

Kızılıçın Kurutma Karakteristiklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Enerji Gerekliliğinin Belirlenmesi

Filiz ÖZGEN^{1*}

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ filizozgen@gmail.com

(Geliş/Received: 22/12/2020;

Kabul/Accepted: 23/04/2021)

Öz: Bu çalışmada, kızılıç meyvesinin kuruma karakteristikleri ve kuruması için gerekli olan enerji miktarı deneysel olarak incelenmiştir. Kızılıç meyvesinin kurutulması için konvektif tip bir kurutucu kullanılmıştır. Kurutucu, fan, ısıtıcı, güç kaynağı, kurutma odası, hava giriş ve çıkış kanalları ile gerekli ölçüm aletlerinden oluşmuştur. Taze olarak toplanmış kızılıç meyvesi, 35 °C sıcaklıkta, 1 ve 1,5 m/s kurutma havası hızında kurutulmuştur. Her bir ölçüm için kurutma tepsisine 304 gr yaş kızılıç meyvesi koyulmuş, %68 olan ilk nem içeriği, %10' a ulaşıncaya kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. En düşük kuruma zamanı (64 saat) 1,5 m/s'de elde edilmiştir. En yüksek kuruma zamanı (67 saat) ise 1 m/s için bulunmuştur. Kurutma havası hızı, kızılıçın kuruması için enerji gerekliliğini önemli derecede etkilemiştir. Enerji gerekliliği 35 °C kuruma havası sıcaklığı ve 1,5 m/s kurutma havası için 106,7 kWh iken 1 m/s kurutma havası hızındaki toplam enerji gerekliliği 92 kWh olmuştur. Meyve ve sebzelerin kurutulması için tasarlanan bu konvektif kurutucuda, farklı hızlarda çalışmanın kurutmaya etkileri belirlenmiş, ürünün parlaklık ve renk kalitesi açısından korunduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kurutma, Kurutma havası hızı, Kızılıç, Enerji gerekliliği.

Experimental Investigation of Drying Characteristics of Cornelian Cherry Fruit and Determination of Energy Requirement

Abstract: In this study, the drying characteristics of cornelian cherry fruit and the amount of energy required for drying were experimentally investigated. A convective type dryer is used to dry the cornelian cherry fruit. Consists of dryer, fan, heater, power supply, drying room, air inlet and outlet channels and necessary measuring instruments. The freshly picked cornelian cherry fruit was dried at 35 °C with a drying air velocity of 1 and 1,5 m / s. For each measurement, 304 g of fresh cornelian cherry fruit was put in the drying tray, and the drying process was continued until the initial moisture content, which was 68%, reached 10%. The lowest drying time (64 hours) was obtained at 1,5 m / s. The highest drying time (67 hours) was found for 1 m / s. Drying air velocity significantly affected the energy requirement for drying cornelian cherry. The energy requirement was 106,7 kWh for 35 °C drying air temperature and 1,5 m / s drying air, while the total energy requirement at 1 m / s drying air velocity was 92 kWh. In this convective dryer designed for drying fruits and vegetables, the effects of operating at different speeds on drying were determined and it was determined that the product was preserved in terms of brightness and color quality.

Key words: Drying, Drying air velocity, Cornelian cherry fruit, Energy requirement.

1. Giriş

Tarımsal ürünlerin bol miktarda üretilmesi ve uzun süre saklanamamasından dolayı taze kalma süreleri çok kısa olmaktadır. Ürünlerin taze olarak saklanabilmesi bazı özel işlemler gerektirmektedir ki en önemlisi kurutma işlemidir. Bir gıda saklama yöntemi olarak kurutma, hasat sonrası tarımsal ürünleri işlemenin bir yoludur. İyi kalitede kurutulmuş ürünlerin elde edilmesi için uygun kurutma tekniklerinin kullanılması arzu edilir [1]. Kurutma, tahıllar, meyveler, sebzeler ve deniz ürünleri gibi gıdaların korunmasına izin veren en eski tekniklerden biridir. Bakteriye durdurmak için nem içeriğini azaltarak ürünün ömrünü uzatır, çürümeye veya fermantasyona neden olan mikroorganizmaları ortadan kaldırır, küf çoğalmasını durdurur, taşıma ve depolamayı kolaylaştırmak için ürün ağırlığını azaltır. Kurutma, birkaç yolla uygulanabilen bir tekniktir, bunlardan en yaygın olanı açık güneşte kurutmadır. Bununla birlikte, bu tekniğin bazı dezavantajları vardır. Kurutulacak ürün, doğrudan güneş ve rüzgardan faydalanmak için zemine üzerine yayıldığında toz ve böceklerle maruz kalır. Ek olarak, kurutulmuş ürün kirlenir ve düşük kalitede olabilir. Açık güneşte kurutmanın sakıncalarını hafifletebilecek farklı bir yaklaşım, yakıt ve elektrik kullanılarak gerçekleştirilebilir, ancak kurutma yöntemleri, uygun maliyetli ve ortama zararlı olmamalıdır [2]. Kurutma, en eski gıda koruma yöntemlerinden biridir ve kalite açısından istenmeyen değişikliklerden dolayı zor bir gıda işleme işlemidir. Bu dönemde gıda maddelerinin ısı iletkenliğinin düşük

* Sorumlu yazar: filizozgen@gmail.com. Yazarın ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-2278-2093

olmasından dolayı, geleneksel ısıtma sırasında gıdaların iç kısımlarına ısı geçişi sınırlıdır. Tarım ve hayvancılıkta besin maddelerinin kurutulması ve depolanması çok uzun yıllardan beri bilinen ve her tür besin maddesine uygulanabilen bir yöntemdir. Tahıllar, baklagiller, sebze, meyve, et ve su ürünleri gibi her türlü besin maddesi kurutulmuş muhafaza edilebilir [3].

Kızılıcık Kafkasya'nın eteklerinden gelir ve oradan Türkiye, Romanya, İtalya ve Bulgaristan'a kadar yayılır. Aynı zamanda kışa dayanıklı ve kuraklığa dayanıklıdır ve fazla bakım gerektirmez. Bu nedenle, çok karlı bir üründür. Meyvesi sulu ve ekşidir. Türkiye'deki insanlar arasında gastrointestinal bozuklukların ve ishali tıbbi tedavisinde de kullanılmaktadır. Kızılıcık meyvesi, votka ve şarapların üretiminde, meyve suları, likörler, jeller, reçeller, çay üretimi ve gıda renklendiricileri olarak da kullanılmaktadır [4]. Kızılıcık meyvesi, C vitamini deposudur ve insan vücudunda oluşabilecek rahatsızlıklara karşı çok önemli bir koruyucudur. Dişlerin çürümelerini ve plak oluşumunu engeller. Kızılıcığın içinde bulunan asit ve bileşikler böbrek ve tümör oluşumunu önler. Kızılıcık suyu, yüksek kolesterol ve kalp yetmezliği gibi sıkıntıları olan hastaların kalp sağlığını olumlu yönde etkiler. Kızılıcık, Cornaceae ailesinin 40 türünden en önemlisi olup, ılık bölgelerde yetişir. Eliptik şekle sahip ve 10-20 mm uzunluğunda olan bu ürünün ekşimsi bir tadı vardır. Türkiye'de yılda yaklaşık 14 bin ton üretimi yapılmaktadır. Kızılıcık meyvesinde kolay hazımlanabilen şekerler, glikoz, organik asitler, glikozit, fruktoz, aromatik bileşikler, tanen, salisilik asit, pektin ve mineral maddeler bulunmaktadır [5]. Literatürde, sıcaklık ve hız gibi özelliklerin kuruma davranışı üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur [6-10].

Özgen [11], kızılıcık meyvesinin kurutma karakteristiklerini farklı kurutma sıcaklığı ve farklı kurutma havası hızlarında deneysel olarak incelemiş, bu parametrelerin etkilerini grafikler halinde sunmuştur. Kızılıcık meyvesinin yaş baza ve kuru baza göre nem içeriği değişimleri ile kızılıcığın kuruma süresince ürün sıcaklığını grafikler halinde göstermiştir. Ayrıca farklı sıcaklıklar için enerji gerekliliğini hesaplayıp literatüre katkı sağlamıştır. Özgen ve Çelik [12], kivi meyvesinin konvektif tip bir kurutucudaki kurutma davranışlarını araştırmışlardır. Kurutma hava sıcaklığı ve kurutma hızının farklı boyutlarda dilimlenmiş kivi meyvesinin kuruma süresini nasıl etkilediğini deneysel olarak incelemişlerdir. En düşük kuruma süresini 225 dakika en uzun kuruma süresini 750 dakika olarak bulmuşlardır.

Kurutma sırasında meyvelerin özelliklerini (örneğin hacim, büzülme ve gözeneklilik) izlemek çok önemlidir. Kurutulmuş ürünün görünür hacmini ölçmek için farklı yöntemleri karşılaştıran çalışmalar yetersizdir. Yan vd. [13], sıcak hava ile kuruma sırasında muz, ananas ve mangonun spesifik hacim, büzülme ve gözeneklilik durumunu incelemişlerdir. Muz, ananas ve mango dilimleri, 70 ° C sıcaklığındaki bir fırın içinde yaş baza göre nem içeriği yaklaşık %5 oluncaya kadar kurutulmuşlardır. Muz, ananas ve mango dilimlerinin görünür hacmini, büzülmesini ve gözenekliliğini ölçmek için farklı yöntemler karşılaştırılmış ve meyvelerin kurutma sırasındaki yapısal değişiklikleri tanımlanmıştır.

Amjad vd. [14], konvektif kurutma sırasında üç kurutma sıcaklığında (50 °C, 60 °C, 70 °C), 5 mm, 7 mm, 9 mm kalınlıklarındaki patateslerin nem muhtevasını belirlemek için hiperspektral görüntüleme (HSI) kullanmışlardır. Yapılan çalışma, hiperspektral görüntülemenin, tahribatsız ölçüm ve kurutma işlemi sırasında nem içeriği ve renkliliğin görselleştirilmesi için yararlı bir araç olduğunu göstermiştir.

Nguyen ve Price [15], muz plakalarının havada kurutulmasını araştırmış, sıcaklık, bağıl nem ve ürün kalınlığı gibi deneysel parametrelerin etkisini incelemişlerdir. Hasat mevsimi ve dolayısıyla ilk nem içeriğinin kurutma kinetiği üzerinde çok belirgin bir etkisi olduğunu göstermişlerdir. Bi vd. [16], dilimlenmiş elmaların kurutma kinetiği, farklı ön işlemden geçirdikten sonra incelemişlerdir. Kurutma kinetiğini tanımlamak için dört ince katmanlı kurutma modeli uygulamışlar ve parabolik bir modelin, elma dilimlerinin kurumuş kinetiğini karakterize etmek için en iyi model olduğunu göstermişlerdir.

Prithani ve Dash [17], kivi meyvesinin farklı sıcaklıklardaki kurutma davranışlarını, ultrasonik bir kurutma sisteminde incelemişlerdir. Ultrason uygulamasının etkileri, numunelerin su kaybı, şeker kazancı ve nem yayılımı analiz edilerek, düşük enerji ve maliyetle kütle transferinin artırılabilirliğini göstermişlerdir. Bechlin vd. [18], ozon uygulaması ve sıcak hava ile kurutmanın portakal kabuğu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada ozonun narenciye ürünlerinin kimyasal ve biyolojik parametreleri üzerinde fiziksel olarak nasıl davrandığının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmuşlardır. Kouhila vd. [19], kurutma havası sıcaklığının midye üzerine etkilerini, güneş kollektörü yardımıyla, konvektif tip bir kurutucuda incelemişlerdir. 40 ile 60 °C arasında değişen kurutma havası sıcaklığının gıda ürünlerini kurutmak için yeterli olduğunu göstermişlerdir. Erdem vd. [20], sabit hava giriş hızı ve sıcaklığında alabalığın kurutma davranışı deneysel olarak incelemişlerdir. Balıklar tek parça, beş parça ve on parça olarak kurutulmuştur. Balığın nem içeriği, kuruma hızı ve iç sıcaklığı ile ilgili elde edilen veriler kuruma zamanının bir fonksiyonu olarak sunulmuştur. Parça etkisinin balığın kuruma zamanı üzerinde çok etkili olduğu gözlemlenmiştir. Kaya ve Orhan [21], konvektif bir kurutucuda 500 g ağırlığında kızılıcık örneklerinin üç farklı sıcaklıkta (30-50 °C) kurutulması sırasında, kuruma süresinin 60-85 saat arasında değiştiğini ayrıca kurutma havası sıcaklığının artması ile kuruma süresinin azaldığını belirtmişlerdir. Anlaşıldığı

üzere kızılıcığın infrared ısısı ile kurutulması, havalı kurutmaya nazaran kuruma süresinde önemli ölçüde avantaj sağlamıştır. Banı [22], kızılıcığın infrared ısısı ile kurutulmasında kütle transfer katsayılarının ve vitamin kayıplarının incelenmesi ile ilgili bir tez çalışması yapmıştır.

Olgunlaştıktan sonra toplanan meyve ve sebzelerin raf ömrünü uzatmak için, klasik bir gıda saklama yöntemi olan kurutma kullanılır. Ancak güneş altında yapılan kurutma işlemleri yiyeceklerin toz, böcek gibi durumlarla karşı karşıya getirir bu da sağlık açısından zararlı durumlara yol açabilir. Bu çalışmada, 35 °C sıcaklık, 1 ve 1,5 m/s hız değerleri için kızılıcığın nem içeriği, sıcaklığı ve kütle kaybı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Farklı hızlarda çalışmanın toplam enerji gerekliliği üzerinde önemli rol oynadığı görülmüştür. Bu çalışmada imal edilen konvektif tip kurutucu, ürünün doğrudan sıcak hava ile temasını sağlayarak, zararlı dış etkilere uzak bir şekilde kısa sürede kurumasına yardımcı olacaktır. Böylece ürün, renk değişimi olmadan insan sağlığına uygun bir şekilde kuruyacak, bu anlamda yapılan çalışma literatüre katkı sağlayarak, ülkemizde kurutma ile ilgili çalışmalara örnek teşkil edecektir.

2. Teorik Analiz

2.1. Nem içeriği:

Nem içeriği, kurutulacak malzemenin içerisindeki nemin ölçüsüdür. Yaş ve kuru baz şeklinde tanımlanmaktadır [23].

Yaş ve kuru baza göre nem içeriği:

$$M_{wb} = \frac{M_w}{M_T} \quad (1)$$

$$M_{db} = \frac{M_w}{M_k} \quad (2)$$

denklemleri ile verilmektedir. Denklemlerde görülen M_w ürünün su ağırlığı, M_T ürünün toplam ağırlığı, M_k ise ürünün kuru ağırlığıdır.

2.2. Boyutsuz nem oranı:

Kurutulan maddenin herhangi bir t anındaki nem içeriğinin, başlangıçtaki nem içeriğine oranı boyutsuz nem oranı olarak tanımlanmakta ve şu şekilde ifade edilmektedir [11,12,20 ve 21]:

$$W_s = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3)$$

Burada M_t kurutulan maddenin t anındaki ağırlığı, M_e denge nemi ağırlığı, M_0 ise kurutulan maddenin ilk ağırlığıdır.

2.3. Toplam enerji gerekliliği:

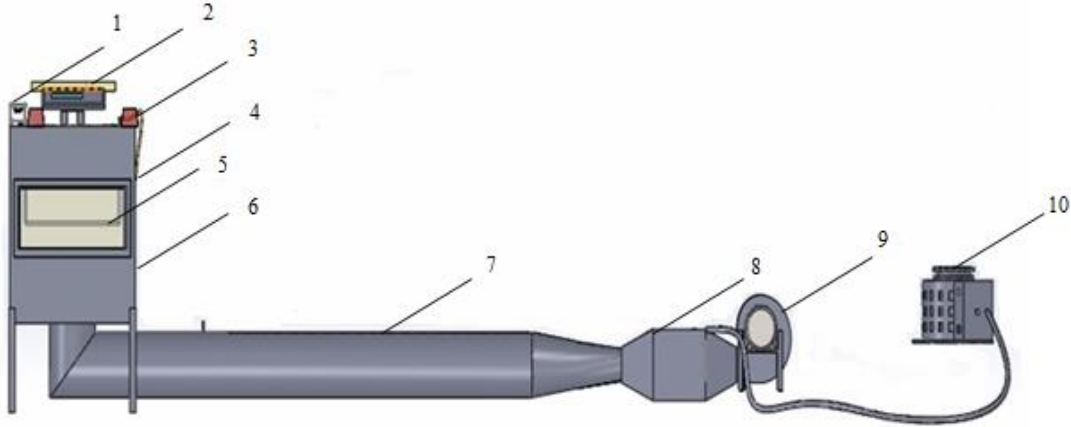
Yapılan bu çalışmada farklı kurutma havası hızları için toplam kuruma zamanı belirlenmiştir. Ayrıca tasarlanan konvektif tip kurutma sistemi için toplam enerji gerekliliği de aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır [9,11 ve 24].

$$E_t = Av\rho c\Delta T D_t \quad (4)$$

Bu denklemde; A hava akış alanı, v kurutma hava hızı, ρ hava yoğunluğu, c havanın özgül ısı kapasitesi, ΔT düzeneğin giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı ve D_t toplam kurutma zamanıdır. 35 °C kuruma havası sıcaklığı ve 1 m/s kurutma havası hızında toplam enerji gerekliliği 92 kWh iken, 1.5 m/s de 106,7 kWh olmuştur.

3. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan deney düzeneğinin görünüşü Şekil 1'de verilmiştir. Bu düzenek fan, ısıtıcılar, güç kaynağı ($\pm 0,02$ hassasiyetle değişen), kurutma odası, hava giriş ve çıkış kanalları ve ölçümler için kullanılan aletlerden oluşmuştur. Hava akış hızı maksimum gücü 0,537 kW, devir sayısı 1400 d/d ve debisi 1250 m³ /h (SB908AN-22-3) olan radyal bir fan yardımıyla ayarlanmıştır. Isıtıcı sistem, kanalın içine yerleştirilmiş 2000 W gücüne sahip bir elektrikli ısıtıcıdan oluşmuştur. Ortamın nemi $\pm 0,1$ RH hassasiyetinde olan bir nemölçer ile ölçülmüştür (KIMO). Kurutma oda sıcaklığı varyak yardımıyla sabit hale getirilmiştir. Kullanılan varyak 260 V, 2,5 A ve 50 Hz gücüne sahiptir (Staco 3PN1520B). Ürün yüzey sıcaklıkları ile kurutma odası giriş ve çıkış sıcaklıkları 0,08 mm çapındaki T tipi termokupullar kullanılarak ölçülmüştür. Kurutma odası uzunluğu, genişliği ve yüksekliği sırasıyla 60, 40 ve 60 cm'dir. 27 cm uzunluk ve 21 cm genişliğindeki kurutma tepsisinin üzerine meyveler eşit olarak koyularak, kızılıcık meyvelerinin kütle kaybı 60 dakikalık aralıklarla 0-6,100 g ölçüm aralığında ve $\pm 0,1$ g hassasiyetindeki Avery Berkel (Model CC061) dijital bir terazi ile ölçülmüştür. Hava hızını belirlemek için, 0,4-3 m/s aralığında ölçüm yapabilen ve %3 hassasiyete sahip RAM DT-619 model dijital bir el anemometresi kullanılmıştır. Hassas ölçümlerin yapılmasını sağlamak için ölçümler 3 kez tekrarlanmıştır. Yapılan deneylerde, kurutma odası giriş sıcaklığı, kurutma odası çıkış sıcaklığı, ortam sıcaklığı, kuruma hızı, meyvelerin kütle kaybı ve nem değerleri ölçülmüştür.



Şekil 1. Kullanılan düzeneğinin görüntüsü; 1.Nemölçer, 2.Dijital terazi, 3.Termoanemometre, 4.Hava çıkış kanalı, 5.Kurutma tepsisi, 6.Kurutma kabini, 7.Hava akış kanalı, 8.Isıtma sistemi, 9.Fan, 10.Varyak

Kurutma işlemi başlamadan önce kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızı ayarlanarak deney düzeneği kararlı hale getirilmiştir. Deneylerin yapıldığı ortamın nem oranı %22-40 arasında, ortam sıcaklığı ise 20-25°C arasında değişmektedir. Deneyde kullanılan kızılıcık meyveleri Elazığ'da bulunan bir bahçeden taze olarak toplanmıştır. Daha sonra, 304 g yaş kızılıcık meyveleri kurutma tepsisine koyulmuştur ve kütle kaybı teraziden ölçülmüştür. Kurutma işlemi sırasında denge nemi, kurutma havası sıcaklığına ve kurutma havası bağıl nemine bağlı olarak, kuru katının içerebileceği en az nem miktarını gösterir. Kızılıcık örneklerinin başlangıç nem içeriklerinin hesaplanabilmesi için 20 g kızılıcık numunesi 24 saat bekletilerek 100 °C de kurutulmuş ve kurutma işlemi boyunca ürünlerdeki ağırlık değişimleri bir saat ara ile kaydedilmiştir. Son iki ölçüm arasındaki fark %0.05 oluncaya kadar kurutma yapılmıştır. Kurutma işlemi üç kez tekrar edilmiş ve ürünlerin ilk nem değerleri belirlenerek ortalaması alınmıştır. Kızılıcık örneklerinin başlangıç nem içeriği %68 olarak belirlenmiştir. Kızılıcığın yaş baza göre %68 olan ilk nem içeriği, kurutma işlemi sonunda %10'a ulaşmıştır. Kurutulan kızılıcıkların, farklı konumlardaki görünüşleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Deneyde kullanılan kızılözlüklerin farklı konumlardaki görüntüleri

3.1. Belirsizlik analizi:

Konvektif tip kurutucuda yapılan kurutma deneylerinde sıcaklığın, zamanın, kütle kayıplarının, hızın, havanın neminin ve örneklerin kuru madde miktarının ölçülmesi sırasında, hem sabit hatalardan hem imalat hatalarından hem de rastgele hatalardan kaynaklanan hataların etkili olduğu tahmin edilmiştir. Ölçülen değerleri dikkate alarak kurutucuda yapılan kurutma işlemleri için bu değerlerden kaynaklanan toplam hataların hesaplanması gerekir. Yapılan deneylerde, ölçülen büyüklükler (R) ve bu büyüklüklere etki eden n tane bağımsız değişken ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) olarak ifade edilir, her bir bağımsız değişkenin ve hesaplanan büyüklüğün hata oranı aşağıdaki gibi hesaplanır. Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve R büyüklüğünün hata oranı W_R aşağıdaki formül ile hesaplanır [25]:

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

Bütün ölçüm aletleri ve ölçümler belirli özelliklere sahiptir. Hatalar ve belirsizlikler hem ölçüm aletinin hem de yapılan ölçüm işleminin doğasında vardır. Deneysel çalışmalarda hata ve belirsizlikler ölçüm aletinin seçiminden, özelliklerinden, çevre ve deney şartlarından ve okuma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Kullanılan aletlerin yukarıda verilen belirsizlikleri kullanılarak denklem (4) yardımıyla ölçüm parametrelerinin toplam hata miktarları bulunmuş ve Tablo 1’de gösterilmiştir.

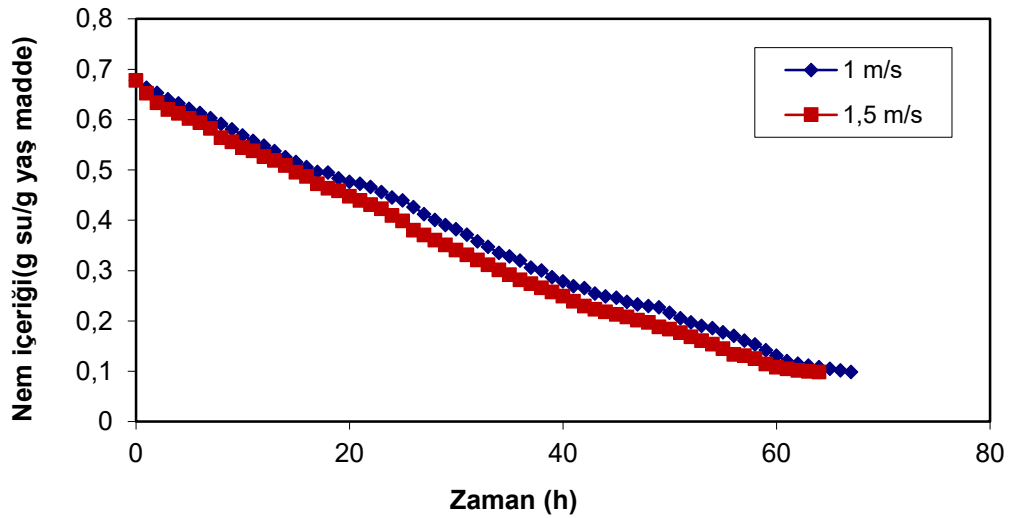
Tablo 1. Ölçüm parametrelerinin belirsizlikleri

Parametre	Birim	Toplam Hata
Sıcaklık Ölçümü	°C	±0,08
Hava Hızı	m/s	±0,03
Kütle Ölçümü	g	±0,1
Nem Kaybı Ölçümü	dak	±0,17
Boyutsuz Nem İçeriği	dak	±0,19
Kuruma Hızı	g/s	±0,14

4. Sonuçlar ve Tartışma

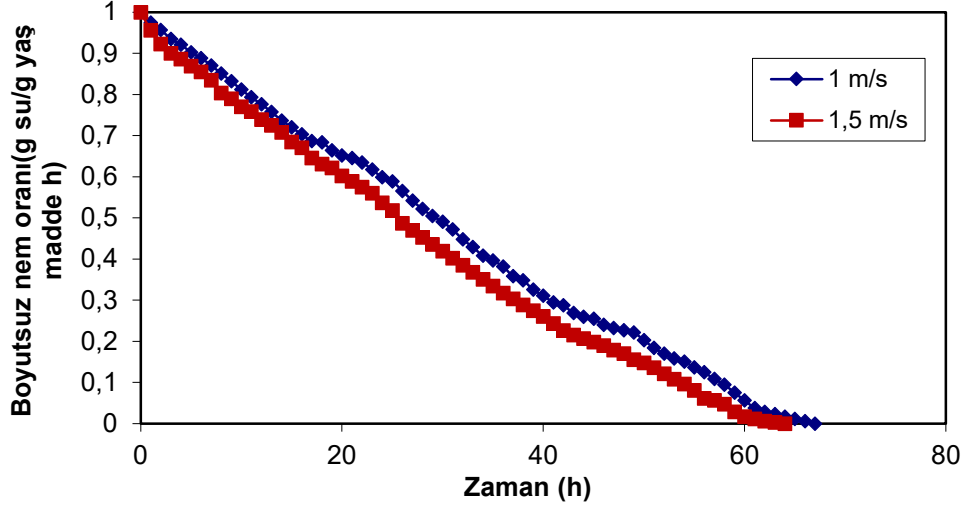
Literatürde meyve ve sebzelerin kurutulması sırasında hava sıcaklığı, nem ve akış hızı gibi parametrelerin ve kurutulan materyale ait özelliklerin kuruma karakteristiklerine etkilerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Ancak, literatürde kızılığın kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalar çok sınırlıdır. Çünkü kızılık meyvesi oldukça geç kuruyan bir üründür ve saatlerce sürebilmektedir. Kuruma süresi uzun olduğu için literatürde kuruma süresi az olan meyvelerin kurutulmasına yer verilmiştir. Bu çalışma kızılık meyvesinin önemini vurgulayarak, kurutma karakteristiklerini ortaya koyan bir çalışma olmuştur ve bu anlamda da bilime katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada kuruma havası hızı, 1 ve 1,5 m/s alınmış ve etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Kuruma havası hızı ürünün nem içeriğini, sıcaklığını ve toplam kuruma zamanını etkileyen bir parametredir. Aynı zamanda artan hızlarda kuruma süresini azaltacağı için tüketilecek enerji miktarını azaltacak ve ekonomiye katkı sağlayacaktır.

35 °C kuruma havası sıcaklığı, 1 ve 1,5 m/s hız değerleri için, kızılığın yaş baza göre nem içeriğinin zamanla değişimi Şekil 3’de verilmiştir. Kuruma süresi arttıkça nem içeriği yavaş yavaş azalmaktadır. Beklendiği gibi kurutma havası hızı kızılığın nem içeriğini etkilemektedir. Başka bir deyişle kurutma havası hızı arttıkça kızılığın kuruma süresi azalmıştır. Kızılığın kuruma süresi 1,5 m/s için 64 saat iken, 1 m/s için 67 saat olarak belirlenmiştir. Bu duruma benzer çalışmalar literatürde mevcuttur [5,11 ve 12]. Kaya ve Orhan [21], hava hızını arttırarak kızılığın kuruma süresini 85 saatten 60 saate, Ozgen ve Çelik [12], hızı arttırarak kivi meyvesinin kuruma süresini 750 dakikadan 225 dakikaya indirmişlerdir.



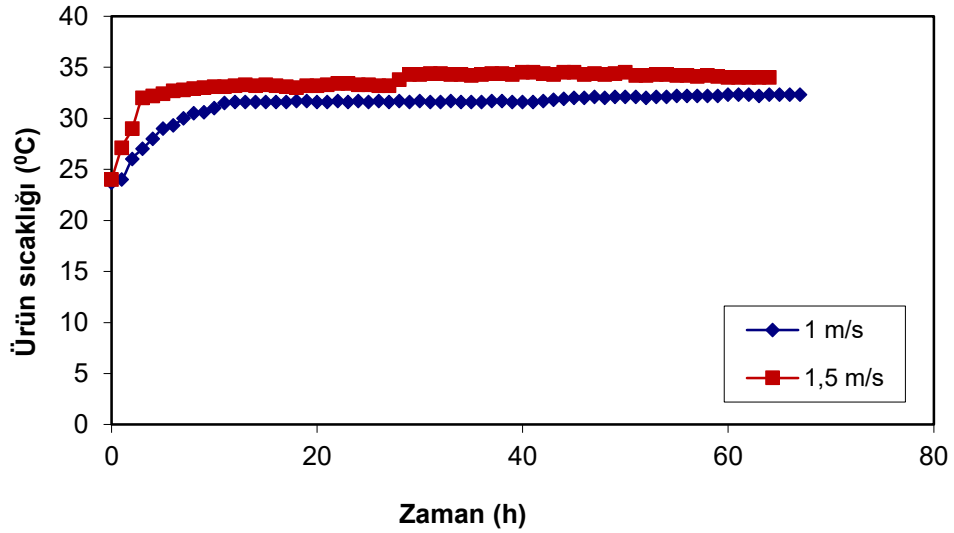
Şekil 3. Yaş baza göre nem içeriğinin zamana göre değişimi

Boyutsuz nem oranının kuruma zaman ile değişimi Őekil 4'de verilmiştir. Kurutma zamanının artmasıyla boyutsuz nem oranı da azalmıştır. Bu dūřuřu etkileyen ana faktör kurutma havası hızıdır ve yüksek kurutma havası hızı dūřuk kuruma süresine neden olmuştur. 1,5 m/s hız için kuruma zamanı en az iken, en uzun kuruma zamanı 1 m/s için olmuştur.



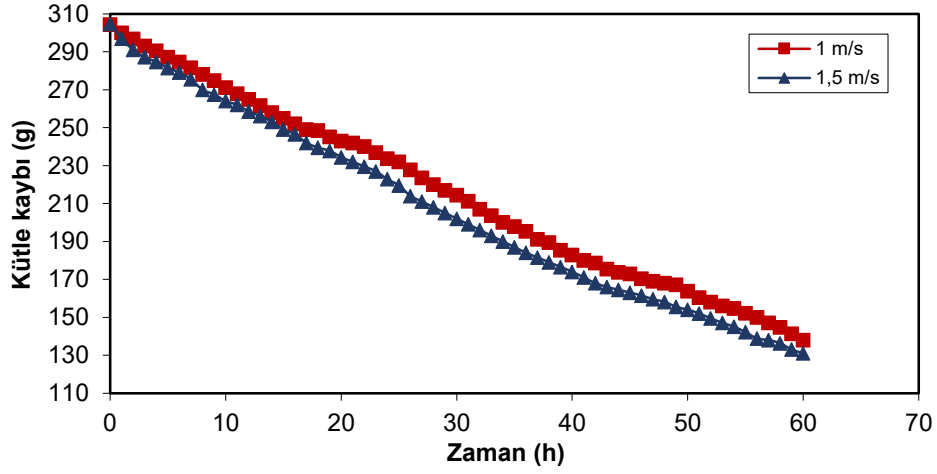
Şekil 4. Boyutsuz nem oranının zamana göre değişimi

35 °C sabit kuruma havası sıcaklığı, 1 ve 1,5 m/s hız değerleri için, kızılciğin yüzey sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 5'de sunulmuştur. Kızılciğ meyvesinin ürün sıcaklığı kurutma süresi boyunca sürekli olarak kaydedilmiştir. Kuruma zamanı boyunca yüzey sıcaklığının hızla arttığı ve sonra yavaşça sabit hale geldiği görülmüştür.



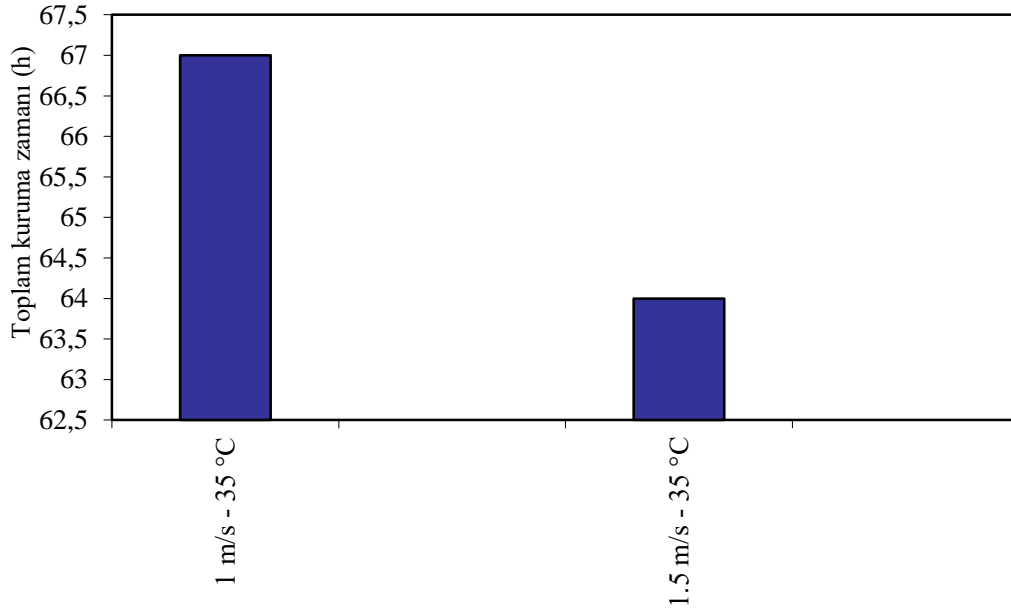
Şekil 5. Ürün sıcaklığının zamana göre değişimi

35 °C sıcaklık, 1 ve 1,5 m/s hızları için kızılciğin kurutma süresince kütle değişimi Şekil 6'da sunulmuştur. Kurutma havası hızı, kızılciğin kuruma süresini etkilemiştir. Yüksek hızlarda kuruma süresi de azalmıştır. En yüksek kayıp 1,5 m/s için olurken, uzun süren kütle kaybı 1 m/s için görülmüştür.



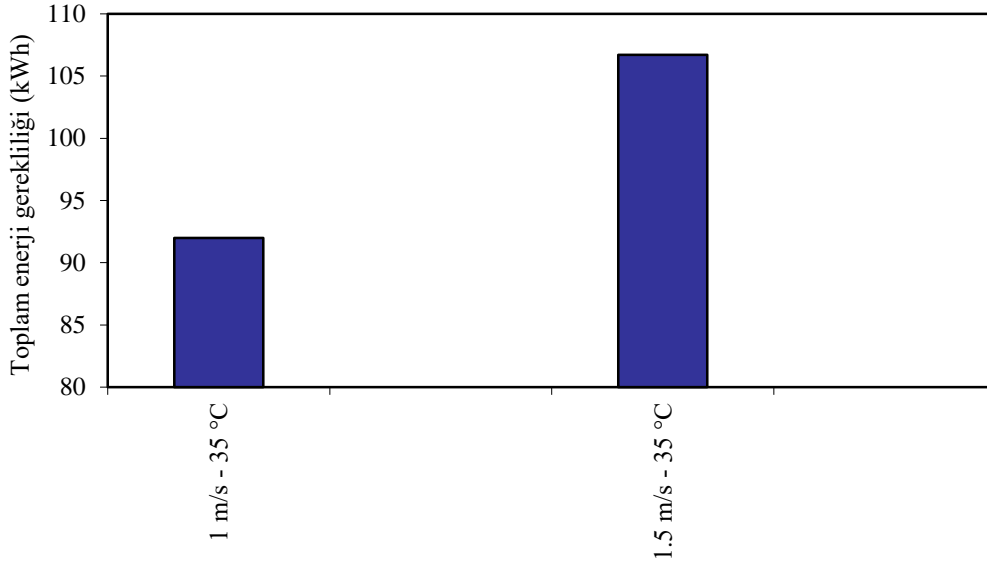
Şekil 6. Kütle kaybının zamana göre değişimi

Kızılığın meyvesinin toplam kuruma zamanı Şekil 7’ de gösterilmiştir. Toplam kuruma zamanı 35 °C sıcaklık ve 1,5 m/s hız değeri için daha kısa olmuştur (64 saat). 1 m/s kurutma havası hızındaki toplam kuruma zamanı ise 67 saate ulaşmıştır. Kurutma havası hızının artması ürünün daha erken kurumasını sağlamıştır.



Şekil 7. Konvektif tip kurutucunun farklı hızlardaki toplam kuruma zamanı

Tasarlanan konvektif tip kurutma sistemi için hesaplanan toplam enerji gerekliliği Şekil 8’ de görülmektedir. Maksimum enerji gerekliliği 35 °C sıcaklık ve 1,5 m/s hız değeri için olmuştur (106,7 kWh). 1 m/s kurutma havası hızındaki toplam enerji gerekliliği ise minimum değere ulaşmıştır (92 kWh). Benzer çalışmalar literatürde mevcuttur [21].



Şekil 8. Konvektif tip kurutucunun farklı hızlardaki toplam enerji gerekliliği

5. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, 35 °C sıcaklık, 1 ve 1,5 m/s hız değerleri için, kızılciğın kurutma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar şu şekilde verilebilir:

- Kızılciğın kurumadan önceki nem içeriği yaş baza göre %68 iken kuruduktan sonraki nem içeriği %10 olmuştur.
- %10'a varan nem içeriğine ulaşma zamanı 1 ve 1,5 m/s hızlar için 67 saat ve 64 saat olmuştur.
- Nem içeriği ve kurutma oranı hava hızından etkilenmiş, kurutma hava hızının artmasıyla kurutma zamanı azalmıştır.
- Kurutma havası hızı, kızılciğın kuruması için enerji gerekliliğini önemli derecede etkilemiştir. Enerji gerekliliği 35 °C kuruma havası sıcaklığı ve 1,5 m/s hız değeri için 106,7 kWh iken 1 m/s kurutma havası hızındaki toplam enerji gerekliliği 92 kWh olmuştur. Hız değerinin azalması enerji gerekliliğini %13,78 oranında azaltmıştır.

Semboller

- A: Hava akışı yüzey alanı (m²)
c: Havanın özgül ısı kapasitesi (J/kgK)
D_t: Toplam kurutma zamanı (h)
E_t: Toplam enerji gerekliliği (kWh)
M_{wb}: Yaş baza göre nem içeriği (g/g)
M_{ab}: Kuru baza göre nem içeriği (g/g)
M_w: Ürünün su ağırlığı (g)
M_T: Ürünün toplam ağırlığı (g)
M_k: Ürünün kuru ağırlığı (g)
W_s: Nem oranı (g su/g kuru madde)
M_t: Ürünün t anındaki ağırlığı (g)
M_e: Denge nemi ağırlığı (g su/g kuru madde)
M₀: Ürünün başlangıç ağırlığı (g)
M_{t+Δt}: Ürünün t + Δt anındaki ağırlığı (g)
ρ: hava yoğunluğu (kg/m³)
ΔT: sıcaklık farkı (K)
v: kurutma hava hızı (m/s)

Kaynaklar

- [1] Bains R, Langrish TAG. Choosing an appropriate drying model for intermittent and continuous drying of bananas. *Journal of Food Engineering* 2007; 79: 330-343.
- [2] Djebli A, Hanini S, Badaoui O, Haddad B, Benhamou A. Modeling and comparative analysis of solar drying behavior of potatoes. *Renewable Energy* 2020; 145: 1494-1506.
- [3] Erdem M, Varol Y. Alabalığın kurutulması ve tuzlanması üzerine deneysel bir çalışma. *Termodinamik* 2014; 264: 92-102.
- [4] Conversa G, Miedico O, Eugenio Chiaravalle A, Elia A. Heavy metal contents in green spears of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) grown in Southern Italy: Variability among farms, genotypes and effect of soil mycorrhizal inoculation. *Scientia Horticulturae* 2019; 256: 108559.
- [5] Özgen F. Kurutma Hava Hızının Kızılıçığın Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2013; 25 (2): 99-105.
- [6] Akpınar E K, Dincer I. Moisture transfer models for slab drying. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2005; 32:80- 93.
- [7] Akpınar E, Biçer Y. Siklon tipi bir kurutucuda kabağın kuruma davranışının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2003; 16 (1): 159-169.
- [8] Kaya A, Aydın O, Demirtaş C. Experimental and theoretical analysis of drying carrots. *Desalination* 2009; 237: 285-295.
- [9] Koyuncu T, Serdar U, Tosun I. Drying characteristics and energy requirement for dehydration of chestnuts (*Castanea sativa* Mill.). *Journal of Food Engineering* 2004; 62: 165-168.
- [10] Azharul Karim Md, Hawlader MNA. Drying characteristics of banana: theoretical modelling and experimental validation. *Journal of Food Engineering* 2005; 70: 35-45.
- [11] Ozgen F. Experimental investigation of drying characteristics of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.). *Heat Mass Transfer* 2015; 51: 343-352.
- [12] Ozgen F, Celik N. Evaluation of Design Parameters on Drying of Kiwi Fruit. *Applied Sciences* 2019; 9, 10; doi:10.3390.
- [13] Yan Z, Sousa-Gallagher MJ, Oliveria FAR. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering* 2008; 84: 430-440.
- [14] Amjad W, Crichton SOJ, Munir A, Hensel O, Sturm B. Hyperspectral imaging for the determination of potato slice moisture content and chromaticity during the convective hot air drying process. *Biosystems Engineering* 2018; 166: 170-183.
- [15] Nguyen M, Price WE. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. *Journal of Food Engineering* 2007; 79: 200-207.
- [16] Bi J, Yang A, Liu X, Wu X, Chen Q, Wang Q, Lv J, Wang X. Effects of pretreatments on explosion puffing drying kinetics of apple chips. *LWT - Food Science and Technology* 2015; 60: 1136-1142.
- [17] Prithani R, Dash KK. Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2020; 64: 102-112.
- [18] Bechlina TR, Granella SJ, Christ D, Coelho SRM, Paz CHO. Effects of ozone application and hot-air drying on orange peel: moisture diffusion, oil yield, and antioxidant activity. *Food and Bioprocess Technology* 2020; 123: 80-89.
- [19] Kouhila M, Bahammou Y, Lamsyehe H, Moussaoui H, Tagnamas Z, Idlimam A, Lamharrar A, Mouhanni H. Cyclical variation of drying air temperature on *Mytilus galloprovincialis* convective drying. *Solar Energy* 2020; 211: 1070-1083.
- [20] Erdem M, Varol Y, Öztop HF, Türkbay İ. Balığın kuruma davranışı üzerinde parça etkisi ve sistemin enerji gereksiniminin incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2016; 28(2): 89-98.
- [21] Kaya A, Aydın O. Kurutma hava sıcaklığının kuruma süresi ve sorpsiyon eğrisine etkisinin deneysel incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi* 2008; 28 (2): 45-49.
- [22] Banı A. Kızılıçığın infrared ısı ile kurutulmasında kütle transfer katsayılarının ve vitamin kayıplarının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 90s.
- [23] Darıcı S, Şen S. Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma hava hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. *Tesisat Mühendisliği* 2012; 130: 51-58.
- [24] Koyuncu T, Tosun I, Pinar Y. Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.). *Journal of Food Engineering* 2007; 78: 735-739.
- [25] Holman JP. *Experimental Methods for Engineers*. McGraw- Hill Book Company 1971; 37-52.