çok daha uzun olduğunu tespit etmiştir. Alibaş ve ark. (2019) maydanoz yapraklarını 700 W'da mikrodalga kurutma, 50°C sıcaklıkta konvektif kurutma, güneş fırınında, güneşte ve gölgede kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve hem kurutma süresi açısından hem de kalite parametreleri açısından en iyi sonuçları veren yöntemin güneş fırınında kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemi olduğunu bildirmiştir. Nawirska-Olszańska ve ark. (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada altın çilek meyvesinin 70°C'de konvektif kurutma, 120 W ve 480 W çıkış güçlerinde mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulmasında kurutma süresi, antioksidan ve karotenoid içeriği bakımından en yüksek değerlerin 480 W'da mikrodalga kurutma yönteminde ölçüldüğü saptanmıştır. Kutlu ve İşçi (2016) kiraz domatesinin 140, 210 ve 280 W'da mikrodalga ve 60, 70 ve 80°C hava sıcaklıklarında konvektif kurutulmasında en uzun kurutma süresi 60°C sıcaklıkta konvektif kurutmada 1050 dakika, en kısa kurutma süresi 280 W'da mikrodalga kurutma yönteminde 70 dakika olarak kaydedilmiştir. Ayrıca çalışmada renk parametrelerinin mikrodalga ile kurutulan ürünlerde konvektif kurutma yöntemine kıyasla çok daha iyi korunduğu bildirilmiştir. Behera ve ark. (2021) havuç dilimlerinin mikrodalga (0.8-2.95 w g-1) ve konvektif (40°-60°C) kurutulmasında rehidrasyon kapasitesi ve renk açısından mikrodalga kurutma yönteminin iyi sonuçlar verdiğini, ayrıca bu yöntemde enerji tüketiminin daha az olduğunu saptamıştır. Chauhan ve ark. (2015) karonda meyvesinin 800 W'da mikrodalga, -20°C'de dondurarak kurutma ve güneşte kurutma yöntemi ile kurutulmasında protein içeriği, antioksidan kapasitesi ve besin elementi içeriğinin en üst düzeyde korunduğu yöntemin 800 W'da mikrodalga kurutma yöntemi olduğunu tespit etmiştir. Liu ve ark. (2019) alıç meyvesini 60, 80, 100 ve 120°C sıcaklıklarda konvektif, 400, 640 ve 800 W'da mikrodalga, -80°C dondurarak kurutma ve güneşte kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuş olup en kısa kurutma süresinin (10-19 dakika) mikrodalga kurutma yönteminde ölçüldüğünü, bununla ilişkili olarak mikrodalga kurutma yönteminin enerji tüketimi bakımından fayda sağladığını belirlemiştir.

2.2.3. Dondurarak Kurutma Yöntemi

Dondurarak kurutma yöntemi (liyofilizasyon) ısıya duyarlı ürünlerin kurutulmasında tercih edilen bir yöntem olup, bu yöntemde üründe ihtiva eden yüksek orandaki nem düşük basınç altında süblimasyon yolu ile üründen uzaklaştırılır. Bu teknikte ürünlerden yoğun nemin azaltılması işlemi üç etapta

tamamlanmaktadır. Bunlar sırasıyla; dondurma evresi, birincil kurutma evresi ve ikincil kurutma evresidir (Şekil 3). Kurutulacak ürün ilk önce dondurulur ve dondurulmasının ardından buz oluşumları meydana gelir. Oluşan buzlar süblimleştirilerek (katı formdan gaz forma geçiş) su buharına dönüştürülmektedir. Su buharı bir vakum pompası yardımıyla çekilerek ortamdan uzaklaştırılmaktadır (Kumar ve ark., 2001; Sadıkoğlu ve Özdemir, 2003). Dondurarak kurutulan ürünlerin tekstürel yapı, renk ve besin içeriğinin önemli ölçüde korunması, tat ve aroma kayıplarının minimum düzeye inmesi, kurutulan ürünlerin yüksek rehidrasyon özelliğine sahip olmaları gibi önemli avantajları vardır. Buna karşın; maliyetinin çok yüksek olması, kurutma için çok uzun bir süreç gerektirmesi ve buna paralel olarak enerji sarfiyatının fazla olması gibi dezavantajları söz konusudur (Ratti, 2001; Marques ve ark., 2006).

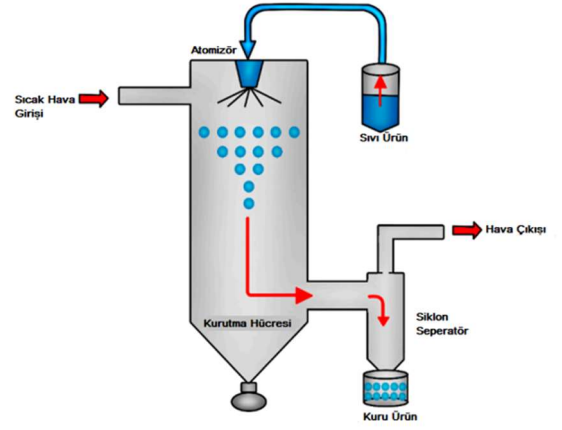


Şekil 3. Dondurarak kurutmada ısı ve kütle transferi (Kumar ve ark., 2011)

Başığit ve Karaaslan (2020) keme mantarının dondurarak, vakumlu, kabin ve güneş enerjili kurutma teknikleriyle kurutulmasında renk, rehidrasyon kapasitesi, koku ve aroma özellikleri bakımından en iyi sonuçları veren yöntemin dondurarak kurutma yöntemi olduğunu bildirmiştir. Akyıldız ve ark. (2017) karpuz dilimlerini 70°C sıcaklıkta konvektif kurutma ve -66°C'de dondurarak kurutma yöntemi ile kurutmuş olup, askorbik asit, tat, koku, rehidrasyon kapasitesi açısından en iyi sonuçları veren yöntemin dondurarak kurutma yöntemi olduğunu belirtmiştir. Çakmak ve ark. (2016) dilimlenmiş dağ çileği meyvesini -50°C'de dondurarak kurutma yöntemi ve 60°C'de tepsili kurutucuda konvektif kurutma yöntemi ile kurutmuş olup, askorbik asit içeriği, toplam fenolik ve antioksidan kapasitesinin dondurarak kurutulan ürünlerde daha iyi korunduğunu saptamıştır. Lu ve ark. (2021) siyah kurt üzümünü güneşte, 50 ve 60°C'de konvektif, -30 ve -60°C'de dondurarak kurutma yöntemi ile kurutmuş ve dondurarak kurutulan ürünlerin görüntü, biyoaktif bileşenler, toplam fenolik, antioksidan kapasitesi ve antosiyanin içeriğinin diğer kurutma yöntemlerine nazaran daha iyi korunduğunu belirtmiştir. Köprülalan ve ark. (2021) balkabağı dilimlerinin -55°C'de dondurarak kurutma, 50, 60 ve 70°C'de konvektif kurutma ve bu yöntemlerin puf kurutma kombinasyonu ile kurutulmasında antioksidan kapasitesi, fenolik içerik, toplam karotenoid ve renk bakımından dondurarak kurutma yönteminin diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiğini, dondurarak-puf kurutma kombinasyonunun tek başına dondurarak kurutma yöntemine göre kurutma süresini %23 oranında azalttığını bildirmiştir.

2.2.4. Sprey Kurutma Yöntemi

Püskürtmeli kurutma yöntemi olarak da bilinen sprej kurutma yöntemi sıvı, yarı sıvı ya da ince pulp halindeki ürünlerin kurutulmasında kullanılır. Püskürtmeli (sprej) kurutma sistemleri temel olarak sıcak hava üretim düzeni, ürünü kurutma hücreğine püskürten bir atomizör, kurutma hücresi, toz ürünü ortamdaki uzaklaştırmaya yarayan bir siklon seperatör ve elde edilen toz formdaki son ürünün toplandığı bir ürün toplama kabından oluşur. Sprej kurutma yönteminde temel prensip akışkan ürünlerin, içerisinde sıcak hava bulunan kurutucu hücreğine püskürtülmesi sonucu sıcak hava etkisi ile ürünlerdeki fazla suyun buharlaştırılmasıdır (Şekil 4). Kurutma sonucu elde edilen son ürün toz formdadır. Burada kurutucu içerisindeki hava sıcaklığı yaklaşık 150-200°C dolaylarında iken, kuru ürün sıcaklığı 60°C civarındadır. Püskürterek kurutma işlemi 3-10 saniye gibi çok kısa bir sürede sonlanır. Sprej kurutma yöntemi gıda ve eczacılık sektörü başta olmak üzere biyokimyasal ve kimyasal endüstri, hayvan kesimhaneleri, balık endüstrisi ve bazı ahşap ürünlerin yapım aşaması olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır. Süt tozu üretimi, meyve-sebze suyu tozları eldesi, bitki özlerinin çıkarılması, deterjan sabun gibi temizlik ürünlerinin yapımı, puding tozu eldesi, enkapsüle ürünler, aşı, vitamin ve maya üretimi, hayvan proteini ve kanlarının kurutulması püskürterek kurutma yönteminin kullanım alanlarından (Sagar ve Kumar, 2010; İşleroğlu ve ark., 2018). Sprej kurutma yönteminin; kurutma işleminin çok kısa bir sürede sonlanması, elde edilen son ürünlerde parçacık boyutlarının eşit oranda olması, kurutmanın steril bir ortamda gerçekleşmesi, gıda sektöründen eczacılığa kadar çok geniş bir kullanım yelpazesine sahip olması, ürünlerin renk, aroma ve besinsel içeriğinin iyi düzeyde korunması, işletim kolaylığı sunması gibi konularda fayda sağlamaktadır. Buna karşın maliyeti oldukça yüksektir olup, büyük alanlar işgal etmesinden ötürü fabrikasyonunda sıkıntılar yaşanmaktadır (Özdemir ve ark., 2021). Karaça ve ark. (2017) sprej kurutma yöntemi ile dokuz çeşit meyve suyu konsantresini kurutmuş ve elde edilen meyve suyu tozlarının toplam fenolik madde ve antioksidan içeriğinin iyi düzeyde korunduğu bildirmiştir. Can ve ark. (2020) organik çilek özütünü 120-150°C giriş hava sıcaklığında püskürtmeli kurutma yöntemi ile kurutmuş ve sprej kurutma yönteminin organik çilek özütünden toz elde etmek konusunda uygun olduğunu tespit etmiştir.



Şekil 4. Sprej kurutma tekniği şematik gösterimi (Marante ve ark., 2020)

2.2.5. Vakumlu Kurutma Yöntemi

Vakumlu kurutma yöntemi ısı hassasiyeti olan materyallerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde ürünlerden fazla suyun uzaklaştırılması işlemi vakum ortamında gerçekleştirilmekte olup, bir vakum pompası yardımıyla vakum hücresinin içindeki hava çekilerek basınçlı vakum ortamı oluşturulur. Ürünler ısı iletim tekniklerinden (konveksiyon ya da radyasyon) biri ile ısıtılarak bünyesinde bulunan fazla suyun buharlaşması sağlanır. Buharlaşan su, vakum hücrelerinden dışarı atılır (Alibaş, 2011). Vakumlu kurutma yönteminde uygulanan vakum etkisi ürünlerin kalitesini belirleyen önemli bir parametre olup, vakum etkisinin artırılması kurutulmuş ürünlerin renk, koku, tat, rehidrasyon kapasitesi ve besin içeriği gibi kalite parametrelerinin iyi seviyede korunmasını sağlamaktadır. Konvektif kurutma yöntemi ile kıyaslandığında vakumlu kurutma yönteminde kurutma süresi daha kısa olmaktadır. Bununla ilişkili olarak da bu yöntemde enerji sarfiyatı konvektif kurutmaya nazaran daha düşüktür. Vakumlu kurutma yöntemi söz konusu avantajlarının yanı sıra ilk yatırım maliyetinin pahalı olması gibi bir dezavantaja sahiptir (Alibaş, 2011; Sahin ve ark., 2020). Alibaş (2011) kırmızı şili biberini 50 ve 75°C sıcaklıklarda ve 0.05, 7 ve 13 kPa vakum uygulaması ile altı farklı kurutma deseni ile kurutmuş ve çalışma sonucunda kurutma süresi, enerji tüketimi ve renk parametreleri açısından en iyi kurutma yönteminin 75°C sıcaklıkta 0.05 kPa vakum uygulaması olduğunu bildirmiştir. Sahin ve ark. (2020) buharda ve suda haşlama ön işlemi uyguladıkları enginar dilimlerinin 70°C sıcaklıkta 10, 15 ve 25 kPa vakum uygulaması ile kurutmuş, suda haşlama ön işlemi uygulanan 70°C-15 kPa vakum uygulamasında toplam fenolik içeriğinin üst düzeyde olduğunu bildirmiştir. Quintero ve ark. (2014) kuşburnu meyvelerini 60°C ve 70°C sıcaklıkta konvektif, 35.0 kPa-70°C ve 21.0 kPa-60°C kombinasyonu ile vakumlu kurutma ve aynı sıcaklıklarda kızılötesi kurutma yöntemi ile kurutulmasında taze ürüne en yakın renk değerlerinin 21.0kPa-60°C kombinasyonunu içeren vakumlu kurutma yönteminde ölçüldüğünü bildirmiştir. Özkan

Karabacak (2019) karaçalı pestilinin vakumla kurutulmasında basınç seviyesinin artırılmasıyla kurutma süresinin kısaldığını belirtmiştir. İzli ve ark. (2019) deveci armudu dilimlerini 100-200 W'da mikrodalga ve 200-400 mmHg basınç uygulaması ile mikrodalga vakum kombinasyonu ile kurutmuş ve vakum seviyesinin artması ile enerji tüketiminin azaldığını, kombine kurutulan ürünlerin gözeneklilik boyutu ve dağılımının homojenlik gösterdiğini belirlemiştir.

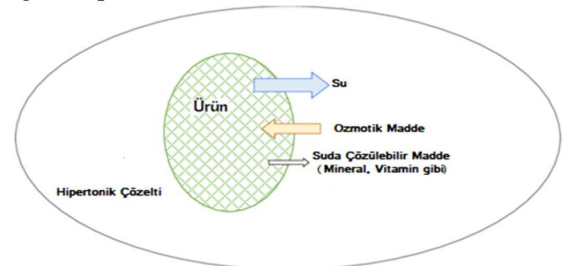
2.2.6. Kızılötesi Kurutma Yöntemi

Kızılötesi ışınım ile kurutma yöntemi; kurutma materyalinin üzerine yansıyan kızılötesi ışınımın ısı enerjisine dönüştürülmesi ile fazla suyun üründen uzaklaştırılması olarak tanımlanır. Bu yöntemde kızılötesi ışınlar kurutma materyalini yüzeysel olarak ısıtırken, kurutucu içerisindeki hava ısısını etkilemez. Kızılötesi ışınlar kurutma materyalinin derinliklerine nüfuz etmez. Bu yüzden ince tabaka halindeki ürünlerin kurutulması için uygun bir yöntemdir. Gıdaların kızılötesi ışınlarla kurutulması esnasında 0.5-100 µm dalga boyu kullanımı uygun görülmektedir. Ürünlerin nem yoğunluğu ve ürün kalınlığı oldukça önemli bir parametre olup, kurutma kinetiğini belirleyici bir faktördür. Hububatlar gibi nem içeriği düşük ürünlerin kızılötesi ışınım ile kurutulması sırasında kabukta çatlama, patlama gibi birtakım deformasyonlar meydana gelir (Özkoç, 2010; Aktaş ve ark., 2013; Nozad ve ark., 2016). Bu kurutma yöntemi, işletim kolaylığı sunması, kurutma süresinin kısalığı, enerji tüketiminin az olması, materyallerin besinsel içeriğinden özellikle vitamin içeriğinin iyi düzeyde korunması, herhangi bir durumda anında müdahale edilebilmesi, ürünlerin ısı ile temasının çok kısa sürede gerçekleşmesi ve ürünlerin homojen kuruması gibi önemli avantajları olması sebebiyle giderek rağbet gören bir kurutma yöntemi haline gelmiştir. Fakat maliyetinin çok yüksek olması, her ürün için uygun bir kurutma yöntemi olmaması ve uzun süre kızılötesi radyasyona maruz kalan materyallerde birtakım kalite kayıplarının meydana gelmesi gibi dezavantajları da söz konusudur. Kızılötesi ışınım ile kurutma yönteminin konveksiyonel ya da mikrodalga kaynaklarla kombinasyonu ile birlikte uygulanması daha uygundur (Salehi ve Kashaninejad, 2018; Amini ve ark., 2021). Küçük ve Doymaz (2019) kamkat dilimlerini 50, 62, 74 ve 88 W'da kızılötesi radyasyon güçlerinde kurutmuş ve kurutma sürelerini sırasıyla; 330, 240, 180 ve 150 dakika olarak belirlemiştir. Çalışmada kızılötesi radyasyon gücünün artırılmasıyla kurutma süresinin kısaldığı bildirilmiştir. Taşkın ve İzli (2017) hurma meyvesini 60, 70 ve 80°C'de kızılötesi kurutucuda kurutmuş olup, kurutucu sıcaklığının artmasıyla kuruma süresinin kısaldığını tespit etmiştir. Kocabiyik ve Tezer (2009) havuç dilimlerini 300, 400 ve 500 W'da kızılötesi radyasyon güçlerinde kurutulmasında kızılötesi radyasyon gücünün artmasıyla kurutma süresi ve özgül enerji tüketiminin azaldığını belirlemiştir. Abbaspour-Gilandeh ve ark. (2021) ultrases, haşlama ve mikrodalga ön işlemleri

uyguladıkları menengiç tohumlarını 50, 60, 70°C sıcaklıklarda konveksiyonel ve 250, 500, 750 W'da kızılötesi radyasyon güçlerinde kızılötesi kurutma yöntemi ile kurutmuş olup, özgül enerji tüketiminin en az olduğu yöntemin mikrodalga ön işlemleri uygulaması ile 750 W'da kızılötesi kurutma yöntemi olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca çalışmada mikrodalga ön işlemleri uygulaması ile kızılötesi kurutma yönteminin kurutma süresini ve enerji tüketimini önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir.

2.2.7. Ozmotik Kurutma Yöntemi

Ozmotik kurutma yöntemi dilimlenmiş ya da bütün haldeki meyve ve sebze gibi kurutma materyallerinin hipertonic çözelti içerisinde bir müddet bekletilmesi sonucu fazla suyun üründen uzaklaştırılması olarak ifade edilir. Ozmotik kurutma yönteminde işlem süresinin oldukça uzun olması ozmoz öncesi elektriksel ya da ultrasonik ön işlem uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Meyvelerin ozmotik kurutulmasında genellikle sakkaroz çözeltisi kullanılırken, sebzeler için sodyum klorür ya da sakkaroz sodyum klorür solüsyonları tercih edilir. Ozmotik kurutma işlemi sırasında buharlaşmadan ziyade ozmoz olayı öne çıkmaktadır (Şekil 5). Bu yöntemde ürünlerin nem oranı %25-50 nem düzeyine kadar indirilebildiğinden, literatürde ozmotik dehidrasyon çoğunlukla kurutma öncesi bir ön işlem olarak kabul görmüştür (İçier ve ark., 2013; Çetin, 2021; Uğuz ve Gezici, 2021). İçier ve ark. (2013) ayva dilimlerini ön işlemsiz ozmotik kurutma, ultrases ve elektriksel ön işlem uygulamasının ardından ozmotik kurutma yöntemi ile kurutmuş ve renk, toplam katı madde miktarı, elektriksel iletkenlik, ağırlık azalımı, boyut değişimi ve sıcaklık gibi kalite belirteçleri bakımından en iyi sonuçların ultrason ön işlemleri ozmotik kurutma yönteminde elde edildiğini bildirmiştir. Zou ve ark. (2013) mango meyvesine ozmotik dehidrasyon ön işlemi uyguladıktan sonra puf kurutma yöntemi ile kurutmuş ve ozmotik dehidrasyon ön işlem uygulanan ürünlerde tat, renk ve aroma açısından taze ürüne yakın değerler elde edildiğini saptamıştır. Uğuz ve Gezici (2021) ejder meyvesini ozmotik dehidrasyon ön işlemleri ve ön işlemsiz olarak dondurarak kurutma yöntemi ile kurutmuş olup, kurutma süresi, şeker kazanımı, renk ve doku açısından ozmotik dehidrasyon ön işlemleri dondurarak kurutma yönteminin daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmiştir.



Şekil 5. Ozmotik dehidrasyon (Guiamba, 2016)

2.2.8. Köpük Kurutma Yöntemi

Köpük kurutma yöntemi; kurutulmak istenen ürünün sıvı forma dönüştürülmesinin ardından soya proteini, yumurta albümini, gam, süt, yumurta beyazı, gliserol monosakkarit, triklorofosfat gibi stabilizatörler veya ajanlar vasıtası ile köpük haline getirildikten sonra sıcak hava, mikrodalga, vakum ya da dondurarak kurutma yöntemi gibi diğer kurutma yöntemleri ile kurutulmasıdır. Köpük kurutma yöntemi katı, sıvı ve püre formundaki ürünlerin kurutulması için uygundur. Bu yöntemde elde edilen son ürün toz formda olup, kullanılan stabilizatör ya da ajan kurutulmuş ürünlerin kalite parametrelerini ve kurutma kinetiğini önemli ölçüde etkiler. Köpük kurutma yönteminin düşük maliyetli olması, kurutma süresini kısaltması, elde edilen son ürünün raf ömrünün uzun olması, depolama ve nakliye açısından kolaylık sağlaması gibi avantajları söz konusudur. Bununla birlikte köpük formun düşük sıcaklıklarda dahi çok çabuk kuruması besin içeriği kayıplarını minimuma indirir. Geniş yayılım alanına sahip olan köpüklerin sistem çalışma kapasitesini düşürmesi gibi bir dezavantajı vardır (Kadam ve ark., 2012; Varhan ve Koç, 2017; Çınar ve Erafşar, 2018; Dehghannya ve ark., 2019). Kadam ve ark. (2012) domates suyunu yumurta akı, süt ve karboksimetil selüloz ajanları ile köpük hale getirdikten sonra 65, 75 ve 85°C'de sıcak hava ile kurutmuş ve elde edilen domates tozlarının C vitamini, likopen, toplam şeker ve toplam asit açısından en iyi sonuçların karboksimetil selüloz ajanı kullanılarak 85°C'de kurutulan ürünlerden elde edildiğini bildirmiştir. Gupta ve ark. (2021) hünnap meyvesinin yumurta albümini ve maltodekstrin ile sıvılaştırılmasının ardından yüksek devirde çarpıcı kullanarak köpük hale getirmiş ve 45, 55 ve 65°C'de sıcak hava ile kurutarak hünnap tozu elde etmiştir. Yüksel ve Çalışkan Koç (2020) yumurta akı ile sıvı forma getirdikleri avokado meyvesini mikser yardımıyla köpük forma dönüştürdükten sonra 60, 70, 80°C'de konveksiyonel kurutma fırınında ve 120, 460, 700 W'da mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutarak avokado tozu elde etmiştir. Çalışmada mikrodalga çıkış gücü ve kurutma hava sıcaklığının artmasıyla kuruma süresinin kısaldığı bildirilmiştir. Razali ve ark. (2020) muz püresini peynir altı suyu ve karboksimetil selüloz kullanılarak köpük forma dönüştürdükten sonra 50, 60, 70, 80°C'de konvektif olarak kurutmuş ve köpük yoğunluğu, renk, nem içeriği, çözünürlük açısından en iyi sonuçların 80°C'de elde edildiği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte çalışmada muzun köpük kurutma yöntemi ile kurutulmasının kurutma süresini geleneksel konvektif kurutma yöntemine göre 3 kat azalttığı bildirilmiştir.

2.2.9. Puf Kurutma Yöntemi

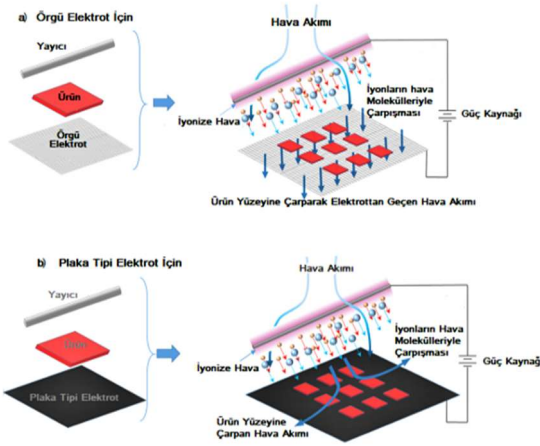
Puf kurutma yönteminde ilk olarak yüksek basınç altında kızgın buhar ya da doymuş buhar gibi yüksek sıcaklıkların tesiri altında kurutma materyalinin dokusu gevşetilerek yumuşak bir hale gelmesi sağlanır. Daha sonra vakum altında fazla su üründen hızlı bir şekilde buharlaştırılır. Dolayısıyla yüksek sıcaklıkta ani basınç düşmesi ilkesine dayanan bir

yöntemdir. Puf edilen kurutma materyallerinde bal peteğini anımsatan gözenekli oluşumlar meydana gelir. Ürünler genellikle 0.1-0.3 MPa hava basıncında ve 80-130°C sıcaklıklarda puf hale getirilmekte olup bu işlem 7-15 dakika sürmektedir. Son yıllarda popülerliği artmaya başlayan puf kurutma yönteminin, ürünlerde koku, tat, renk, görüntü ve besin içeriğinin iyi düzeyde korunması, işletim maliyetinin yüksek olmaması, ürünlerin herhangi bir ön işlemden geçirilmeksizin doğrudan kullanılabilmesi, nakliye ve depolama giderlerinin az olması gibi önemli avantajları söz konusudur. Söz konusu avantajlarından ötürü puf kurutma yönteminin diğer kurutma yöntemlerine göre daha üstün olduğu ve önümüzdeki yıllarda popüleritesinin artacağı ön görülmektedir (Du ve ark., 2013; Köprüalan ve ark., 2019). Du ve ark. (2013) hünnap meyvesinin güneşte ve puf kurutma yöntemi ile kurutulmasında antioksidan, toplam fenolik, vanillik, galial, phidroksibenzoik, p-kumarik asit, ferulik asit açısından en yüksek değerlerin puf kurutma yöntemi ile kurutulmuş ürünlerde elde edildiğini belirtmiştir. Chen ve ark. (2017) karadut meyvesini dondurarak kurutma, konvektif kurutma ve bu kurutma yöntemlerinin puf kurutma ile kombinasyonu ile kurutulmasında siyanidin-3-glukozit, tat, renk ve tekstürün en iyi korunduğu yöntemin dondurarak kurutma-puf kurutma kombinasyonu olduğunu bildirmiştir. Yi ve ark. (2017) papaya, mango ve pitaya meyvelerinin konvektif ve dondurarak kurutma yöntemi ile kurutularak ön işlem uygulanmasının ardından puf kurutma yöntemi ile kurutmuş ve dondurarak kurutma ön işlemli puf kurutma yönteminde besinsel içeriğin daha iyi seviyede korunduğunu tespit etmiştir. Zou ve ark. (2013) mango meyvesine ozmotik dehidrasyon ön işlemi uyguladıktan sonra puf kurutma yöntemi ile kurutmuş ve ön işlem uygulanan ürünlerde tat, renk ve aroma açısından taze ürüne yakın değerler elde edildiği saptanmıştır.

2.2.10. Elektrohüdrodinamik Kurutma Yöntemi

Elektrohüdrodinamik kurutma yöntemi termal olmayan yenilikçi bir kurutma teknolojisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem daha çok ısı hassasiyeti olan ürünlerin kurutulmasında tercih edilir ve kurutulacak ürünler ince tabaka halinde plaka tipi ya da örgü tip bir elektrot üzerine yerleştirilir (Bajgai ve ark., 2006; Yang ve Ding, 2016; Onwude ve ark., 2021; Cao ve ark., 2021). Elektrohüdrodinamik kurutma yönteminde yüksek AC ya da DC gerilimi altında yatay ince bir telden ya da keskin bir elektro iletken iğneden kaynaklanan elektrik boşalması meydana gelmektedir. Daha sonra deşarj elektrodunu terk eden iyonlar metalik ve elektriksel olarak topraklanmış elektrot üzerinde yer alan kurutma materyallerinin yüzeyine çarpmaktadır. Yarı iyonize gaz molekülleri ile birlikte artuk yüklü olmayan moleküller, toplama elektrodu ile deşarj elektrodu arasında çok hızlı bir gaz akışı oluşturarak ürünlerden fazla nemin uzaklaşmasını sağlamaktadır (Şekil 6). Akım, voltaj ve sıcaklık gibi parametreler EHD kurutma kinetiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Elektrohüdrodinamik kurutma tekniğinin (EHD)

tasarımı ve kullanımı oldukça kolaydır. İşletim masrafının az olması, kurutma materyallerinden fazla suyun kısa sürede uzaklaşması, ürünlerde renk, görünüş, aroma, besinsel içeriğin iyi seviyede korunması ve kurutulmuş ürünlerde meydana gelen yapısal bozulmaların diğer tekniklere nazaran daha az olması gibi avantajları bulunmaktadır. Henüz yaygın bir kullanıma sahip olmayan bu kurutma tekniğinin kurutma işleminin başlangıcında etkinliği oldukça fazladır. Ancak kurutmanın son evrelerinde aynı etkiyi gösterememektedir. Bu sebeple diğer kurutma yöntemleriyle entegre edilerek uygulanmasının bu kurutma tekniğinin işlevselliğini artıracakı düşünülmektedir (Elmizadeh ve ark., 2018; Kovacı ve ark., 2018; Defreaye ve Martynenko, 2019; Bölek, 2020; Iranshahi ve ark., 2020).



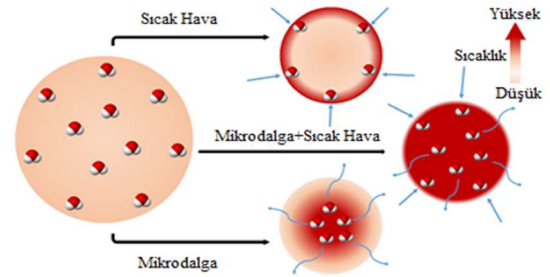
Şekil 6. Elektrohodinamik kurutma yöntemi; a) Örgü tip elektrot için, b) Plaka tipi elektrot için (Iranshahi ve ark., 2020)

Polat ve Izli (2020) kayısı meyvesinin elektrohodinamik kurutma, konvektif kurutma ve bu yöntemlerin kombinasyonu ile kurutulmasında yeniden su çekme kapasitesinin kombine yöntem ile kurutulmuş ürünlerde daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Ding ve ark. (2015) havuç dilimlerinin 70°C'de konvektif ve 40°C-35kV'de konvektif-EHD kombinasyonu ile kurumuştur. Çalışmada rehidrasyon kapasitesi ve karoten açısından en iyi sonuçların konvektif-EHD kombinasyonunda elde edildiği bildirilmiştir. Bai ve ark. (2012) deniz patlıcanını elektrohodinamik kurutma ve vakumlu dondurarak kurutma ile kombine ettikleri EHD-vakumlu dondurarak kurutma tekniği ile kurutmuş ve kombine yöntem ile kurutulan ürünlerde protein içeriğinin daha iyi korunduğunu ve yeniden su çekme kapasitesinin daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca çalışmada EHD-vakumlu dondurarak kurutma tekniğinin enerji sarfiyatını azalttığı belirlenmiştir. Elmizadeh ve ark. (2018) ayva dilimlerini 5, 7 ve 9 kV'luk üç voltaj seviyesinde elektrohodinamik ve 50, 60, 70°C hava sıcaklıklarında konveksiyonel kurutma fırınında kurumuştur. Çalışmada EHD ile kurutulmuş ürünlerde voltaj seviyesinin artmasıyla ürünlerde renk kayıplarının arttığı ve yeniden su çekme kapasitesinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca artan voltaj seviyesi ve kurutucu hava sıcaklığının

kurutma süresini kısalttığı bildirilmiştir. Esehaghbeygi ve Karimi (2020) tarafından yürütülen bir çalışmada nane yaprakları 25°C'de gölgede, 13, 14.5 ve 16 kV'luk üç voltaj seviyesinde elektrohodinamik kurutma yöntemi ve 40°C'de sıcak hava sirkülasyonlu (konvektif) fırında kurutulmuştur. Çalışma sonucunda EHD kurutma yönteminin kurutma süresi ve enerji tüketimi bakımından avantaj sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte çalışmada EHD ile kurutulmuş ürünlerin renk parametrelerinin taze ürüne daha yakın olduğu, konvektif kurutma yönteminde ürünlerde esmerleşme reaksiyonlarının meydana geldiği vurgulanmıştır.

2.2.11. Hibrit Kurutma Yöntemi

Hibrit kurutma yöntemi mevcut kurutma yöntemlerinin tek başına kullanılması sonucu ortaya çıkan olumsuzlukları aşmak adına geliştirilmiştir. Bu kurutma tekniğinde, farklı yöntemlerin birbiri ile kombine edilerek (mikrodalga-sıcak hava, dondurarak-vakum kurutma, mikrodalga-vakum gibi) hem ürün kalitesi hem de enerji tüketimi bakımından fayda sağlanması amaçlanmaktadır (Şekil 7). Hibrit kurutma yöntemlerinin kurutma süresini kısaltarak enerji tüketimini azalttığı ve besin içeriği, görüntü ve tat açısından daha kaliteli ürünlerin elde edildiği bilinmektedir. Son yıllarda hibrit kurutma yöntemlerinin kullanımı artmaya başlamıştır (Xu ve ark., 2018; Adeleye ve ark., 2020; Guo ve ark., 2021).



Şekil 7. Hibrit kurutmada ısı transferi (Karimi ve ark., 2021)

İncedayı ve ark. (2016) kayısının 90-160 W'da mikrodalga, 50-75°C'de konvektif ve bu yöntemlerin kombinasyonları ile kurutulması sonucunda 50°C-160W hibrit kurutma yöntemi ile kurutulmuş ürünlerde kısa kuruma süresi ile ilişkili olarak karoten içeriğinin daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Sunjka ve ark. (2008) kızılcık meyvesini 100, 125 ve 150 W'da mikrodalga ve 3.4, 18.6, 33.8 kPa basınç uygulamasının kombinasyonu ile kurutmuş ve çalışmada mikrodalga çıkış gücü ve basınç seviyesinin artırılmasıyla kurutma süresinin kısalacağı sonucuna varılmıştır. Zia ve Alibaş (2021) yaban mersini meyvesini 50, 70 ve 90°C'de konvektif, 100, 300 ve 500 W'da mikrodalga kurutma yöntemi ve bu yöntemlerin kombinasyonları ile kurutmuştur. Çalışmada en kısa kurutma süresi ve enerji tüketiminin 500W-90°C kombine yöntemde, en uzun kurutma süresi ve enerji tüketiminin 50°C'de konvektif kurutma yönteminde ölçüldüğü bulgulanmıştır.

Köprülalan ve ark. (2021) balkabağı dilimlerinin - 55°C’de dondurarak kurutma, 50, 60 ve 70°C’de konvektif kurutma ve bu yöntemlerin puf kurutma kombinasyonu ile kurutulmasında dondurarak-puf kurutma kombinasyonunun tek başına dondurarak kurutma yöntemine göre kurutma süresini %23 oranında azalttığını tespit etmiştir.

sağlayabilir. Çalışmada ele alınan tarımsal ürünler Çizelge 1’de sunulmuştur.

4. SONUÇ

Bu çalışmada tarımsal ürünlerin kurutulmasında yararlanılan kurutma yöntemleri literatür bilgileri doğrultusunda incelenmiştir. Bilinen en ilkel kurutma yöntemleri olan güneşte ve gölgede kurutma, kurutma süresini uzatmasının yanı sıra ürünlerde bir takım deformasyonları ve kalite kayıplarını da beraberinde getirmektedir. Bu sebeple bu kurutma yöntemlerinin yerini güncel kurutma yöntemleri almaya başlamıştır. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında hem kurutma süresi hem de ürün kalitesi açısından konvektif (sıcak hava ile), mikrodalga, vakumlu, ozmotik, dondurarak, kızılötesi, sprej, puf, köpük, elektrohidrodinamik ve hibrit kurutma yöntemlerinin güneşte ve gölgede kurutmaya alternatif kurutma yöntemleri olduğu görülmüştür. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında güneşte ve gölgede kurutmaya alternatif olarak geliştirilmiş en ekonomik ve yaygın olarak kullanılan kurutma yöntemi konvektif kurutma yöntemi olup, yapılan birçok çalışmada bu yöntemin özellikle bağıl nemin yüksek olduğu yerlerde kurutma süresini uzattığı buna bağlı olarak da enerji tüketiminin fazla olduğu, düşük sıcaklıklarda uzun süre sıcak hava etkisinde kalan ürünlerde kalite kayıplarının meydana geldiği kaydedilmiştir. Bu dezavantajlarının önüne geçmek adına konvektif kurutma yöntemine alternatif olabilecek birçok kurutma yöntemi geliştirilmiştir. Mikrodalga kurutma yöntemi ve vakumlu kurutma yöntemi kurutma süresi ve enerji tüketimi açısından fayda sağlamakla birlikte bu yöntemlerde kurutma materyallerinin kalite parametreleri optimum düzeyde korunmaktadır. Dondurarak kurutma yönteminde besin içeriği diğer kurutma yöntemlerine göre çok daha iyi korunmakta fakat kurutma için çok uzun bir süreç gerektirmektedir. Sprej ve köpük kurutma yöntemi daha çok sıvı formdaki ürünlerin kurutulmasında tercih edilmekte olup besin kalitesi, kurutma süresi ve enerji tüketimi bakımından fayda sağlayan yöntemlerdir. Bununla birlikte puf kurutma yöntemi yeni yeni ilgi görmeye başlamış ve diğer kurutma yöntemlerine göre pek çok üstünlüğü vardır. Kızılötesi kurutma yöntemi ise kızılötesi radyasyon güçlerinin ürünlerin derinliklerine nüfuz edememesinden ötürü ince tabaka ürünlerin kurutulması için uygundur. Bu kapsamda her kurutma yönteminin her ürünün kurutulması için uygun olmadığı görülmektedir. Elektrohidrodinamik kurutma yöntemi henüz yaygın bir kullanıma sahip değildir. Tek başına kullanılması durumunda kurutmanın son evlerinde etkinliği azaldığı için diğer kurutma yöntemleri ile kombine edilmesinin uygun olduğu görülmüştür. Tüm bunlar dikkate alındığında kurutma yöntemlerinin birbiri ile kombine edilerek kullanılması kurutma süresi, enerji tüketimi ve ürünlerin kalite parametreleri açısından avantaj

Çizelge 1. Çalışmada ele alınan tarımsal ürünler ve kurutma koşulları

Ürün	Kurutma Koşulu	Uygulama	Referans
Kuzukulağı Yaprağı	Güneş; Mikrodalga	180, 540 ve 900 W	Silbir ve ark., 2015
Kuşburnu	Gölge; Mikrodalga; Konvektif	100, 300, 500, 700 ve 1000 W; 50°C	Günaydın, 2020
Karayemiş	Mikrodalga; Kızılötesi	460, 600 ve 700 W (MD); 200, 300, 400 ve 500 W (KÖ)	Güleç ve Turhan Özdemir, 2017
Börtülce Yaprağı	Güneş	Sıcak Su Ön İşlem	Wasswa ve ark., 2021
Deveci Armudu	Gölge; Konvektif Mikrodalga-Vakumlu	60, 80 ve 100°C 100 ve 200 W; 200-400 mmHg	Alibaş ve ark., 2021 Izli ve ark., 2019
Kırmızı Biber	Güneş; Sera; Gölge; Mikrodalga; Konvektif; Dondurarak	300 ve 600 W; 60 ve 80°C; -55°C	Pinar ve ark., 2021
Sarımsak	Gölge; Güneş; Mikrodalga; Konvektif	800 W; 60°C	Patel ve ark., 2020
Elma	Konvektif	40, 50 ve 60°C	Maysami ve ark., 2020
Nar	Konvektif; Mikrodalga	50, 60 ve 70°C; 270, 450 ve 630 W	Kaveh ve ark., 2021
Böğürtlen, Ahududu, Frenk üzümü	Konvektif; Dondurarak	50, 65 ve 130°C; -80°C	Bustos ve ark., 2018
Kızılıçık	Konvektif Gölgede; Mikrodalga; Konvektif; Hibrit	50, 60 ve 70°C 100, 300 ve 500 W; 50, 70 ve 90°C	Polatoğlu ve Beşe 2017; Demir ve ark., 2019 Zia ve Alibaş, 2021
Goji Berry	Mikrodalga; Vakumlu-Mikrodalga Konvektif	100, 125 ve 150 W; 3.4, 18.6, 33.8 kPa 60°C	Sunjka ve ark., 2008 Niro ve ark., 2017
Vişne	Konvektif; Mikrodalga;	50 ve 70°C; 120 ve 180 W	Horuz ve ark., 2017
Çilek	Konvektif; Mikrodalga; Konvektif-Mikrodalga	50°C; 100 W; 50°C-100 W	Kowalski ve ark., 2016
Kiraz	Konvektif; Mikrodalga-Konvektif	50, 60 ve 70°C; 50°C-90 W, 60°C-90 W, 70°C -90 W	Simsek ve Süfer, 2021
Maydanoz	Güneş; Gölge; Güneş Fırını; Mikrodalga; Konvektif	700 W; 50°C	Alibaş ve ark., 2019
Altın Çilek	Mikrodalga; Konvektif	120 ve 480 W; 70°C	Nawirska-Olszanska ve ark., 2017
Domates	Mikrodalga; Konvektif	140, 210 ve 280 W; 60, 70 ve 80°C	Kutlu ve İşçi, 2016
Havuç	Mikrodalga; Konvektif Kızılötesi Konvektif; Konvektif-Elektrohidrodinamik	0.8-2.95 wg ⁻¹ ; 40-60 °C 300, 400 ve 500 W (KÖ) 70°C; 40°C-35 kV	Behera ve ark., 2021 Kocabiyik ve Tezer, 2009 Ding ve ark., 2015

Karonda	Güneş; Mikrodalga; Dondurarak	800 W; -20°C	Chauhan ve ark., 2015
Alıç	Güneş; Konvektif; Mikrodalga; Dondurarak	60, 80, 100 ve 120°C; 400, 640 ve 800 W; -80°C	Liu ve ark., 2019
Çizelge 1 'in devamı			
Karpuz	Konvektif; Dondurarak	70°C; -66°C	Akyıldız ve ark., 2017
Dağ Çileği	Dondurarak; Konvektif	-55°C; 60°C	Çakmak ve ark., 2016
Kurt Üzümü	Güneş; Konvektif; Dondurarak	50 ve 60°C; -30 ve -60°C	Lu ve ark., 2021
Balkabağı	Konvektif; Dondurarak; Puf	50, 60 ve 70°C; -55°C	Köprüalan ve ark., 2021
Çilek Özütü	Sprey	120-150°C	Can ve ark., 2020
Kırmızı Şili Biberi	Vakumlu	50 ve 75°C; 0.05, 7 ve 13 kPa	Alibaş, 2011
Hurma	Kızılötesi	60, 70 ve 80°C	Taşkın ve İzli, 2017
Kamkat	Kızılötesi	50, 62, 74 ve 88 W	Küçük ve Doymaz, 2019
Menengiç	Konvektif; Kızılötesi	50, 60 ve 70°C (K); 250, 500 ve 750 W (KÖ)	Abbaspour-Gilandeh ve ark., 2021
Ayva	Ozmotik	Ultras ve Elektriksel Ön işlem	İcier ve ark., 2013
	Konvektif; Elektrohidrodinamik	50, 60, 70°C; 5, 7, ve 9 kW	Elmizadeh ve ark., 2018
Ejder Meyvesi	Dondurarak; Ozmotik-Dondurarak	-20°C; Sakkaroz Çözeltisi	Uğur ve Gezici, 2021
Hünnap	Güneş; Puf	Yumurta albümini,	Du ve ark., 2013
	Köpük	Maltodekstrin; 45, 55 ve 65°C	Gupta ve ark., 2021
Avakado	Köpük	Yumurta akı 60, 70, 80°C; 120, 460, 700 W	Yüksel ve Çalışkan Koç, 2020
Muz	Köpük	Karboksümetil selüloz 50, 60, 70, 80°C	Razali ve ark., 2020
Nane Yaprağı	Gölge; Konvektif Elektrohidrodinamik	40°C; 13, 14.5 ve 16 kV 90 ve 160 W; 50 ve 75°C;	Esehaghbeygi ve Karimi, 2020
Kayısı	Mikrodalga; Konvektif; Mikrodalga-Konvektif	90 W- 50°C, 90 W-75°C, 160 W-50°C ve 160 W- 75°C	İncedayı ve ark., 2016
Yaban Mersini	Konvektif; Mikrodalga; Mikrodalga-Konvektif	50, 70 ve 90°C; 100, 300 ve 500 W	Zia ve Alibaş, 2021

KAYNAKLAR

- Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M., Fatemi, H., Khalife, E., Witrowa-Rajchert, D. ve Nowacka, M., 2021. Effect of pretreatments on convective and infrared drying kinetics, energy consumption and quality of terebinth. *Applied Sciences*, 11: 7672.
- Adeleye, S.A., Salami, J., Oluwaleye, I.O., Oni, T.O., Akindele, D.O. ve Olukayode, N. E., 2020. Evaluation of the convective drying of banana. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 2(8): 1017-1026.
- Adetoro, A.O., Tsige, A.A., Opara, U.L. ve Fawole, O.A., 2020. Mathematical modelling of blanch assisted drying of pomegranate (*punica granatum*) arils in a hot air drier. *Processes*, 8:611.
- Aktaş, M., İlbaş, M., Yalçın, A. ve Şahin, M., 2013. Kızılötesi ışınımla bir kurutucuda kuruma davranışlarının deneysel incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 28(4): 767-775.
- Akyıldız, A., Polat, S. ve Ağçam, E., 2017. Konveksiyonel ve dondurarak kurutma yöntemlerinin karpuzun bazı kalite özelliklerine etkisi. *GIDA*, 42(2): 169-176.
- Alibas, I., Zia, M.P. ve Yılmaz, A., 2019. The effect of drying methods on color and chlorophyll content of parsley leaves. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(6): 919-926.
- Alibaş, İ., 2011. Kırmızı şili biberinin vakumla kurutma karakteristikleri. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 7 (4): 429-435.
- Alibaş, İ., 2012. Asma yaprağının (*Vitis vinifera* L.) mikrodalga enerjisiyle kurutulması ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(1): 43-53.
- Alibaş, İ. 2015. İnce tabaka mango dilimlerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30(2015): 99-109.
- Alibaş, İ., Yılmaz, A., Günaydın, S. ve Arkain, B., 2021. Kurutma yöntemlerinin deveci armudunun kurutma kinetiği ve renk parametreleri üzerine etkisi. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(5):897-908.
- Amini, G., Salehi, F. ve Rasouli, M., 2021. Color changes and drying kinetics modeling of basil seed mucilage during infrared drying process. *Information Processing in Agriculture*, 45:3.
- Bai, Y., Yang, Y. ve Huang, Q., 2012. Combined electrohydrodynamic (EHD) and vacuum freeze drying of sea cucumber. *Drying Technology*, 30 (2012): 1051-1055.
- Bajgai, T.G., Vijaya Raghavan, G.S., Ngadi, M.O. ve Hashinaga, F., 2006. Electrohydrodynamic drying—a concise overview. *Drying Technology*, 24: 905-910.
- Başıyigit, B. ve Karaaslan, M., 2020. Farklı kurutma tekniklerinin keme mantarının (*terfezia boudieri chatin*) özelliklerine etkileri. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3): 239-246.
- Behera, G., Madhumita, M., Aishwarya, J. ve Gayathri, V., 2021. Comparative evaluation of drying kinetics of carrot slices in hot air and microwave drying. *The Journal of Phytopharmacology*, 10(4): 242-248.
- Bölek, S., 2020. Vakum kurutucu ve akışkan yatak kurutucu kullanılarak kurutulmuş avokadoların kuruma kinetikleri ve kalite karakteristiklerinin kıyaslanması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(4): 814-822.
- Bustos, M.C., Rocha-Parra, D., Sampedro, I., Pascual-Teresa de, S. ve Leon, A.E., 2018. The influence of different air-drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66: 2714-2723.
- Calin-Sánchez, Á., Figiel, A., Hernández, F., Melgarejo, P., Lech, K. ve Carbonell-Barrachina, Á., 2012. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) arils and rind as affected by drying method. *Food Bioprocess Technology*, 6: 1644-1654.
- Can, S., Göğüş, F. ve Bozkurt, H., 2020. Spray drying of organic strawberry extract. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(2): 126-139.
- Cao, Z., Ding, C., Zhao, R., Song, Z. ve Chen, H., 2021. Ultrasonic pretreatment-assisted electrohydrodynamic drying of potato slices. *Journal of Food Quality*, 2021.
- Cemeroğlu, B. ve Özkan, M., 2004. Kurutma teknolojisi, meyve sebze işleme teknolojisi. *Bizim Büro Yayınevi*: 479-613, Ankara.
- Chauan, K.J., Mujumdar, A.S., Hawlader, M.N.A., Chou, S.K. ve Ho, J.C., 2015. Batch drying of banana pieces—effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Research International*, 34: 721-31.
- Chen, Q., Li, Z., Bi, J., Zhou, L., Yi, J. ve Wu, X., 2017. Effect of hybrid drying methods on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry. *LWT-Food Science and Technology*, 80:178-184.
- Cin, M. ve Palazoğlu, T.K., 2019. Investigation of the effect of microwave-vacuum drying on the quality characteristics of rosehips. *1st International / 11th National Food Engineering Congress*, 24 November, Mersin.
- Çakır, M.T., 2015. Güneş enerjisinden yararlanarak tarım ürünlerinin kurutulması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1): 41-56.
- Çakmak, H., Bozdoğan, N., Turkut, G. M., Kumcuoğlu, S. ve Tavman, Ş., 2016. Dağ çileğinin (*Arbutus Unedo* L.) kuruma kinetiğinin incelenmesi ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *GIDA*, 41(4): 227-234.
- Çetin, N., 2019. Kurutma koşullarının elma ve portakalda renk özelliklerine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17: 463-470.
- Çetin, N., 2021. Elma çeşitlerinin kurutulmasında farklı kurutma yöntemlerinin etkisinin belirlenmesi ve yapay zekâ algoritmalarıyla karşılaştırılması. *Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri*.
- Çınar, İ. ve Erafşar, F. K., 2018. Köpük kurutma tekniğinin meyve ve sebze işlemede kullanımı. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2):89-100.
- Darıcı, S. ve Şen, S., 2012. Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 13-16 Nisan, İzmir.
- Defraeye, T. ve Martynenko, A., 2019. Electrohydrodynamic drying of multiple food products: Evaluating the potential of emittercollector electrode configurations for upscaling. *Journal of Food Engineering*, 240: 38-42.
- Dehghannya, J., Pourahmad, M., Ghanbarzadeh, B. ve Ghaffari, H., 2019. Heat and mass transfer enhancement during foam-mat drying process of lime juice: impact of convective hot air temperature.

- International Journal of Thermal Sciences*, 135: 30-43.
- Demir, H.U., Atalay, D. ve Erge, H.S., 2019. Kinetics of the changes in bio-active compounds, antioxidant capacity and color of cornelian cherries dried at different temperatures. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019(13): 2032-2040.
- Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X. H., Wang, J., Zheng, Z., Gao, Z.J. ve Xiao, H.W., 2017. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes – a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(9): 1408-1432.
- Ding, C., Lu, J. ve Song, Z., 2015. Electrohydrodynamic drying of carrot slices. *Plos One*, 10(4): e0124077.
- Du, L. J., Gao, Q. H., Ji, X. L., Ma, Y. J., Xu, F. Y. ve Wang, M., 2013. Comparison of flavonoids, phenolic acids and antioxidant activity of explosion-puffed and sun-dried jujubes (*Ziziphus jujube* Mill.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(48):11840-11847.
- Elmizadeh, A., Shahedi, M. ve Hamdami, M., 2018. Quality assessment of electrohydrodynamic and hot-air drying of quince slice. *Industrial Crops and Products*, 116 (2018): 35-40.
- Esehaghbeygi, A. ve Karimi, Z., 2020. Electrohydrodynamic, oven and natural drying of mint leaves and effects on the physiochemical indices of the leaves. *Research in Agricultural Engineering*, 66: 81-88.
- Guiamba, I.R., 2016. Nutritional value and quality of processed mango fruits. Doctora thesis, Food and Nutrition Science Department of Biology and Biological Engineering Chalmers University of Technology Gothenburg, Sweden.
- Guo, J., Zheng, L. ve Li, Z., 2021. Microwave drying behavior, energy consumption, and mathematical modeling of sewage sludge in a novel pilot-scale microwave drying system. *Science of the Total Environment*, 777: 146109.
- Gupta, V., Prabhakar, P. K., Gharde, S. vd., 2021. Foam mat drying of jujubes (*Ziziphus mauritiana*) juice: process optimisation, Physico- functional, phenolic content and antioxidant analysis. *Journal of the Institution of Engineers*, A:2021.
- Güleç, F. ve Turhan Özdemir, G.D., 2017. Karayemiş (*Laurocerasus officinalis* Roemer) meyvesinin kuruma karakteristiğinin incelenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6(1): 73-80.
- Günaydın, S., 2020. Mikrodalga, konvektif ve gölgede kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş kuşburnu meyvesinin kurutma kinetiği, renk ve besin elementi içeriği açısından incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Gürel, A.E., Ceylan, İ. ve Aktaş, M., 2016. Meyve ve sebzelerin kurutma parametrelerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(4): 267-273.
- Horuz, E., Bozkurt, H., Karatas, H. ve Maskan, M., 2017. Effect of hybrid (microwave convectional) and convectional drying on drying kinetics, total phenols, antioxidant capacity, vitamin C, color, and rehydration capacity of sour cherries. *Journal of Food Chemistry*, 230: 295-305.
- Iranshahi, K., Martynenko, A. ve Defraeye, T., 2020. Cutting-down the energy consumption of electrohydrodynamic drying by optimizing mesh collector electrode. *Energy*, 208(2020): 118168.
- Izli, N., Taskin, O., Polat, A. ve Asik, B.B., 2019. Intermittent microwave-vacuum drying effects on pears. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 69(1): 101–108.
- İçier, F., Yıldız, H., Eroğlu, S., Sabancı, S. ve Eroğlu E., 2013. Ayva dilimlerinin ozmotik kurutulmasında elektriksel ve ultrasonik ön işlemlerin etkileri. *Akademik Gıda*, 11(2): 60-69.
- İncedayı, B., Tamer, C. E., Sınır, G. Ö., Suna, S. ve Çopur, Ö. U., 2016. Impact of different drying parameters on color, β -carotene, antioxidant activity and minerals of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Food Science and Technology*, 36(1): 171-178.
- İşleröğlü, H., Türker, İ., Koç, B. ve Tokatlı, M., 2018. Biyoteknolojik materyallerin kurutulması: Püskürtmeli-dondurarak kurutma işlemi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(7): 1393-1402.
- Kadam, D. M., Wilson, R. A., Kaur, S. ve Manisha., 2012. Influence of foam mat drying on quality of tomato powder. *International Journal of Food Properties*, 15(1): 211-220.
- Kara, N., Baydar, H., Kayaalp, Ö., Boyar, S. ve Bayhan, A. K., 2014. Güneşte ve gölgede kurutmanın çördük otu (*Hyssopus Officinalis* L.) uçucu yağ oranı ve kompozisyonuna etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1): 85-90.
- Karaaslan, S., 2012. Meyve ve sebzelerin mikrodalga destekli kurutma sistemleri ile kurutulması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7 (2):123-129.
- Karaça, A. C., Baflkaya, H., Güzel, Ö. ve M. Mehmet Ak, M. M., 2017. Püskürtmeli kurutma işleminin meyve suyu konsantrasyonunun fenolik madde içeriğine ve antioksidan aktivitesine etkisi. *GIDA*, 42 (3): 297-304.
- Karimi, S., Layeghinia, N. ve Abbasi, H., 2021. Microwave pretreatment followed by associated microwave-hot air drying of *Gundelia tournefortii* L.: drying kinetics, energy consumption and quality characteristics. *Heat and Mass Transfer*, 57(1), 133-146.
- Kaveh, M., Golpour, J., Ghafouri, S. ve Guine, R., 2021. Detemination of drying kinetics, specific energy consumption, shrink and color properties of pomegranate arils submitted to microwave and convective drying. *Open Agriculture*, 6(1): 230.242.
- Koca, I., Üstün, N.S. ve Koyuncu, T., 2009. Effect of drying conditions on antioxidant properties of rosehip fruits (*Rosa canina* sp.). *Asian Journal of Chemistry*, 21(2): 1061-1068.
- Kocabiyik, H. ve Tezer. D., 2009. Drying of carrot slices using infrared radiation. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(5): 953-959.
- Kovacı, T., Dikmen, E. ve Şencan Şahin, A., 2018. Kurutma sistemleri, enerji tüketimleri ve ürün kalitesine etkileri ve örnek sistem tasarımı. *Teknik Bilimleri Dergisi*, 8 (2): 25-39.
- Kowalski, S. J., Stasiak, M. ve Szadzin, J., 2016. Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 103:1065–1074.
- Köprüalan, Ö., Altay, Ö., Bodruk, A. ve Kaymak-Ertekin, F., 2021. Effect of hybrid drying method on physical, textural and antioxidant properties of pumpkin

- chips. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15: 2995–3004.
- Köprüalan, Ö., Bodruk, A. ve Ertekin, F., 2019. Meyve ve sebzelerin patlatmalı puf kurutma yöntemi ile kurutulması. *Akademik Gıda*, 17(1): 81-88.
- Kumar, G.P., Prashanth, N. ve Kumari, B.C., 2011. Fundamentals and applications of lyophilization. *Journal of Advanced Pharmaceutical Research*, 2(4): 157-169.
- Kumar, H.S.P., Radhakrishna, K., Nagawu, P.K. ve Rao, D.V., 2001. Effect of combination drying on the physico-chemical characteristics of carrot and pumpkin. *Journal of Food Processing Preservation*, 25: 447-460.
- Kutlu, N. ve İşçi, A., 2016. Kurutma yöntemlerinin kiraz domatesin kurutma karakteristikleri üzerine etkisi ve matematiksel modellemesi. *GIDA*, 41(4): 197-204.
- Küçük, İ. ve Doymaz, İ. 2019. Experimental and Modeling Investigation of Mass Transfer during Infrared Drying of Kumquat Slices. *Adiyaman University Journal of Science*, 9 (1): 48-65.
- Liu, H., Liu, H., Liu, H., Zhang, X., Hong, Q., Chen, W. ve Zeng, X., 2021. Microwave drying characteristics and drying quality analysis of corn in China. *Processes*, 9: 1511.
- Liu, H., Liu, J., Lv, Z., Yang, W., Zhang, C., Chen, D. ve Jiao, Z., 2019. Effect of dehydration techniques on bioactive compounds in hawthorn slices and their correlations with antioxidant properties. *Journal of Food and Science Technology*, 56(5): 2446-2457.
- Lu, Y., Kong, X., Zhang, J., Guo, C., Qu, Z., Jin, L. ve Wang, H., 2021. Composition changes in lycium ruthenicum fruit dried by different methods. *Frontiers in Nutrition*, 8: 737521.
- Marante, T., Viegas, C., Duarte, I., Macedo, Ane S. ve Fonte, P., 2020. An overview on spray-drying of protein-loaded polymeric nanoparticles for dry powder inhalation. *Pharmaceutics*, 12(11): 1032.
- Marques, L.G., Silveira, A.M. ve Freire, J.T., 2006. Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Drying Technology*, 24: 457–463.
- Maysami, M.A., Sedighi, R. ve Ghaffari, H., 2020. Evaluation of different drying processes by energy consumption in an insulated and not insulated laboratory convection dryer. *Food Research*, 4 (S6): 107-111.
- Morad, M. M., El-Shazly, M. A., Wasfy, K. I. ve ElMaghawry, H. A. M., 2017. Thermal analysis and performance evaluation of a solar tunnel greenhouse dryer for drying peppermint plants. *Renewable Energy*, 101: 992-1004.
- Motevali, A., Minaei, S. ve Khoshtagaza, M.H., 2011. Evaluation of energy consumption in different drying methods. *Energy Conversion and Management*, 52: 1192-1199.
- Nawirska-Olszańska, A., Stępień, B., Biesiada, A., Kolniak-Ostek, J. ve Oziembłowski, M., 2017. Rheological, chemical and physical characteristics of golden berry (*Physalis Peruviana L.*) after convective and microwave drying. *Foods*, 6:60.
- Nozad, M., Khojastehpour, M., Tabasizadeh, M., Azizi, M., Miraei Ashtiani, S.H. ve Salarikia, A., 2016. Characterization of hot-air drying and infrared drying of spearmint (*Mentha spicata L.*) leaves. *Food Measure*, 10: 466-473.
- Niro, S., Fratianni, A., Panfili, G., Falasca, L., Cinquanta, L. ve Rivzi Alam, M.D., 2017. Nutritional evaluation of fresh and dried goji berries cultivated in Italy. *Italy Journal of Food Science*, 29: 2017.
- Onwude, D.I., Iranshahi, K., Defraeye, T. ve Martynenko, A., 2021. Electrohydrodynamic drying: Can we scale-up the technology to make dried fruits and vegetables more nutritious and appealing? *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1-31.
- Özbay Doğu, S. ve Sariçoban, C., 2015. Et kurutma teknolojisi ve dünyada tüketilen bazı kurutulmuş et ürünleri. *Gıda ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(3): 109-123.
- Özdemir, E.E., Görgüç, A., Gençdağ, E. ve Yılmaz, F.M., 2021. Püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerinin temelleri ve bu yöntemler ile gıda atıklarından toz ürünlerin üretimi. *GIDA*, 46(3): 583-607.
- Özkan Karabacak, A., 2019. Effects of different drying methods on drying characteristics, colour and in vitro bioaccessibility of phenolics and antioxidant capacity of blackthorn pestil (leather). *Heat and Mass Transfer*, 55(10): 2739-2750.
- Özkoç, S.S., 2010. Kızılötesi ve kızılötesi-kombinasyon ısıtma teknolojilerinin gıda işleme uygulamalarında kullanımı. *GIDA*, 35 (3): 211-218.
- Patel, S.K., Gupta, A. ve Chakraborty, S., 2020. Quality assessment of differently dried garlic (*Allium Sativum L.*) and storage studies of garlic powder with different packaging conditions. *International Journal of Chemical Studies*, 8(5): 1273-1278.
- Pinar, H., Çetin, N., Cifci, B., Karaman, K. ve Kaplan, M., 2021. Biochemical composition, drying kinetics and chromatic parameters of red pepper as affected by cultivars and drying methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 102(2021): 103976.
- Polat, A. ve Izli, N., 2020. Determination of drying kinetics and quality parameters for drying apricot cubes with electrohydrodynamic, hot air and combined electrohydrodynamic-hot air drying methods. *Drying Technology*, 1-16.
- Polatoğlu, B. ve Beşe, A.V., 2017. Convective drying of cornelian cherry fruits (*Cornus mas.L.*): drying kinetics and degradation of vitamin C. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 6(2): 406-414.
- Quintero Ruiz, N.A., Demarchi, S.M. ve Giner, S.A., 2014. Effect of hot air, vacuum and infrared drying methods on quality of rose hip (*Rosa rubiginosa*) leathers. *International Journal of Food Science and Technology*, 49: 1799-1804.
- Ratti, C. 2001., Hot air and freeze drying of high value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, 49: 311-319.
- Razali, S. A., Mohd Nor, M. Z. ve Anuar, M. S., 2020. Banana production via foam mat drying. *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, 1:2.
- Russo, P., Adiletta, G. ve Di Matteo, M., 2013. The influence of drying air temperature on the physical properties of dried and rehydrated eggplant. *Journal of Food and Bioprocesses*, 91(3): 249-256.
- Sadikoğlu, H. ve Özdemir, M., 2003. Dondurarak kurutma teknolojisi ve evreleri. *GIDA*, 28: 6.
- Sagar, V. R. ve Kumar, S. K., 2010. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 47: 15-26.
- Sahin, K.G., Özcan-Sinir, G., Durmus, F. ve Copur, O.U., 2020. Ön işlemlerin ve vakum kurutma yönteminin enginar (*Cynara cardunculus var. Scolymus L.*) dilimlerinde kurutma karakteristikleri, toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasite üzerine etkisi. *GIDA*, 45(4): 699-709.

- Salehi, F. ve Kashaninejad, M., 2018. Modeling of moisture loss kinetics and color changes in the surface of lemon slice during the combined infrared-vacuum drying. *Information Processing in Agriculture*, 5(4): 516-523.
- Silbir, M. S., Bozkur, H., Ergün, A.R., Baysal, T., Göksungur, Y. ve İçier, F., 2015. Kuzukulağı yapraklarının mikrodalgada ve güneşte kurutulması. *Pamukkale Gıda Sempozyumu III: "Kurutulmuş ve Yarı Kurutulmuş Gıdalar"* Denizli, Türkiye, 1:169.
- Simsek, M. ve Süfer, Ö., 2021. Influence of different pretreatments on hot air and microwave-hot air combined drying of white sweet cherry. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 9(6): 1172-1179.
- Srinivasa Reddy, I.V., 2020. Preservation of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) by sun drying and dehydration, *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences*, 7(5): 563-566.
- Sunjka, P.S., Orsat, V. ve Raghavan, G.S.V., 2008. Microwave/vacuum drying of Cranberries (*Vaccinium macrocarpon*). *American Journal of Food Technology*, 3(2): 100-108.
- Szadzinska, J., Lechtanska, J., Kowalski, S. J. ve Stasiak, M., 2017. The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper. *Ultrason Sonochem*, 34: 531-539.
- Taşkın, O. ve İzli, N., 2017. Kızılötesi kurutucu ile hurmanın kurutulması ve matematiksel modellenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34 (Ek Sayı): 10-15.
- Toğrul, H., 2006. Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of Food Engineering*, 77: 610-619.
- Top, V., Tontul, İ. ve Türker, S., 2019. Use of solar energy assisted drying methods in the food industry. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(8): 1100-1112.
- Turan, A. ve İslam, A., 2019. Fındığın geleneksel ve suni kurutulması arasındaki hasat sonrası farklılıkları. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(11): 1766-1772.
- Uğuz, M. T. ve Gezici, A., 2021. Ejder meyvesinin ozmotik dehidrasyonu ve kuruma özelliklerinin değerlendirilmesi. *OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2): 149-157.
- Varhan, E. ve Koç, M., 2017. Köpük kurutma yöntemi ile gıdaların kurutulması. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(6): 637-645.
- Wasswa, M.S., Fungo, R., Kaaya, A., Byarugaba, R. ve Muyonga J.H., 2021. Influence of sun drying and a combination of boiling and sun drying on the retention of nutrients and bioactive compounds in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) leaves. *African Journal of Biological Sciences*, 3(3): 48-58.
- Xu, W., Song, C., Li, Z., Song, F., Hu, S., Li, J., Zhu, G. ve Vijaya Raghavan, G. S., 2018. Temperature gradient control during microwave combined with hot air drying. *Biosystems Engineering*, 169: 175-187.
- Yağcıoğlu, A., 1999. *Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 536, İzmir.
- Yang, M. ve Ding, C., 2016. Electrohydrodynamic (EHD) drying of the Chinese wolfberry fruits. *SpringerPlus*, 5:909.
- Yi, J.Y., Lyu, J., Bi, J.F., Zhou, L.Y. ve Zhou, M., 2017. Hot air drying and freeze drying pretreatments coupled to explosion puffing drying in terms of quality attributes of mango, pitaya, and papaya fruit chips. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6): 1-10.
- Yüksel, A.N.T. ve Çalışkan Koç, G., 2020. Hot-air and microwave-assisted foam-mat drying of avocado. *Theory and Research in Engineering*, 369.
- Zia, M. P. ve Alibas, I., 2021. Influence of the drying methods on color, vitamin C, anthocyanin, phenolic compounds, antioxidant activity, and in vitro bioaccessibility of blueberry fruits. *Food Bioscience*, 42(2): 1-11.
- Zia, M. P. ve Alibas, I., 2021. The effect of different drying techniques on color parameters, ascorbic acid content, anthocyanin and antioxidant capacities of cornelian cherry. *Food Chemistry*, 364: 130358.
- Zou, K., Teng, J., Huang, L., Dai, X. ve Wei, B., 2013. Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. *LWT - Food Science and Technology*, 51(1): 253-259.