

Dijital Teknolojiler ile Entegre Edilmiş Akıllı Kurutma Sistemleri: Yeni Nesil Uygulamalar

¹Fatma Ebrar Öztürk, ¹Hande Baltacıoğlu, ^{1*}Cem Baltacıoğlu, ¹Mehmet Yetişen, ¹Hasan Uslu

¹Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü

*Sorumlu yazar: cembaltacioglu@ohu.edu.tr

Özet

Gıdalar, dış etkenlerden çok çabuk bozulmaktadır ve bol oldukları mevsimde tamamen tüketilemezler, bunun için gıdaları uzun süre saklamaya yönelik çalışmalarda birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında en eski ve ekonomik olanı kurutmadır. Kurutma işlemi, gıdanın içerisindeki suyun uzaklaştırılmasıyla mikrobiyal faaliyetlerin ve kimyasal reaksiyonların yavaşlatılmasını sağlar. Geleneksel güneş altında kurutma, her bölgede uygulanabilir olmadığı gibi hijyenik açıdan da sınırlıdır. Bu nedenle kontrollü koşullarda çalışan yapay kurutma sistemleri geliştirilmiştir. Modern kurutma teknikleri, doğal yöntemlere kıyasla daha kaliteli ve dayanıklı ürünler sunmaktadır. Bu çalışmada, gıda endüstrisinde kullanılan kurutma yöntemleri ve bu sistemlerin temel özellikleri ele alınmıştır.

Anahtar kelimeler: Kurutma, gıda kurutma sistemleri, dehidrasyon, rehidrasyon, kurutucular

Giriş

Kurutma, bozulma yapan mikroorganizmaların gelişimlerini azaltmak ve kimyasal reaksiyonların oluşmasını engellemek için gıdalardan suyun uzaklaştırıldığı bir süreçtir (Vega Mercado ve ark., 2001). Kurutma sözcüğü, ham, yarı işlenmiş ya da işlenmiş katı, sıvı ve yarı sıvı gıdaların yapılarındaki su oranının azaltılarak belirli düzeylere düşürülme işlemi tanımlamaktadır (Saldamlı & Saldamlı, 2004). Kurutma, yalnızca gıdanın raf ömrünü uzatmakla kalmaz; aynı zamanda ürünün taşınmasını ve depolanmasını kolaylaştırır, hacmini küçültür ve kullanım sırasında yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip ürünler elde edilmesini sağlar.

Uygun kurutma koşullarının seçilmemesi, gıdanın rengi, aroması, dokusu, besin değeri ve depolama stabilitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Bu nedenle kurutma sistemlerinin tasarımında ürün özellikleri, hedeflenen kalite kriterleri ve enerji verimliliği dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak, en az kalite kaybıyla en yüksek kurutma verimini sağlayan, ekonomik ve sürdürülebilir teknolojilerin tercih edilmesi esastır. Bu doğrultuda çeşitli tiplerde kurutucular geliştirilmiş ve gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Farral, 1976).

Gıdalardan nemin uzaklaştırılmasında kullanılan kurutucular, ısının ürüne aktarılma yöntemine göre sınıflandırılır. Temel olarak konveksiyonel sıcak hava kurutucuları, vakum kurutucuları, mikrodalga ve radyo frekans kurutucuları, dondurarak kurutma sistemleri ve hibrit teknolojiler olmak üzere farklı tipleri mevcuttur (Saldamlı & Saldamlı 2004). Her sistemin kendine özgü avantajları ve sınırlamaları bulunur.

Konveksiyonel (Sıcak Hava) Kurutucular

Bu grupta yer alan fırın, kabin, tünel, bantlı, sandık ve püskürtmeli kurutucular, sıcak havanın ürüne temas etmesiyle nemin buharlaştırılmasını sağlar.

Fırın Kurutucular: En basit yapıya sahip olup, ürün sıcak hava ile temas ettirilerek kurutulur. Genellikle meyve dilimlerinde tercih edilir.

Kabin Kurutucular: Tepsiler üzerinde sabit duran ürünler, sıcak hava akımıyla kurur. Çok yönlü olmaları ve farklı ürünlere kolay uyarlanabilmeleri nedeniyle yaygın kullanılır.

Tünel Kurutucular: Ürünler hareketli vagonlar üzerinde kurutma odasından geçirilir. Sürekli çalışabilen bu sistem, yüksek kapasiteli kurutma için uygundur.

Bantlı Kurutucular: Ürünler konveyör bant üzerinde taşınarak kurutulur. İki aşamalı kurutma sağlayan bu sistem, homojen kurutma verimi sunar.

Sandık Kurutucular: Kurutmanın son aşamasında nemin %3-6 seviyesine indirilmesinde kullanılır. Uzun süreli işlem gerektirir.

Püskürtmeli Kurutucular: Sıvı veya yarı sıvı ürünlerin damlacık haline getirilip sıcak hava ile hızla kurutulmasını sağlar. Süt tozu, bebek maması ve meyve tozları gibi ürünlerin üretiminde yaygındır.

Vakum Kurutucular

Vakum kurutucular ısıya duyarlı ürünlerin, vakum altında daha düşük sıcaklıklarda hızla kurumasını sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. Atmosferik koşullarda kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında, vakumlu kurutma yöntemi; daha düşük kurutma sıcaklığı ve oksijensiz ortamda kuruma gibi bazı karakteristik özelliklere sahip olup, daha kaliteli ürün elde edilmesini sağlamaktadır. (Şahin ve ark., 2012). Ortamda hava olmadığı için oksidasyon da yoktur. Renk, kolaylıkla okside olabilen vitaminler ve çözünmeyen yağlar korunabilmektedir. Düşük sıcaklık

derecelerinde çalışıldığı için aroma bozuklukları da en aza indirilir. Nem, iç yüzeylerden daha kolay uzaklaştırılabilmektedir ve vakum koşulları ürüne puf yapı kazandırmaktadır.

Pnömatik ve Döner Kurutucular

Pnömatik kurutucularda küçük partiküller sıcak hava akımıyla dikey borularda taşınarak kurutulur. Döner kurutucular ise ürünün yavaşça dönen bir silindir boyunca taşındığı sistemlerdir. Kısa temas süreleri sayesinde ürün fazla ısınmadan kurur.

Hibrit Sistemler

Günümüzde püskürtmeli-bant, akışkan yataklı, kırınım pencere ve ısı pompalı kurutucular gibi hibrit teknolojiler geliştirilmiştir. Bu sistemler, farklı kurutma mekanizmalarını birleştirerek hem enerji verimliliği hem de ürün kalitesi açısından avantaj sunar.

Dondurarak Kurutma (Liyofilizasyon)

Dondurarak kurutma yöntemi olan liyofilizasyon, gıda endüstrisinde önemli bir yer tutar. Bu yöntemde, ürün önce dondurularak katı hale getirilir ve daha sonra düşük basınç altında buz doğrudan buhar fazına geçer, bu süreç süblimasyon olarak adlandırılır. Literatürde yapılan çalışmalar, liyofilizasyonun aroma, renk ve besin değerinin korunmasında en etkili yöntemlerden biri olduğunu ortaya koymuştur (Ciurzyńska ve Lenart, 2011).

Liyofilizasyonun özellikle suda çözünür vitaminlerin ve minerallerin kaybını minimize ederken, ürünlerin rengini ve dokusunu da korur (Karagül & Altuntaş, 2018). Araştırmalar, liyofilizasyonun genellikle farmasötik endüstrisinde kullanıldığını, ancak son yıllarda gıda endüstrisinde de artan popüleritesine dikkat çekmektedir (Kırtıl & Öztop, 2014). Sonuç olarak, liyofilizasyon, gıda endüstrisindeki teknolojik ilerlemelerle birlikte, ürünlerin kalitesini artırmak ve pazarlanabilirliğini sağlamak için önemli bir yöntem olarak kabul edilmektedir.

Mikrodalga ve Radyo Frekans Kurutucuları

Bu teknolojiler, elektromanyetik dalgalarla ürünün içten ısınmasını sağlar. Geleneksel kurutmaya göre daha hızlıdır ve nem transferi daha etkindir. Radyo frekansı, daha homojen ısınma avantajı sunar.

Özel Teknikler: Puf ve Köpük Kurutma

Puf kurutma, ürünün ani basınç değişimiyle süngerimsi bir yapı kazanmasını sağlar. Köpük kurutma ise sıvı gıdalarda yüzey alanını artırarak suyun hızlı uzaklaşmasına olanak verir. Her iki yöntem de kurutma süresini kısaltırken ürün kalitesini korur.

Özgülleştirilmiş Yeni Nesil ve Dijital Teknolojilerle Entegre Kurutma Sistemleri

Kurutma teknolojisindeki son gelişmeler hem enerji verimliliğini artırmak hem de gıda kalitesini korumak amacıyla hibrit ve akıllı sistemlerin geliştirilmesine odaklanmıştır. Geleneksel yöntemlerin sınırlamalarını ortadan kaldırmak için güneş enerjili, kızılötesi, kırınım pencere ve ısı pompalı sistemler gibi yenilikçi teknolojiler kullanılmaktadır. Ayrıca dijital kontrol üniteleri, sensörler ve yapay zekâ destekli algoritmalar sayesinde kurutma süreci gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte ve optimize edilmektedir.

Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri

Güneş enerjisi, kurutma işlemlerinde uzun süredir kullanılmakla birlikte, modern tasarımlar bu yöntemi daha verimli ve hijyenik hale getirmiştir. Doğrudan güneş ışığıyla yapılan kurutmada sıcaklık kontrolü zordur ve ürün kalitesi değişkenlik gösterir. Bu nedenle sera tipi, zorlanmış taşınımlı veya panel destekli sistemler geliştirilmiştir (Shanmugam ve Natarajan, 2006). Bu teknolojiler, enerji maliyetini azaltırken özellikle kırsal bölgelerde sürdürülebilir bir çözüm sunar.

Isı Pompalı Kurutma Sistemleri

Isı pompalı kurutma, düşük enerji tüketimi ve gelişmiş ısı geri kazanımı sayesinde yüksek verimliliğe sahip bir teknolojidir. Kurutma sırasında sıcaklık hassasiyetinin yüksek olduğu gıdalarda, kalite kaybı minimum seviyede tutulur. Bu sistemler aynı zamanda daha kontrollü nem ve sıcaklık profili sağlar, ancak ilk yatırım maliyetleri yüksektir (Chou ve Chua, 2001).

Kızılötesi (IR) Kurutma

Kızılötesi enerji, çevredeki havayı ısıtmadan doğrudan ürün yüzeyine ısı transfer eder. Yüksek ısı transfer oranları ve kompakt tasarımı sayesinde hızlı ve etkili kurutma sağlar. Ayrıca mevcut kurutuculara entegre edilerek ek ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Bu teknoloji, özellikle yüzey kurutmasında oldukça avantajlıdır.

Kırınım Pencere Kurutma

Bu sistemde, ürünün üzerine konan özel bir membran sayesinde ısı transferi yalnızca gerekli olduğunda gerçekleşir. Ürün üzerindeki nem bu membrana geçirgen hale getirir ve ısı transferi sağlanır; nem azaldığında ise

ısı yansıması geri döner. Böylece enerji kayıpları minimize edilirken ürünün rengi, besin değeri ve antioksidan kapasitesi korunur (Tontul ve ark., 2019).

Dijital Teknolojiler ve Akıllı Kontrol Sistemleri

Yeni nesil kurutma sistemleri, sıcaklık, nem ve hava akışı gibi parametreleri sürekli izleyen sensörlerle donatılmıştır. Bu sensörlerden alınan veriler, yapay zekâ ve otomasyon yazılımları aracılığıyla analiz edilerek kurutma süreci gerçek zamanlı optimize edilir. Böylece hem enerji tüketimi azalır hem de ürün kalitesi standart hale getirilir. Endüstri 4.0 uygulamalarıyla entegre çalışan bu sistemler, gıda üretiminde yüksek verimliliğin yanında sürdürülebilirlik hedeflerine de katkı sağlar.

Kurutma, gıda endüstrisinde hem raf ömrünü uzatmak hem de taşıma ve depolama maliyetlerini azaltmak amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak, yanlış seçilen kurutma koşulları ürün kalitesinde ciddi kayıplara yol açabilir. Bu nedenle, kurutma işleminin tasarımında ürünün ısı duyarlılığı, hedeflenen nem oranı ve enerji tüketimi gibi parametrelerin dikkatle belirlenmesi gerekmektedir.

Klasik sıcak hava kurutucuları düşük yatırım maliyetleri nedeniyle halen kullanılmakla birlikte, homojen kurutma sağlama konusunda yetersiz kalabilirler. Bu durum, ürün yüzeylerinde düzensiz nem dağılımı ve kalite kayıplarıyla sonuçlanmaktadır. Bu sorunu çözmek için hibrit ve yeni nesil sistemlerin tercih edilmesi önerilmektedir.

Mikrodalga, radyo frekans ve kızılötesi gibi modern teknolojiler, ürün içinde daha eşit ısı dağılımı sağlayarak kurutma süresini kısaltır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin enerji verimliliği yüksek olsa da yatırım maliyetlerinin yüksek olması yaygın kullanımını sınırlamaktadır. Dondurarak kurutma yöntemi ise üstün kalite sağlamasına rağmen hem işlem süresi hem de maliyet açısından dezavantajlıdır. Son yıllarda dijitalleşme ve yapay zekâ destekli kontrol sistemlerinin devreye girmesi, kurutma teknolojilerinde önemli bir dönüşüm yaratmıştır. Sensör destekli izleme sistemleri ve otomatik ayarlamalar sayesinde kurutma süreci gerçek zamanlı optimize edilmekte, böylece hem enerji tasarrufu sağlanmakta hem de ürün kalitesi iyileştirilmektedir.

Sonuç

Bu çalışmada, gıda endüstrisinde kullanılan geleneksel ve modern kurutma sistemleri incelenmiş, her bir yöntemin avantajları ve sınırlamaları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kurutma teknolojilerinin seçiminde tek bir yöntemin her ürün için uygun olmadığı; ürün özellikleri, enerji tüketimi, yatırım maliyeti ve kalite hedeflerinin birlikte göz önünde bulundurulması gerektiği anlaşılmıştır. Gelecekte, dijital teknolojilerle entegre edilen akıllı kurutma sistemlerinin daha yaygın kullanılacağı ve bu sistemlerin hem kaliteyi koruyarak hem de enerji verimliliğini artırarak endüstriyel uygulamalarda ön plana çıkacağı öngörülmektedir. Ayrıca sürdürülebilirlik açısından, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve düşük maliyetli hibrit çözümlerin öneminin giderek artacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Chou, S. K., & Chua, K. J. (2001). New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*, 12(10), 359–369. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00102-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00102-9)
- Ciurzyńska, A., & Lenart, A. (2011). Freeze-drying – application in food processing and biotechnology – a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 61(3), 165–171.
- Farrall, A. W. (Ed.). (1976). Food engineering systems. *Vol. 1. Operations* (pp. x+615pp).
- Karagül, M. S., & Altuntaş, B. (2018). Liyofilizasyon: genel proses değerlendirmesi. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 29(1), 62-69. <https://doi.org/10.35864/evmd.513002>
- Kırtıl, E., & Öztop, M. H. (2014). Enkapsülasyon maddesi olarak lipozom ve gıdalarda kullanımı: Yapısı, karakterizasyonu, üretimi ve stabilitesi. *Akademik Gıda*, 12(4), 41-57.
- Şahin, F. H., Ülger, P., Aktaş, T., & Orak, H. H. (2012). Farklı önışlemlerin ve vakum kurutma yönteminin domatesin kuruma karakteristikleri ve kalite kriterleri üzerine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 15–25.
- Saldamlı, İ., & Saldamlı, E. (2004). Gıda Endüstrisi Makinaları (2. Baskı). *Savaş Yayınevi*, Ankara.
- Shanmugam, V., & Natarajan, E. (2006). Experimental investigation of forced convection and desiccant integrated solar dryer. *Renewable Energy*, 31(8), 1239–1251. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.05.019>
- Tontul, İ., Eroğlu, E., & Topuz, A. (2019). Kırınım pencere kurutma ve sıcak hava akımında kurutma işlem şartlarının kuşburnu tozlarının fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi. *Gıda*, 44(1), 1–9. <https://doi.org/10.15237/gida.GD18092>