



Effect of Different Temperatures on Drying Kinetics and Some Quality Attributes of Strawberry

Erdal Ağçam^{1,a,*}

¹Department of Food Engineering, Çukurova University, 01330 Adana, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 27/04/2022 Accepted : 04/06/2022</p> <p>Keywords: Dried strawberries Drying kinetics Quality attributes Bioactive compounds Colour change</p>	<p>Effects of different drying temperatures (45, 55, and 65°C) on drying kinetic parameters, physical quality attributes, and contents of bioactive compounds of strawberry samples were investigated by a pilot scale cabin dryer with air circulation. The diffusion coefficient of water was determined between (D_{eff}) 3.69-9.75 (m^2/s) $\times 10^{-10}$, while the diffusion activation energy (E_a) was calculated as 43.42 kJ/mol. Significant changes were observed in color parameters (L^*, a^*, b^*, C^*, Hue^* and ΔE^*) depending on the drying temperature. It has been determined that strawberry is an important source of phenolics and contains high amounts of three anthocyanin compounds and ellagic acid. The most abundant anthocyanin compound in strawberry samples was identified as pelargonidin-3-glucoside (80.26 mg/100g DM), and followed by pelargonidin-3-rutinoside (7.72 mg/100g KM) and cyanidin-3-glucoside (5.08 mg/100g KM). On the other hand, ellagic acid content was determined as the highest in the dried strawberries (23.11-37.04 mg/100g DM) after different drying temperatures. It is concluded that moderate temperatures (<65°C) should be chosen to dry strawberry fruit for the preservation of strawberry bioactive compounds having significant contributions to human health in addition to obtain more attractive dried strawberry products.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(7): 1270-1280, 2022

Farklı Sıcaklıkların Çileğin Kuruma Kinetiği ve Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 27/04/2022 Kabul : 04/06/2022</p> <p>Anahtar Kelimeler: Kurutulmuş çilek Kuruma kinetiği Kalite özellikleri Biyoaktif bileşenler Renk değişimi</p>	<p>Bu çalışmada farklı kurutma sıcaklıklarının (45, 55 ve 65°C) çileğin kuruma kinetiği parametreleri, bazı fiziksel kalite özellikleri ve biyoaktif bileşenlerinin içeriği üzerine etkisi ortaya konmuştur. Bunun için hava sirkülasyonlu pilot ölçekli kabin tipi kurutucu kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre suyun difüzyon katsayısı (D_{eff}) 3,69-9,75 (m^2/s) $\times 10^{-10}$ arasında değiştiği tespit edilmişken difüzyon aktivasyon enerjisi (E_a) 43,42 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Kurutma sıcaklığına bağlı olarak renk parametrelerinde (L^*, a^*, b^*, C^*, Hue^* ve ΔE^*) belirgin değişiklikler gerçekleşmiştir. Çileğin önemli bir fenolik kaynağı olduğu ve üç antosiyanin bileşen ile elajik asidi yüksek miktarda içerdiği belirlenmiştir. Çileğin antosiyanin bileşenlerinden en baskın olanı pelargonidin-3-glikozit (80,26 mg/100g KM) olup bunu pelargonidin-3-rutinozit (7,72 mg/100g KM) ve siyanidin-3-glikozit (5,08 mg/100g KM) takip etmiştir. Kurutma sıcaklığına bağlı olarak çileğin antosiyanin bileşenlerinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Öte yandan elajik asit içeriği kurutulmuş çileklerde kurutma sıcaklığına bağlı olarak daha yüksek tespit edilmiştir (23,11-37,04 mg/100g KM). Elde edilen bulgular beraber irdelendiğinde çilekte bulunan ve insan sağlığına önemli katkılar sunan biyoaktif bileşenlerin korunması ve yüksek albenili kuru çileklerin elde edilmesi için ılımlı kurutma sıcaklıklarının (<65°C) seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.</p>

^a eagcam@cu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-2677-2020>



Giriş

Çilek gerek beğenisi yüksek tat ve aroma dengesi açısından ve gerekse yapısında barındırdığı yüksek miktardaki biyoaktif bileşenlerden ötürü her geçen gün tüketimi artan bir meyvedir. Çilek meyvesi vitaminler (özellikle C vitamini ve folik asit), flavanoid ve fenolik asitlerin yanı sıra bazı önemli mineraller (potasyum, fosfor, magnezyum, kalsiyum ve selenyum) açısından önemli bir kaynaktır (Giampieri ve ark., 2012; Sarıdaş, 2021; Sarıdaş ve ark., 2022). Çilekte bulunan fenolik bileşenler fenolik asitler, flavanoidler ve elajitaninler şeklinde üç temel grup içerisinde sınıflandırılabilir. Özellikle flavanoidlerden antosiyaninler çileğin kendine has kırmızı rengi ile ilişkili önemli fenolik maddelerdir. Çileğin antosiyaninleri arasında en baskın olanı pelargonidin-3-glikozit iken bunu pelargonidin ve siyanidin türevi antosiyaninler takip etmektedir. Bunun yanı sıra güçlü bir antioksidan madde olan ve sağlığa olumlu katkı sağladığı bilinen elajik asit çilekte yüksek oranda tespit edilmiştir (Evyugin ve ark., 2020; Giampieri ve ark., 2012; Sarıdaş, 2021; Sarıdaş ve ark., 2022). Çilek biyoaktif bileşenlerinin kan ve plazma değerlerini düzenlemeye, vücutta oluşan serbest radikalleri elemine ederek oksidatif stresi azaltmaya ve kalp ile ilişkili hastalıkları önlemeye yardımcı olduğu rapor edilmiştir (Afrin ve ark., 2016; Basu ve ark., 2010; Giampieri ve ark., 2014; Giampieri ve ark., 2013; Henning ve ark., 2010). Çilek meyvesinin ifade edilen özellikleri nedeniyle sezonunda taze ve bunun dışındaki dönemlerde işlenmiş olarak tüketilmesi durumunda insan sağlığına önemli katkılar sağlanacağı anlaşılmaktadır.

Çilek hasat sonrası fizyolojisinden ötürü hızlıca fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değişimlere maruz kalmaktadır (Nayak ve ark., 2020). Raf ömrü süresince çilekte meydana gelen değişimler başlıca su kaybı, tekstür kaybı, pörsüme ve renk kaybı şeklinde olurken kimyasal değişimler başlıca tat değişimi, besin kaybı ve kötü aroma oluşumudur. Çileğin fiziksel ve kimyasal bozulma sürecini mikrobiyolojik bozulma mekanizması takip etmekte ve kısa sürede tüketim değerini kaybetmektedir (Ji ve ark., 2020; Maraei ve Elsayy, 2017; Yoon ve ark., 2020). Çilek gibi insan sağlığına önemli katkı sunma potansiyeli olan ürünlerin sofralık tüketiminin yanı sıra gıda sanayisinde işleme olanaklarının geliştirilerek raf ömrünün uzun bir döneme yayılması gerekmektedir. Böylece çilekte kayıpların azaltılması sağlanırken katma değeri yüksek ürünlerin üretimi ile ülke ekonomisine önemli katkılar sağlanmış olacaktır. Çileğin raf ömrünün uzatılmasında kullanılacak en etkin tekniklerden biri kurutmadır (Sadowska ve ark., 2020). Endüstriyel kurutma teknolojileri ile gıdada bulunan serbest su uygun bir kurutma sistemi sayesinde gıdadan uzaklaştırılarak arzu edilmeyen kimyasal ve mikrobiyolojik reaksiyonların önüne geçilebilmektedir (Chirife ve Fontana, 2020; Singh ve Heldman, 2009). Bir başka deyişle gıdanın fazla nemi uzaklaştırılarak su aktivitesi güvenli bir aralığa düşürülmektedir. Böylece biyoaktif bileşenlerin oksidasyonuyla ilişkili reaksiyonlar ile mikrobiyolojik faaliyetler kontrol altına alınmaktadır.

Nemli bir gıdadan suyun uzaklaştırılması sırasında hem ısı hem de kütle aktarımı aynı anda gerçekleşmektedir (van Koerten ve ark., 2017). Kuruma dinamiklerinin ortaya konulması için ısı ve kütle aktarımına ilişkin

parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir (Sandhu ve ark., 2016). Kurutma sırasında sıcak havadan nemli gıdanın yüzeyine ısı aktarımı gerçekleşirken aynı yüzeyden havaya su buharı aktarımı olmaktadır. Suyun nemli gıdanın yüzeyinden buharlaşma hızını etkileyen en önemli unsurlardan biri kurutma ortamındaki havanın sıcaklığı ile kurutulan ürünün sıcaklığı arasındaki farktır (Singh ve Heldman, 2009). Sıcaklık farkı ne kadar yüksek ise nemli gıdadaki serbest suyun buharlaşma hızı o kadar yüksek olmaktadır. Ancak, kuruma hızının artırılması için ortam sıcaklığının istendiği kadar yükseltilemeyeceği bilinen bir gerçektir. Çünkü seçilen kurutma sıcaklığı son ürün kalitesini önemli düzeyde etkileme potansiyeline sahiptir. Çilek hem askorbik asit hem de antosiyaninler açısından kaynak oluşturmada olup (Sarıdaş, 2021) söz konusu biyoaktif bileşenler yüksek sıcaklıklarda etkileşime girerek arzu edilmeyen kalite kusurlarına sebebiyet verebilmektedir. Dolayısıyla çilek gibi hassas ürünlerin kurutma sıcaklığı son ürün kalitesine etki düzeyi gözetilerek seçilmelidir. Ayrıca nemli gıdanın kuruma kinetiğine ilişkin parametrelerin ortaya konulması kurutma koşullarının optimizasyonu açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle sunulan çalışmanın amacı; farklı kurutma sıcaklıklarının (45, 55 ve 65 °C) Çukurova Bölgesinde yetiştirilen çileklerin kuruma kinetiği ile bazı fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerine etkisini ortaya koymak ve karşılaştırmaktır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Çalışmada 2021 yılında Çukurova Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nün deneme arazilerinde yetiştirilen Festival çeşidine ait çilek meyveleri araştırma materyali olarak kullanılmıştır.

Kimyasal analizlerin gerçekleştirilmesinde ise metanol (CH₃OH, Isolab), sodyum karbonat (Na₂CO₃, Merck), sodyum nitrit (NaNO₂, Merck), alüminyum klorür (AlCl₃, Merck), sodyum hidroksit (NaOH, Merck), Folin-Ciocalteu (Merck), potasyum klorür (KCl, Merck), sodyum asetat (CH₃COONa, Merck), formik asit (HCOOH, Merck) ve asetonitril (CH₃CN, Merck) firmaların bölge temsilcilikleri aracılığı ile analitik saflıkta temin edilmiştir. Ayrıca kimyasal analizlerin gerçekleştirilmesi için kullanılan saf su ve ultra saf su, şebeke suyunu işleyen bir cihaz (New Human Power, Güney Kore) yardımı ile üretilmiştir.

Çileklerin Kurutulması

Hasadı gerçekleştirilen çilekler zaman kaybetmeden Çukurova Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümüne getirilmiş ve ilk olarak taç yapraklar meyvelerden ayıklanmıştır. Çileklerin merkezi eksenlerden en ve boylarının ölçülmesine takiben yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkanan çilekler kerevetlere serilmiştir. Çileklerin kurutulması için hava sirkülasyonlu kabin tipi kurutucu kullanılmıştır (Nüve, Türkiye). Kurutma sıcaklığı olarak 45, 55 ve 65 °C kullanılmıştır. Kurutma ortamında havanın sirkülasyon hızı 3 m/s olacak şekilde ayarlanmıştır. Kurutma ortamının hava sirkülasyon hızı el tipi anemometre (Trotec, Almanya) ile ölçülmüştür.

Kurutma süresince çileğin merkez noktası (T_s), kurutma ortamının ıslak (T_{wb}) ve kuru termometre (T_{db}) sıcaklıkları dijital termometre ile (Verth, Tayvan) takip edilerek belirli aralıklarla (2 dakika) kayıt altına alınmıştır. Kurutma ortamının termodinamik olarak kararlı olduğu sıcaklıklardan yola çıkarak kurutma ortamının bağıl nem değeri psikrometrik diyagramlar yardımıyla hesaplanmıştır. Kitleyi temsil eden çileklerin ağırlığı kuruma süresince dijital terazi (Sartorius, Almanya) ile takip edilmiştir. Nem kaybının hızlı olduğu ilk beş saatlik kurutma döneminde her yarım saatte bir, daha sonrasında ise saatte bir ağırlık ölçümü yapılmıştır. Çilekler ilgili kurutma sıcaklığındaki denge nemine ulaştığında kurutmaya son verilmiştir. Çalışma üç tekerrürlü gerçekleştirilmiştir.

Örneklere Uygulanan Fiziksel Analizler

Kuru madde analizi için çilek örneklerinden yaklaşık 1-2 gram kurutma kaplarına aktarılmıştır. Bunu takiben 65°C'ye ayarlı hava sirkülasyonlu kurutma kabine (MMM Medcenter-Venticell, Almanya) örnekler aktararak dengeye gelene kadar kurumaları sağlanmıştır. Hava sirkülasyonlu kurutma işleminden sonra aynı sıcaklığa ayarlı vakumlu kurutucuda (Blue Pard, Çin) örneklerin kalıntı nemi tekrar uzaklaştırılmıştır. Son olarak örnekler desikatöre alınmış ve ağırlık ölçümü tekrar hassas terazi (Sartorius, Almanya) ile ölçülmüştür. Örneklerin kuru madde değeri % olarak aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\text{Kurumadde}(\%) = \left(\frac{w_k - w_d}{w_i - w_d} \right) \times 100 \quad (1)$$

Formüldeki w_k kuru ürünün ağırlığını, w_d tartım kabının ağırlığını ve son olarak w_i örneğin başlangıç ağırlığını ifade etmektedir.

Çilek örneklerinin su aktivitesi (a_w) değerlerinin ölçümünde bu analiz için tasarlanmış özel bir cihaz (Novasina, İsviçre) kullanılmıştır. Cihazın kalibrasyonunda sertifikalı nem tuzları kullanılmıştır. Taze ve kurutulmuş çilek örnekleri ince kıyıldıktan sonra cihaz için özel tasarlanmış teflon kaplarına aktararak analiz gerçekleştirilmiştir.

Çilek örneklerinin renk değerleri (L^* , a^* ve b^*) el tipi katı renk ölçer (CR-400, Minolta, Japonya) ile gerçekleştirilmiştir. Beyaz düzlem üzerine konan örneklerin beş farklı noktasından ölçüm alınmıştır. Elde edilen L^* , a^* ve b^* değerleri kullanılarak kroma (C^*), Hue* ve ΔE^* değerleri de aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$\text{Hue}^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_o^* - L_t^*)^2 + (a_o^* - a_t^*)^2 + (b_o^* - b_t^*)^2} \quad (4)$$

Formüllerdeki L_o^* , a_o^* ve b_o^* kurutmanın başlangıcındaki renk değerlerini ve L_t^* , a_t^* ve b_t^* ise kurutma sonundaki renk değerlerini tanımlamaktadır.

Örneklerin Biyoaktif Bileşenlerinin Belirlenmesi

Biyoaktif bileşenlerin ekstraksiyonu için %80'lik metanol çözeltisi kullanılmıştır. Bunun için ince kıyılmış 1 g örneğin üzerine 25 mL ekstraksiyon çözeltisi eklendikten sonra karanlıkta 10 dakika bekletilmiştir. Bu işlemi takiben yüksek devirde parçalayıcıda örnek homojenize edilerek hacim ekstraksiyon çözeltisi ile 50 mL'ye tamamlanmıştır. Son olarak karışım 1 dakika boyunca vorteks ile karıştırıldıktan sonra santrifüjlenmiştir (Hettich, Almanya) (6000 rpm, 4°C, 10 dakika). Elde edilen berrak kısım toplam monomerik antosiyanin (TMA), toplam flavonoid ve fenolik madde ile bireysel fenol bileşenlerin belirlenmesinde stok ekstrakt olarak kullanılmıştır.

TMA analizi için Giusti ve Wrolstad (2001) tarafından ortaya konan pH diferansiyel yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin temeli pH=1 (0,025M KCl) ve pH=4,5 (0,4M CH₃COONa) çözeltileri ile seyreltilmiş antosiyanince zengin ekstraktın absorbans ölçümüne dayanmaktadır. Bunun için iki ayrı cam tüpe 1 mL berrak stok ekstrakt alınmış üzerlerine pH=1 ve pH=4,5 çözeltilerinden 4 mL ilave edilerek karıştırılmıştır. Absorbans ölçümleri tek kullanımlık küvetlerle 520 ve 700 nm dalga boyunda iki ışın yollu spektrofotometre (Perkin Elmer-Lambda 25 UV/VIS, USA) ile gerçekleştirilmiştir. Örneklerin TMA analizi beş tekrarlı gerçekleştirilmiştir. TMA hesabı için aşağıda verilen formüller kullanılmış ve sonuçlar çilekte en çok bulunan pelargonidin-3-glikozit cinsinden mg/100g KM olarak ifade edilmiştir.

$$A = (A_{520} - A_{700})_{pH=1} - (A_{520} - A_{700})_{pH=4.5} \quad (5)$$

$$\text{TMA} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{A \cdot MW \cdot SF}{\epsilon \cdot L} \times 1000 \quad (6)$$

Bu eşitlikte A absorbans farkını, MW molekül ağırlığını (pelargonidin-3-glikozit, 433,4 g/mol), SF seyreltme faktörünü, ϵ molar absorpsiyon katsayısını (22400 L/mol.cm) ve son olarak L küvetin ışın yolu mesafesini (1 cm) ifade etmektedir.

Toplam flavonoid madde analizi için Zhishen ve ark. (1999) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Elde edilen stok 1 mL ekstrakt cam tüplere aktarılmış ve sırasıyla 4 mL saf su ile 0.3 mL NaNO₂ çözeltisi (%5, w/v) ilave edilerek vorteks ile karıştırılmıştır. Reaksiyonda denge koşullarının sağlanması için 5 dakika beklendikten sonra sırasıyla 0,3 mL AlCl₃ (%10, w/v) ve 2 mL 1M NaOH çözeltisi ilave edilerek tekrar vorteks ile karıştırılmış ve 510 nm dalga boyunda absorbans ölçümü gerçekleştirilmiştir. Örneklerin toplam flavonoid tayini beş tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Toplam flavonoid madde hesabında farklı konsantrasyonlardaki kuersetin standardından elde edilen kalibrasyon eğrisi denklemi kullanılmıştır. Sonuçlar 100 gram kuru maddedeki mg kuersetin eşdeğeri cinsinden (mg KE/100g KM) ifade edilmiştir.

Toplam fenolik maddenin belirlenmesi için Abdullakasm ve ark. (2007) tarafından önerilen yöntem laboratuvar koşulları için revize edilerek kullanılmıştır. Cam tüplere stok ekstraktan 100 µL enjekte edilmiş üzerine sırasıyla 100 µL Folin-Ciocalteu reaktifi, 3000 µL saf su ve 100 µL Na₂CO₃ çözeltisi (%20, w/v) ilave edildikten sonra tüpler vorteks ile karıştırılmıştır. Tüplerde

kimyasal reaksiyonun tamamlanarak denge koşullarının sağlanması için oda koşullarındaki karanlık ortamda 2 saat bekletilmişlerdir. Bu süre sonunda tüpler tekrar vorteks ile karıştırılarak 765 nm dalga boyuna ayarlı spektrofotometre ile absorbans ölçümü yapılmıştır. Örneklerin toplam fenolik madde tayini beş tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Toplam fenolik madde miktarının hesabında farklı konsantrasyonlardaki gallik asit standardından elde edilen kalibrasyon eğrisi denklemi kullanılmıştır. Sonuçlar 100 gram kuru maddedeki mg gallik asit eşdeğeri cinsinden (mg GAE/100g KM) ifade edilmiştir.

Çilek örneklerin bireysel fenol bileşenlerinin analizi HPLC (Shimadzu, Japonya) ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için stok ekstrakt 0.45 µm gözenek çapına sahip teflon membran filtreden geçirilmiş ve 20 µL ekstrakt; SPD-20A dedektör, SIL-20A otomatik örnekleyici, DGU-20A_{SR} degazör, CTO-10AS kolon fırınından oluşan HPLC sistemine enjekte edilmiştir. Fenolik bileşiklerin ayırımı 30°C’de tutulmuş C18 kolon (Waters, XTERRA RP C18, 5 µm, 4.6×250 mm) ile gerçekleştirilmiştir. Mobil faz olarak %5 formik asit çözeltisi (Faz-A) ile %80’lik asetonitril çözeltisinin (Faz-B; Faz-A: Asetonitril; 20:80, v/v) 1 mL/dakika debideki gradient akışı kullanılmıştır. Ön denemeler neticesinde çilek fenolik bileşenleri için en iyi sonuç veren gradient programı “0. dakika % 90A + %10B, 20. dakika % 80A + %20B, 55. dakika % 70A + %30B” şeklinde uygulanmıştır (Ağçam ve Akyıldız, 2015). Fenolik bileşenlerin tanımlanması sırasında sertifikalı standart maddelerin spektral verileri ile çıkış süreleri dikkate alınmış olup miktar hesabında ise tanımlanmış piklerin kalibrasyon eğrileri kullanılmıştır.

Kurutma Boyunca Çileklerde Kütle Transferi

Kurutma ortamında çilek sürekli su kaybederek ağırlık kaybına maruz kalacaktır. Bu ağırlık azalışı zamana bağlı olarak değişiklik göstereceğinden kararsız hal koşulları geçerlidir. Bu nedenle Fick’in 2. yasa eşitliği çileklerin zamana bağlı nem kaybını ifade etmede kullanılmıştır. Bunun için çileğin sahip olduğu şekli en iyi temsil eden küre geometrisi dikkate alınmıştır (Şekil 1) (Doymaz, 2008). Söz konusu eşitlik küre için yazıldığında Eş.7 elde edilir:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial M}{\partial r} \right) \right) \quad (7)$$

Eş.7 için gerekli çözümler yapıldıktan sonra Eş.8 elde edilir (Crank, 1975). Bu eşitlik için ısı ve kütle transferine dış direncin ihmal edilebilir düzeyde olduğu varsayılmışken, su transferinde iç direncin sınırlayıcı faktör olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca çileğin tüm kütlesinde başlangıç su içeriğinin aynı ve suyun difüzyon katsayısının zamanla değişmediği varsayılmıştır. Bu koşullar altında Eş.8 için serinin ilk terimini almak yeterli olacaktır. Böylece Eş.8, Eş.9’a sadeleştirilebilir.

$$M_R = \frac{M_i - M_e}{M_i - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n^2} \right) \exp \left(- \frac{D_{eff} n^2 \pi^2}{r^2} t \right) \quad (8)$$

$$M_R = \frac{M_i - M_e}{M_i - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \exp \left(- \frac{D_{eff} \pi^2}{r^2} t \right) \quad (9)$$

Eş.9’daki M_R nem oranını, M_i , M_t ve M_e sırasıyla çileklerin başlangıç, herhangi bir kurutma süresindeki ve denge halindeki su içeriğini (g su/g KM), D_{eff} su difüzyon katsayısını (m^2/s), r temsili kürenin yarıçapını (m) ve t ise kurutma süresini (s) ifade etmektedir.

Eş.9’un logaritması alındığında Eş.10 elde edilir ve $\ln(M_R)$ değerlerine karşılık gelen kurutma süreleri grafiğe aktarıldığında elde edilen denklemin eğimi Eş.11’e eşit olur. Böylece Eş.11 kullanılarak kurutma ortamındaki çilekler için suyun difüzyon katsayısı hesaplanmıştır.

$$\ln(M_R) = \ln \left(\frac{6}{\pi^2} \right) - \frac{D_{eff} \pi^2}{r^2} t \quad (10)$$

$$\text{Eğim} = \frac{D_{eff} \pi^2}{r^2} \quad (11)$$

Farklı sıcaklıklara ilişkin D_{eff} değerleri Eş.11 kullanılarak hesaplanmıştır. Farklı sıcaklıklardaki kurutma deneylerinden çilek için elde edilen D_{eff} değerleri kullanılarak suyun difüzyonu için gerekli aktivasyon enerjisi hesaplanabilmektedir. Bunun için Eş.12’de verilen Arrhenius eşitliği kullanılmıştır (Gamboa-Santos ve ark., 2014).

$$D_{eff} = D_0 \exp \left(- \frac{E_a}{RT} \right) \quad (12)$$

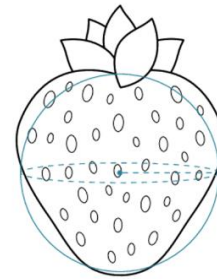
Söz konusu eşitlikte D_0 Arrhenius sabitini (m^2/s), R evrensel gaz sabitini (J/mol.K), E_a su difüzyonunun aktivasyon enerjisini (J/mol) ve son olarak T kurutma sıcaklığını (K) ifade etmektedir. Eş.12’nin logaritması alınarak elde edilen $\ln(D_{eff})$ ve $1/T$ değerleri grafiğe işlendiğinde elde edilen denklemin eğimi Eş.13’e eşit olur.

$$\text{Eğim} = \frac{E_a}{R} \quad (13)$$

Çilek ortamında suyun difüzyon enerjisi Eş.13 kullanılarak kJ/mol cinsinden hesaplanmıştır.

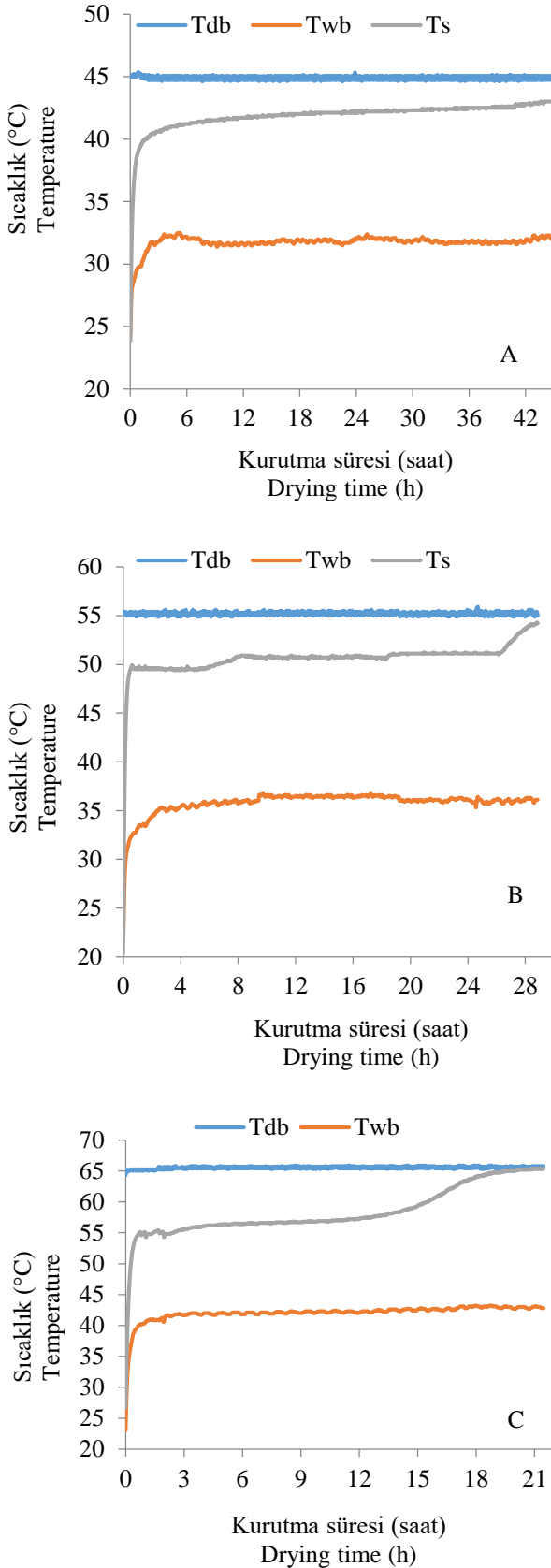
İstatistiksel Analizler

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar için SPSS 22 (SPSS Inc., USA) paket programı kullanılarak varyans analizi gerçekleştirilmiş ve uygulamalar arasındaki farklılık Duncan çoklu karşılaştırma testine göre belirlenmiştir. Kurutulmuş çileklere uygulanan analizlerden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişki düzeyi Pearson korelasyon testi ile ortaya konulmuştur.



Şekil 1. Çilek meyvesi ve küre şekli arasındaki benzerliğin temsili grafiği

Figure 1. A representative figure for analogy between strawberry fruit and sphere



Şekil 2. Kurutma süresince kuru (T_{db}) ve ıslak (T_{wb}) termometre değerleri ile çilek örneğinin (T_{sb}) sıcaklık değişimi (A: 45°C; B: 55°C; C: 65°C)

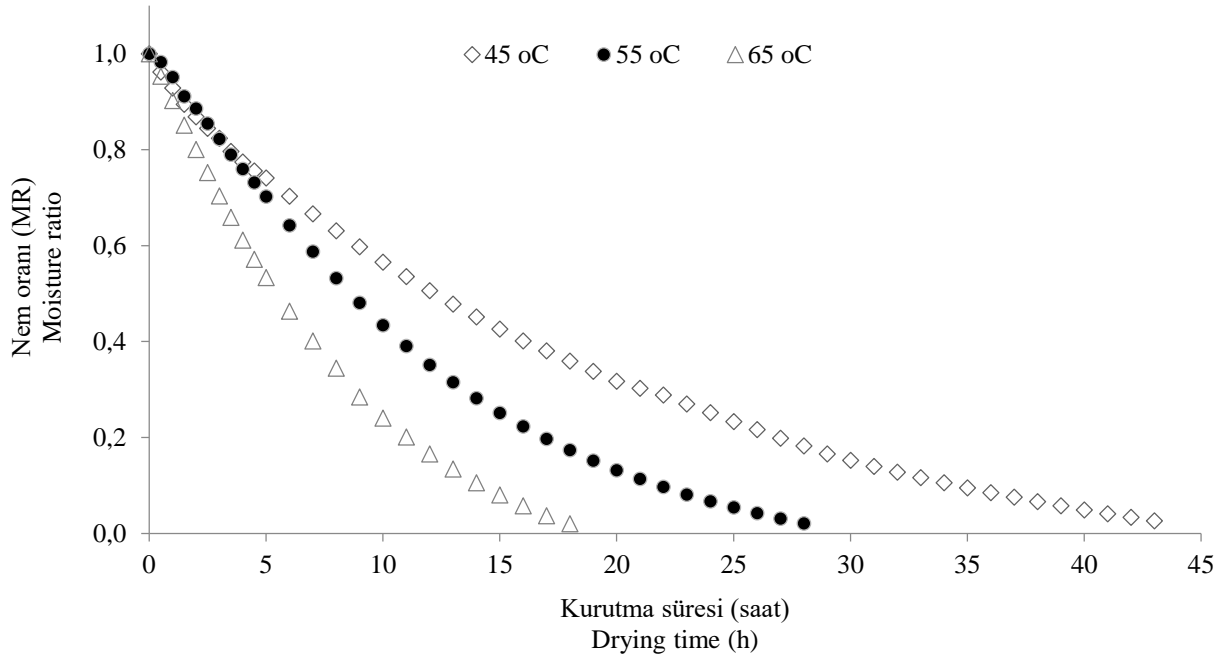
Figure 2. Change in dry (T_{db}) and wet (T_{wb}) bulb thermometer values and temperature of strawberry samples (T_s) during drying (A: 45°C; B: 55°C; C: 65°C)

Bulgular ve Tartışma

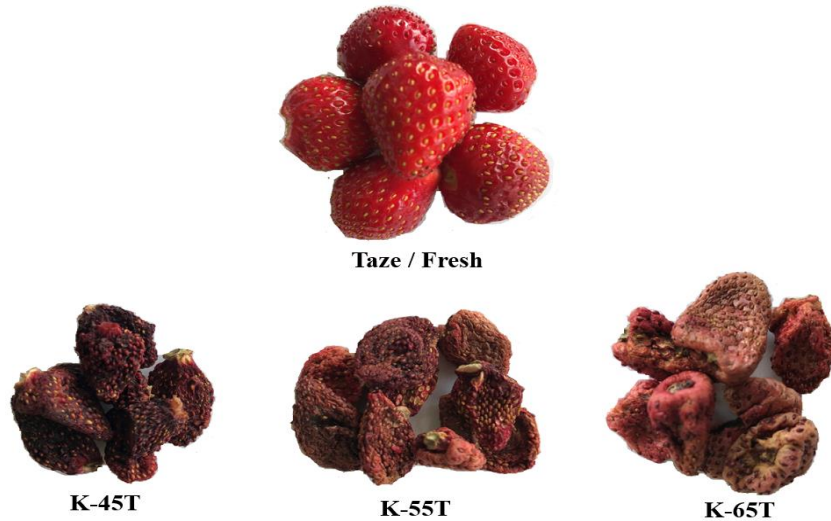
Kurutma Süresince Sıcaklık Değerlerinde Meydana Gelen Değişim

Çalışmada kullanılan üç farklı kurutma ortamında bulunan çilek örneği ile ıslak (T_{wb}) ve kuru (T_{db}) termometre sıcaklık değerlerindeki değişim Şekil 2’de verilmiştir. Çileklerin kurutulması süresince kurutucu sıcaklığının kararlı bir şekilde öngörülen sıcaklık değerlerinde olduğu belirlenmiştir. K-45T, K-55T ve K-65T için T_{db} değerleri sırasıyla 44,9, 55,2 ve 65,5°C olarak hesaplanmış iken kararlı hal koşullarında T_{wb} değerleri ise sırasıyla 31,8, 36,0 ve 42,2°C olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1). Çilek örneklerinin sıcaklık değerleri (T_s) K-45T koşullarında kısa sürede ~40°C ulaştıktan sonra ortam sıcaklığı (T_{db}) değerine düşük lineer bir eğimle yükseldikleri belirlenmiştir. K-55T koşullarında çilek örneklerinin T_s değeri ~50°C değerinde uzunca bir süre kaldıktan sonra kurutmanın 25. ve 28. saatleri arasında asimptotik olarak ortam sıcaklığı ile dengeye gelmiştir. Son olarak aynı eğilim K-65T koşullarında kurutulan çilek örneklerinde de gözlemlenmiştir. K-65T ortamındaki çileklerin sıcaklığı ~55°C değerinde belirli bir süre kaldıktan sonra kurutmanın özellikle 12. ve 20. saatleri arasında artışlar başlayarak ortam sıcaklığı ile asimptotik olarak denge koşulları meydana gelmiştir.

Gıdaların kurutulması sırasında nem kaybı kütle ve enerji aktarımının kombinasyonu ile meydana gelmektedir. Bir başka ifade ile nemli gıda ile hava arasında bir kütle ve enerji aktarımı ilişkisi vardır. Şekil 2’den de anlaşılacağı gibi gıdaların kuruması sırasında sıcaklık üç farklı aşamada değişim göstermektedir. İlk aşamada sıcaklık belirli bir değere kadar hızlı artış sağlamakta, ikinci aşamada sıcaklık denge değerinde uzunca bir süre sabit kalırken son aşamada ortam sıcaklığı ile asimptotik olarak bir denge durumuna gelmektedir. Çalışma materyali özelinde ise sıcak havadan çileğe ısı aktarımı sonucu sıcaklıkta artış meydana gelirken; çilekten de su buharı şeklinde havaya nem aktarımı ile çilekte ağırlık kaybı meydana gelmektedir. Sıcaklıktaki bu artış belirli bir süre sonunda ortamın kuru termometre sıcaklığının altında dengeye gelmektedir (Şekil 2). Söz konusu sıcaklık denge koşullarında sıcak havadan kazanılan enerji ile çilekten buharlaşma gizli ısısı ile kaybedilen enerji neredeyse eşit olduğundan çileğin sıcaklığındaki değişimi sınırlı tutmaktadır. Çileğin dış yüzeyindeki ve komşu tabakalardaki suyunun uzaklaşmasından sonra daha iç tabakalardaki suyun dış yüzeye doğru difüzyonu başlamaktadır. Bu gerçekleşirken çileğin bileşimini oluşturan maddeler buna direnç gösterir ve bunun neticesinde suyun yüzeyden buharlaşma hızı azalmaya başlar. Böylece çileğin sıcak havadan kazandığı ısı suyun buharlaşması sırasında kaybettiği ısıdan daha yüksek olmaya başlamasından ötürü son aşamadaki sıcaklık artışı meydana gelmektedir. Sonuç olarak kurutma ortamından elde edilen sıcaklık verilerinden T_{db} ve T_s birbirine yakın değerlere sahip olduğunda kurutulan gıdadan su kaybının neredeyse durma noktasında olduğunu göstermektedir. Bir başka deyişle söz konusu ortam sıcaklığındaki (T_{db}) kurutma işleminin sonlandığını ifade etmektedir.



Şekil 3. Farklı sıcaklıklarda kurutulan çileklerin nem değişimi
Figure 3. Change in moisture content of strawberries dried at different temperatures



Şekil 4. Taze ve kurutulmuş çilek örneklerinin temsili görüntüleri (K-45T, K-55T ve K-65T sırasıyla 45, 55 ve 65°C’de kurutulan çilek örnekleridir)

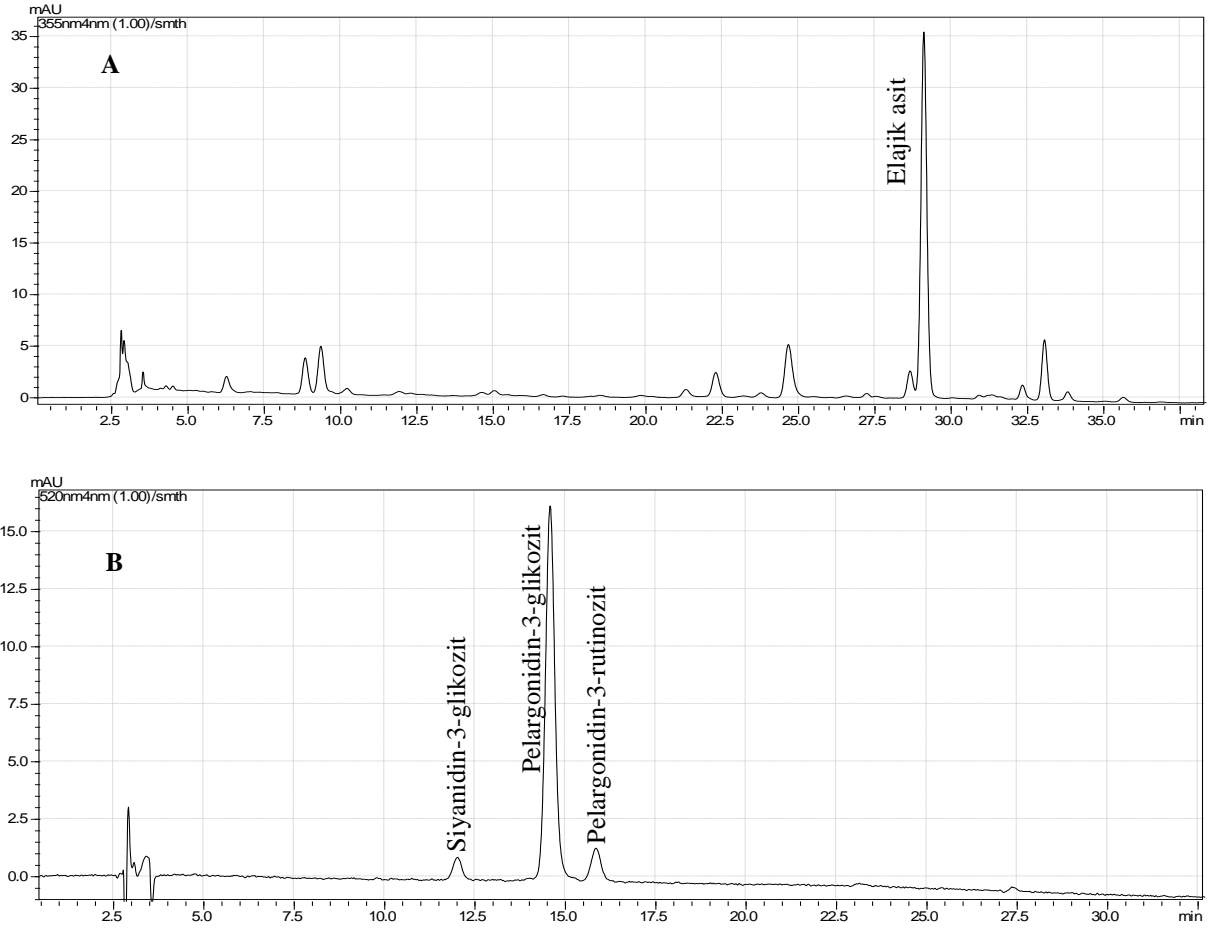
Figure 4. Representative images of fresh and dried strawberry samples (K-45T, K-55T and K-65T are the strawberry samples dried at 45, 55 and 65°C, respectively)

Kurutma Süresince Nem İçeriğinde Meydana Gelen Değişim

Çalışmada kullanılan üç farklı kurutma ortamında bulunan çilek örneklerine ilişkin kuruma eğrileri Şekil 3’te verilmiş olup kurutma ortamının sıcaklığı arttıkça çileklerin denge nemine ulaşma süresinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Çileklerin denge nemine ulaşma süresi 45, 55 ve 65°C için sırasıyla kurutmanın 45., 30. ve 20. saatinin hemen altında olmuştur. Sıcaklık artışı ile kurutma ortamındaki havanın bağıl nem değeri önemli ölçüde azalırken (Çizelge 1) görece yüksek sıcaklık çileklerden suyun buharlaşma hızını arttırarak daha kısa sürede kurumalarına olanak tanımıştır.

Çileklerin farklı kurutma ortamlarındaki kuruma kinetiği parametreleri Çizelge 2’de verilmiştir. Kurutma denemesinde kullanılan çileklerin en ve boy değerleri sırasıyla 2,23 ve 3,15 cm olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada

çileklerin kuruma kinetiği parametrelerinin hesabı için çileğe en yakın geometrik benzerliğe sahip olan küre kullanılmıştır. Çileklerin en ve boy verileri kullanılarak ortalama çapları ise 2,69 cm olarak hesaplanmıştır. Nem oranı ve kurutma süresi verileri grafiğe işlenerek oluşturulan kuruma eğrilerinin eğim değerleri kullanılarak farklı sıcaklıktaki kurutma ortamlarının D_{eff} değerleri $3,69-9,75 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında hesaplanmıştır (Çizelge 2). Beklenildiği gibi kurutma ortamının sıcaklığının artmasına paralel olarak çilek dokusundan suyun buharlaştığı dış yüzeye doğru difüzyonunu arttırmıştır. Farklı kurutma sıcaklıklarına ilişkin difüzyon katsayı değerleri kullanılarak gerçekleştirilen hesaba göre çilekte bulunan suyun difüzyonu için gerekli olan aktivasyon enerjisi (E_a) 43,42 kJ/mol olarak belirlenmiştir ($R^2=0,998$).



Şekil 5. Çilekte tespit edilen fenolik bileşenlerin farklı dalga boylarındaki HPLC kromatogramları (A: 355 nm; B: 520 nm)
Figure 5. The HPLC chromatograms of the phenolic compounds at different wavelengths identified in strawberry (A: 355 nm; B: 520 nm)

Çizelge 1. Farklı sıcaklıktaki kurutma ortamlarına ilişkin bazı psikrometrik parametreler

Table 1. Some psychrometric parameters regarding with drying atmospheres at different temperatures

*	K-45T	K-55T	K-65T
Kuru termometre (T_{db} , °C) Dry bulb thermometer	44,9±0,1	55,2±0,2	65,5±0,2
Islak termometre (T_{wb} , °C) Wet bulb thermometer	31,8±0,4	36,0±0,6	42,2±0,7
Bağıl nem (%) ** Relative humidity	40,4	29,6	26,6

*K-45T, K-55T ve K-65T sırasıyla 45, 55 ve 65°C'de kurutulan çilek örneklerini temsil etmektedir. ± değerleri standart sapmadır. * K-45T, K-55T and K-65T are representing the strawberry samples dried at 45, 55 and 65°C, respectively. ± values are standard division. **Deneyisel sonuçlardan elde edilen T_{db} ve T_{wb} değerleri kullanılarak hesaplama yapılmıştır. **The obtained experimental results of T_{db} and T_{wb} were used for calculation.

Çizelge 2. Farklı sıcaklıklarda kurutulan çileklerin kuruma kinetiğine ilişkin bulgular

Table 2. Drying kinetic findings of strawberries dried at different temperatures

*	K-45T	K-55T	K-65T
En (cm) Width		2,23±0,24	
Boy (cm) Height		3,15±0,05	
Küre çapı (cm) Diameter of sphere		2,69±0,13	
Eğim (1/saat) Slope (1/h)	0,0725±0,0061	0,1283±0,0125	0,1915±0,0173
R^2	0,97	0,97	0,96
$D_{eff} \times 10^{10}$ (m ² /s)	3,69±0,31	6,53±0,64	9,75±0,88
Ea (kJ/mol)		43,42±6,40	

*K-45T, K-55T ve K-65T sırasıyla 45, 55 ve 65°C'de kurutulan çilek örneklerini temsil etmektedir. ± değerleri standart sapmadır. * K-45T, K-55T and K-65T are representing the strawberry samples dried at 45, 55 and 65°C, respectively. ± values are standard division.

Çizelge 3. Farklı kurutma sıcaklıklarında kurutulmuş çileklerin bazı kalite özelliklerinde meydana gelen değişimler
Table 3. Changes in some quality attributes of strawberries dried at different drying temperatures

Kalite Özellikleri [‡] (Quality attributes)		Taze (Fresh)	K-45T	K-55T	K-65T
<i>L</i> *		31,60±3,66 ^a	23,78±2,96 ^b	30,18±5,29 ^a	32,69±3,08 ^a
<i>a</i> *		35,94±3,29 ^a	16,72±3,49 ^c	20,87±2,59 ^b	22,22±4,35 ^b
<i>b</i> *		19,58±4,43 ^a	7,83±2,90 ^c	14,11±3,89 ^b	17,29±2,78 ^a
Hue*		28,29±4,31 ^b	24,43±4,74 ^b	33,67±7,87 ^a	38,17±6,23 ^a
<i>C</i> *		41,04±4,57 ^a	18,52±4,29 ^c	25,41±3,18 ^b	28,30±4,16 ^b
Δ <i>E</i> *		---	23,98±4,69 ^a	17,21±2,90 ^b	14,60±3,95 ^c
<i>a</i> _w		0,917±0,021 ^a	0,565±0,004 ^b	0,508±0,014 ^c	0,506±0,018 ^c
Kuru madde (%) (Dry matter)		10,20±1,80 ^c	86,72±0,34 ^b	91,48±2,38 ^a	93,40±1,07 ^a
Biyoaktif bileşenler (mg/100g KM) Bioactive compounds (mg/100g DM)	TMA	124,4±4,2 ^a	49,0±1,5 ^b	34,8±1,3 ^c	29,8±3,6 ^d
	Toplam flavonoid	188,5±4,9 ^a	127,8±3,6 ^b	121,5±0,5 ^c	114,2±1,3 ^d
	Toplam fenolik	789,4±47,4 ^a	677,6±17,3 ^b	706,8±38,4 ^b	697,3±17,9 ^b
	S3G	5,08±0,14 ^a	3,31±0,07 ^c	4,33±0,14 ^b	4,85±0,28 ^a
	P3G	80,26±1,71 ^a	29,37±1,76 ^b	17,39±0,52 ^c	14,70±0,65 ^d
	P3R	7,72±0,06 ^a	1,80±0,19 ^b	2,00±0,15 ^b	1,76±0,14 ^b
	Elajik asit	17,09±1,03 ^d	23,11±1,35 ^c	37,04±2,18 ^a	30,75±0,24 ^b

[‡] K-45T, K-55T ve K-65T sırasıyla 45, 55 ve 65°C'de kurutulmuş örneklerdir. TMA: toplam monomerik antosiyanin, S3G: siyanidin-3-glukozit, P3G: pelargonidin-3-glukozit, P3R: pelargonidin-3-rutinozid ve *a*_w su aktivitesini ifade etmektedir. ± değerleri standart sapmadır. Aynı satırdaki farklı harfler kurutma sıcaklıkları arasındaki farkın önemli olduğunu belirtmektedir (P<0,05). [‡] K-45T, K-55T and K-65T are respectively the samples dried at 45, 55 and 65°C. TMA is total monomeric anthocyanins, S3G is cyanidin-3-glocoside, P3G is pelargonidin-3-glucoside, P3R: pelargonidin-3-rutinoside, and *a*_w is water activity. ± values are standard division. The difference letters on the same row indicate the significant difference between drying temperatures (P<0,05).

Çizelge 4. Kurutma sıcaklığı ile kalite özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları
Table 4. Correlation coefficients between drying temperatures and quality attributes

	<i>a</i> *	<i>b</i> *	Hue*	<i>C</i> *	Δ <i>E</i> *	<i>a</i> _w	Toplam fenolik
<i>L</i> *	0,610**	0,840**	0,689**	0,791**	-0,766**	-0,546	0,274
<i>a</i> *		0,638**	0,254	0,915**	-0,937**	-0,467	0,052
<i>b</i> *			0,895**	0,893**	-0,829**	-0,618	0,156
Hue				0,612**	-0,535**	-0,395	0,197
<i>C</i> *					-0,976**	-0,589	0,103
Δ <i>E</i> *						0,620	-0,167
<i>a</i> _w							-0,536
Toplam fenolik							
TMA							
Toplam flavonoid							
S3G							
P3G							
P3R							
Elajik asit							
Kuru Madde							
	TMA	Toplam flavonoid	S3G	P3G	P3R	Elajik asit	Kuru Madde
<i>L</i> *	-0,643**	-0,642	0,812**	-0,708*	-0,126	0,555	0,755*
<i>a</i> *	-0,393	-0,549	0,536	-0,363	0,096	0,130	0,288
<i>b</i> *	-0,712**	-0,649	0,760*	-0,680*	0,030	0,627	0,630
Hue	-0,692**	-0,405	0,519	-0,561	-0,015	0,672*	0,571
<i>C</i> *	-0,580*	-0,654	0,698*	-0,548	0,087	0,377	0,479
Δ <i>E</i> *	0,601*	0,671*	-0,668*	0,549	-0,080	-0,338	-0,443
<i>a</i> _w	0,870**	0,747*	-0,845**	0,907**	-0,235	-0,760*	-0,699*
Toplam fenolik	-0,452	-0,583	0,493	-0,586	-0,067	0,502	0,404
TMA		0,859**	-0,884**	0,961**	0,046	-0,682*	-0,864**
Toplam flavonoid			-0,911**	0,847**	-0,022	-0,502	-0,843**
S3G				-0,949**	-0,028	0,660	0,909**
P3G					-0,018	-0,781*	-0,910**
P3R						0,473	0,037
Elajik asit							0,715*
Kuru Madde							1

Korelasyon 0,05 (*) veya (**) 0,01 düzeyinde önemlidir. TMA: toplam monomerik antosiyanin, S3G: siyanidin-3-glukozit, P3G: pelargonidin-3-glukozit, P3R: pelargonidin-3-rutinozid ve *a*_w su aktivitesini ifade etmektedir. Correlation is significant at the 0,05 (*) or 0,01 (**) level. TMA is total monomeric anthocyanins, S3G is cyanidin-3-glocoside, P3G is pelargonidin-3-glucoside, P3R: pelargonidin-3-rutinoside, and *a*_w is water activity.

Doymaz (2008) tüm çileklerin 50-65°C aralığında kuruma kinetiğini araştırmış, D_{eff} değerlerini $6,42 \times 10^{-10}$ - $1,42 \times 10^{-9}$ m²/s aralığında belirlemiştir. Ayrıca sunulan çalışmada da tespit edildiği gibi kurutma sıcaklığındaki artış ile D_{eff} değerinin belirgin bir şekilde arttığını rapor etmiştir. Gamboa-Santos ve ark. (2014) ultrases destekli kurutma sistemi ile 40-60°C aralığında dilimlenmiş çileği kuruttukları çalışmalarında; D_{eff} değerlerini 0,763-2,293×10⁻¹⁰ m²/s olarak hesaplamışlardır. Aynı çalışmada ultrases desteği olmadan kurutulan çilekler için E_a değeri 25,3 kJ/mol olarak saptanmıştır. Vega-Galvez ve ark. (2008) elma dilimlerinin kuruma kinetiği üzerine yapmış oldukları çalışmada E_a değerini 18,12-43,20 kJ/mol olarak belirlemişlerdir. Öte yandan Babalis ve Belessiotis (2004) incir örneklerinin kuruma davranışını farklı sıcaklıklardaki (55-85°C) tünel kurutucu ortamında ortaya koymuşlardır. Elde ettikleri bulgulara göre; E_a değerini 30,81-48,47 kJ/mol arasında hesaplamışlardır. Sonuç olarak çileğin kuruma kinetiği parametrelerinin belirlendiği bu çalışmada, D_{eff} ve E_a değerleri önceki çalışma bulguları ile uyumluluk içindedir.

Kurutulmuş Çileklerin Kalite Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler

Taze ve kurutulmuş çileklerin fiziksel ve biyoaktif bileşenlerine ilişkin bulgular Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca kalite özellikleri arasındaki ilişki düzeyini tanımlayan korelasyon katsayılarının bulguları Çizelge 4'te sunulmuştur. Son olarak taze ve kurutulmuş çilek örneklerinin temsili görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Çilek örneklerinin L^* değerleri 23,78-32,69 arasında değişiklik göstermiştir. En düşük L^* değeri 45°C'de kurutulmuş çilek örneklerinde tespit edilirken artan sıcaklıkla birlikte bu değerlerde artışlar meydana gelmiştir ($P<0,05$). a^* değeri çilek örnekleri için 16,72-35,94 arasında değişim gösterirken b^* değeri 7,83-19,58 arasında değerler almıştır. Her iki renk değerinde de L^* değerinde olduğu gibi kurutma sıcaklığına bağlı olarak önemli azalışlar tespit edilmiştir ($P<0,05$). Hue^* değeri renk koordinat sisteminde nesnenin hangi temel renge yakın olduğunu derece (°) olarak ifade eden bir renk parametresidir. Taze çileklerde 28,29 olarak belirlenen Hue^* değeri renk koordinat sisteminde I. bölgede bulunan kırmızı renge daha yakındır. Fakat kurutma sıcaklığındaki artışa paralel olarak Hue^* değeri artış göstermiştir ($P<0,05$). Bir başka deyişle çilekle karakterize olan kırmızı temel renginden uzaklaşma söz konusudur. Çileğin kırmızı renginden yapısında barındırdığı antosiyanin bileşenler sorumludur. Bu bileşenlerdeki değişim kurutma sonrasında renk değişimlerinin temel sebeplerindedir. Bu durumu destekleyen bir diğer bulgu kurutulmuş örneklerin antosiyanin içeriği ile Hue^* değerleri arasındaki negatif korelasyondur ($R=-0,810$, $P<0,01$). C^* değeri nesnenin sahip olduğu rengin doygunluğunu ifade eden bir renk parametresidir. Taze çilek örneğinde 41,04 olarak tespit edilen bu değer kurutulmuş örneklerde 18,52-28,30 aralığında belirlenmiştir. Sonuçlara göre; kurutulmuş çileklerin C^* değerinde kurutma sıcaklığına bağlı olarak önemli düzeyde azalışlar gerçekleşmiştir ($P<0,05$). ΔE^* değeri toplam renk farkını tanımlayan bir renk parametresi olup sunulan çalışma için taze çileğin sahip olduğu başlangıç renk değerlerine göre kurutma sonrasında meydana gelen toplam renk değişimini ifade etmektedir. Kurutulmuş çileklerin ΔE^* değeri 14,60-23,98 arasında değişmiş olup kurutma sıcaklığındaki artışa göre azalan bir eğilim

göstermiştir ($P<0,05$). Çileğe has rengini veren doğal renk pigmentleri ile ilişkili TMA sonuçları ve ΔE^* değerleri arasında yüksek düzeyde pozitif korelasyon tespit edilmiştir ($R=0,929$, $P<0,01$).

Mendez-Lagunas ve ark. (2017) kübik olarak kurutulmuş çilekte L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 26,9-28,3, 26,5-34,6 ve 14,6-19,2 arasında belirlemişlerdir. Kurutma sıcaklığının artışı ile sunulan çalışmadan elde edilen bulguların aksine L^* , a^* ve b^* değerlerinde azalma meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Bir başka çalışmada kurutma sonrasında elde edilen çilek örneklerinde L^* , C^* ve Hue^* değerlerinde önemli artışlar tespit edilmiştir. Aynı çalışmada ΔE^* değerleri 15,86-18,17 arasında ve kurutma sıcaklığındaki artışa (25-60°C) bağlı olarak ΔE^* değerinde azalış rapor edilmiştir (Krzykowski ve ark., 2020). Kang ve ark. (2021) dilimlenmiş çilekleri farklı kurutma sistemlerinde kurutmuş ve elde ettikleri bulgulara göre L^* değerinde genellikle artış, a^* ve b^* değerlerinde azalış gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Shrivastav ve ark. (2021) kırınım pencere kurutma sistemi ile çilek püresini kuruttukları çalışmalarında L^* değerinde artma; a^* , b^* , C^* ve Hue^* değerlerinde önemli azalmalar tespit etmişlerdir. Çalışmalar arasındaki farklılığın temel sebebi çileğin kurutulması sırasında uygulanan boyut farkı ile ilişkili olabilir. Sunulan çalışmada tüm halde çilek kurutulmuşken diğer çalışmalarda küp halde doğranmış ve püre çilek kullanılmıştır.

Taze çilek örneklerinin kurutmanın başında a_w değerleri 0,917 olarak tespit edilmişken kurutma sonunda 0,506-0,565 arasında değişim göstermiştir. Öte yandan kurutma sonrasında örneklerin kuru madde oranı %86,72-93,40 arasında tespit edilmişken en yüksek değer 65°C'de kurutulan çilekler için elde edilmiştir ($P<0,05$). Bir gıda ürününün kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik stabilitesi sahip olduğu a_w değeri doğrudan ilişkilidir. Özellikle mikrobiyolojik stabilite açısından a_w değerinin 0,6'dan küçük olması gerekmektedir (Sadowska ve ark., 2020).

Çilek insan sağlığına önemli katkı sağlayan biyoaktif bileşenler bakımından önemli bir kaynaktır. Farklı sıcaklıklarda kurutulan çileklerin biyoaktif bileşen içerikleri Çizelge 3'te verilmiştir. Çileğe rengini veren monomerik antosiyaninlerin toplam miktarı (TMA) 29,8-124,4 mg/100g KM aralığında tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre TMA değeri üzerine kurutma sıcaklığı önemli düzeyde etki etmiş ve sıcaklık artışı ile TMA değerinde belirgin azalmalar gerçekleşmiştir ($P<0,05$). Çilekteki fenolik asitler dışında kalan fenol bileşenlerin miktarını tanımlayan toplam flavonoid değeri 114,2-188,5 mg/100g KM aralığında belirlenmiştir. TMA sonuçları ile benzer şekilde kurutma sıcaklığının artışı ile birlikte belirgin azalışlar toplam flavonoid içinde tespit edilmiştir ($P<0,05$). Toplam fenolik değerleri 677,6-789,4 mg/100g KM aralığında değişim göstermiştir. Kurutulmuş çilek örneklerinde bu değer tazeye göre daha düşük belirlenmiş olmasına rağmen kurutma sıcaklıkları arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Sunulan çalışma materyali olan çilekte üç antosiyanin bileşenin yanında çilekte yüksek düzeyde bulunan elajik asit ayrıca tanımlanmıştır. Çilek ekstraktı örnekleri için elde edilen temsili kromatogramlar Şekil 5'te verilmiştir. Çilekte en baskın antosiyanin bileşenin pelargonidin-3-glikozit (P3G, 80,26 mg/100g KM) olduğu tespit edilmişken bunu pelargonidin-3-rutinozot (P3R, 7,72 mg/100g KM) ve siyanidin-3-glikozit

(S3G, 5,08 mg/100g KM) takip etmiştir. Ayrıca taze çilekte 17,09 mg/100g KM düzeyinde elajik asit belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığına bağlı olarak en baskın antosiyanin olan P3G içeriğinde önemli düzeyde azalmalar tespit edilmiştir ($P<0,05$). K-65T koşullarında kurutulan çileklerde yüksek düzeyde azalma ile P3G içeriği 14,70 mg/100g KM olarak belirlenmiştir. P3R değerlerinde kurutma sıcaklığına bağlı olarak önemli fark tespit edilmemiştir. Öte yandan S3G değerleri kurutulmuş örneklerde tazedden çilekten daha düşük iken artan kurutma sıcaklığına bağlı olarak artış eğilimi göstermiştir ($P<0,05$). Bu durum düşük sıcaklıkta güvenli a_w aralığına erişim süresinin uzaması ile açıklanabilir. Çünkü kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik stabilitenin sağlanabilmesi için a_w değerinin güvenli aralığa ($<0,6$) düşürülmesi gerekir. Düşük sıcaklıkta kurutma gerçekleştirildiğinde bu değere erişim süresi uzamakta ve S3G'nin arzu edilmeyen reaksiyonlara dahil olduğu düşünülmektedir. Fakat bunun ek çalışma ve analizlerle ortaya konulması gerekmektedir. Öte yandan kurutulmuş çileklerin elajik asit değerleri (23,11-37,04 mg/100g KM) taze çileğe göre belirgin bir şekilde daha yüksek belirlenmiştir. En yüksek elajik asit değeri K-55T koşullarında kurutulan çilek örneklerinde tespit edilmişken bunu K-65T ve K-55T koşullarında kurutulan çilek örnekleri takip etmiştir ($P<0,05$).

Çukurova bölgesinde yetiştirilen çileklerin önemli miktarda fenolik asitleri ve flavanoidleri içerdiği daha önceki araştırmalarda rapor edilmiştir. Bu çalışmalarda çileğin toplam fenolik ve TMA içeriği çeşide ve hasadın gerçekleştirildiği döneme bağlı olarak taze ağırlık cinsinden sırasıyla 669,5-2148,8 mg/kg ve 49,5-362,2 mg/kg arasında tespit edilmiştir. Ayrıca çilekte bulunan fenolik bileşenlerden elajik asit içeriğinin 2,84-44,6 mg/kg, P3G içeriğinin 33,7-147,7 mg/kg, P3R içeriğinin 4,2-58,9 mg/kg ve son olarak S3G içeriğinin 0,28-6,79 mg/kg arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Sarıdaş, 2021; Sarıdaş ve ark., 2022). Çileğin kübik olarak kurtulduğu bir çalışmada çileğin TMA içeriği 50 ve 60°C kurutma koşullarında sırasıyla %26 ve %45 düzeyinde azalmışken toplam fenolik içeriğindeki azalma sırasıyla %60,9 ve %78,1 düzeyinde gerçekleşmiştir (Mendez-Lagunas ve ark., 2017). Araştırmacılar biyoaktif bileşenlerdeki bu azalışları kurutma sırasında gerçekleşen oksidasyon reaksiyonları ve güvenli a_w değerine kadar geçen sürede aktivite gösteren polifenol oksidaz ile ilişkilendirmişlerdir. Ayrıca çileğin kurutulması sırasında biyoaktif bileşenlerin korunması açısından yüksek sıcaklığın tercih edilmemesi gerektiğini vurgulamışlardır. Çileğin püre haline getirildikten sonra kurutulduğu bir başka çalışmada; kurutma işlemi ile birlikte toplam fenolik içeriğinde %16,9 düzeyinde bir azalış tespit edilmiştir (Shrivastav ve ark., 2021). Krzykowski ve ark. (2020) geleneksel kurutma yöntemini 25-60°C arasında çilek kurutma da kullandığı çalışmaları; kuru çileğin başlangıç içeriğine göre toplam fenolik içeriğinin %19,1-52,6 arasında azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca kurutma sıcaklığındaki artışın biyoaktif bileşenlerin parçalanmasını belirgin bir şekilde arttırdığını vurgulamışlardır. Sunulan çalışmada; TMA içeriğindeki azalma %60,6-76,0 arasında ve toplam fenolik içeriğindeki azalma ise %10,5-14,2 arasında tespit edilmiştir. Özellikle antosiyanin bileşenlerdeki kayıplar kurutma sıcaklığındaki artışlara bağlı olarak önemli

düzye artmıştır. Benzer bulgular Sadowska ve ark. (2020) tarafından farklı kurutma tekniklerinin çilek tozu kalitesi üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada raporlanmıştır. Geleneksel kurutma yöntemi (70°C, 25 saat) ile elde ettikleri çilek tozlarında toplam fenolik, flavanoid ve antosiyanin içeriklerinin tazeye göre sırasıyla 6,4, 6,2 ve 13,5 kat azaldığını tespit etmişlerdir. Öte yandan geleneksel kurutma ile elde edilen çilek tozlarında elajik asit içeriğini 64,7 µg/g KM ile tazeye göre (68,9 µg/g KM) daha az tespit etmişken dondurarak kurutma yönteminde ise bu değer 58,5 µg/g KM düzeyinde olmuştur. Sunulan çalışmanın bulgularına göre; elajik asit kuru üründe tazedden daha yüksek iken K-55T koşullarında kurutulan örneklerde en yüksek miktarda belirlenmiştir. Bu durum çilekte de bulunan gallik asidin uygun sıcaklık sağlanmasıyla elajik aside dönüşümü ile açıklanabilir. Elajik asit gallik asidin bir dimeridir (Evtuyun ve ark., 2020) ve sunulan çalışmanın sonuçlarına göre kurutma ortamının sıcaklığı gallik asidin elajik aside dönüşümünü desteklediği söylenebilmektedir. Szwajgier ve ark. (2014) bazı meyvelerden (aronya, yaban mersini, kiraz ve ahududu) elde edilen reçellerde ısıtma süresine bağlı olarak elajik asit içeriğinde önemli artışlar olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak kurutma işlemi sırasında, çileklerin antosiyanin bileşenlerinde seçilen kurutma sıcaklığına bağlı olarak önemli düzeyde kayıplar meydana gelirken elajik asidin içeriğinde artışların gerçekleşebileceği anlaşılmaktadır.

Sonuç

Çukurova Bölgesinde yetiştirilen çileklerin farklı sıcaklıklardaki kuruma davranışları matematiksel yaklaşımlarla ortaya konulmuş ve kurutma kinetiğine ilişkin parametreler hesaplanmıştır. Ayrıca kurutma sıcaklığının çileğin bazı fiziksel kalite özellikleri ile biyoaktif bileşenleri üzerine etkisi belirlenmiştir. Çileğe kendine has rengini veren antosiyanin maddelerin kurutma sıcaklığına bağlı olarak önemli düzeyde kayba uğradığı tespit edilmiştir. Bu durumun çileğin renk değerlerinde radikal değişikliklere sebebiyet verdiği ayrıca gözlemlenmiştir. Öte yandan, çileğin elajik asidi yüksek düzeyde içerdiği ve beklenenin aksine tüm kurutma sıcaklıklarından elde edilen örneklerde elajik asidin tazeye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum çilekte bulunan gallik asidin elajik aside dönüşümü ile açıklanmaya çalışılmıştır. Fakat bu konu hakkında daha fazla destekleyici araştırmaya ihtiyaç vardır.

Sonuç olarak çileğin kurutulması sırasında sıcaklığın önemli bir parametre olduğu ve biyoaktif bileşenlerde kaybın sınırlandırılması için ılımlı kurutma sıcaklıklarının ($<65^{\circ}\text{C}$) tercih edilmesi gerektiğini araştırma bulguları ortaya koymuştur.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan çilek materyallerini sağlayarak desteklerini sunan Çukurova Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölümünden Doç. Dr. Mehmet Ali SARIDAŞ'a teşekkür ederim. Ayrıca makalenin son halini okuyarak yayına hazır hale getirilmesinde katkı sunan Çukurova Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünden Prof. Dr. Asiye AKYILDIZ'a teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Abdullakassim P, Songchitsomboon S, Techagumpuch M, Balee N, Swatsitang P, Sungpuag P. 2007. Antioxidant capacity, total phenolics and sugar content of selected Thai health beverages. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 58(1): 77-85. <https://doi.org/10.1080/09637480601140946>.
- Afrin S, Gasparrini M, Forbes-Hernandez TY, Reboredo-Rodriguez P, Mezzetti B, Varela-Lopez A, Battino M. 2016. Promising Health Benefits of the Strawberry: A Focus on Clinical Studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(22): 4435-4449. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00857>.
- Ağçam E, Akyıldız A. 2015. Effects of different solvents and acid concentrations on extraction of anthocyanins from black carrot pomace. *The Journal of Food*, 40(3): 149-156. <https://doi.org/10.15237/gida.GD14064>.
- Babalís SJ, Belessiotis VG. 2004. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*, 65(3): 449-458. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.005>.
- Basu A, Rhone M, Lyons TJ. 2010. Berries: emerging impact on cardiovascular health. *Nutrition Reviews*, 68(3): 168-177. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00273.x>.
- Chirife J, Fontana AJ. 2020. Introduction: Historical Highlights of Water Activity Research. In: Barbosa-Cánovas GV, Fontana AJ, Schmidt SJ, Labuza TP (Eds.), *Water activity in foods fundamentals and applications*. USA: Blackwell Publishing.
- Crank, J. 1975. *The mathematics of diffusion*. Clarendon Press, England.
- Doymaz İ. 2008. Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(5): 914-919. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2007.02.003>.
- Evtuyugin DD, Magina S, Evtuguin, DV. 2020. Recent Advances in the Production and Applications of Ellagic Acid and Its Derivatives. A Review. *Molecules*, 25(12). <https://doi.org/10.3390/molecules25122745>.
- Gamboa-Santos J, Montilla A, Cárcel JA, Villamiel M, Garcia-Perez JV. 2014. Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 128: 132-139. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.12.021>.
- Giampieri F, Alvarez-Suarez JM, Battino M. 2014. Strawberry and Human Health: Effects beyond Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(18): 3867-3876. <https://doi.org/10.1021/jf405455n>.
- Giampieri F, Alvarez-Suarez JM, Mazzoni L, Romandini S, Bompadre S, Diamanti J, Battino M. 2013. The potential impact of strawberry on human health. *Natural Product Research*, 27(4-5): 448-455. <https://doi.org/10.1080/14786419.2012.706294>.
- Giampieri F, Tulipani S, Alvarez-Suarez JM, Quiles JL, Mezzetti B, Battino M. 2012. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1): 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009>.
- Giusti MM, Wrolstad RE. 2001. Characterization and Measurement with UV-Visible Spectroscopy. In: Wrolstad RE, Schwartz SJ (Eds.), *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* (pp. 1-13). New York: John Wiley and Sons.
- Henning SM, Seeram NP, Zhang YJ, Li LY, Gao K, Lee RP, Heber D. 2010. Strawberry Consumption Is Associated with Increased Antioxidant Capacity in Serum. *Journal of Medicinal Food*, 13(1): 116-122. <https://doi.org/10.1089/jmf.2009.0048>.
- Ji T, Zhang R, Dong X, Sameen DE, Ahmed S, Li S, Liu Y. 2020. Effects of Ultrasonication Time on the Properties of Polyvinyl Alcohol/Sodium Carboxymethyl Cellulose/Nano-ZnO/Multilayer Graphene Nanoplatelet Composite Films. *Nanomaterials* (Basel), 10(9). <https://doi.org/10.3390/nano10091797>.
- Kang SW, Hwang JH, Chung KH, Park SH. 2021. Evaluation of infrared assisted freeze drying for strawberry snacks: drying kinetics, energy efficiency and quality attributes. *Food Science and Biotechnology*, 30(8): 1087-1096. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00949-1>.
- Krzykowski A, Dżiki D, Rudy S, Gawlik-Dżiki U, Janiszewska-Turak E, Biernacka B. 2020. Wild Strawberry *Fragaria vesca* L.: Kinetics of Fruit Drying and Quality Characteristics of the Dried Fruits. *Processes*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/pr8101265>.
- Maraei RW, Elsayy KM. 2017. Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by gamma-irradiation. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10(1): 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2016.12.004>.
- Mendez-Lagunas L, Rodriguez-Ramirez J, Cruz-Gracida M, Sandoval-Torres S, Barriada-Bernal G. 2017. Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. *Food Chemistry*, 230: 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.010>.
- Nayak SL, Sethi S, Sharma RR, Sharma RM, Singh S, Singh D. 2020. Aqueous ozone controls decay and maintains quality attributes of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Journal of Food Science and Technology*, 57(1): 319-326. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04063-3>.
- Sadowska A, Świdorski F, Hallmann E. 2020. Bioactive, Physicochemical and Sensory Properties as Well as Microstructure of Organic Strawberry Powders Obtained by Various Drying Methods. *Applied Sciences*, 10(14). <https://doi.org/10.3390/app10144706>.
- Sandhu J, Parikh A, Takhar PS. 2016. Experimental determination of convective heat transfer coefficient during controlled frying of potato discs. *Lwt-Food Science and Technology*, 65: 180-184. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.007>.
- Sarıdaş MA. 2021. Seasonal variation of strawberry fruit quality in widely grown cultivars under Mediterranean climate condition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103733>.
- Sarıdaş MA, Ağçam E, Akbaş FC, Akyıldız A, Paydaş Kargı S. 2022. Comparison of superior bred strawberry genotypes with popular cultivars in terms of fruit bioactive compounds during the wide harvest dates. *South African Journal of Botany*, 147: 142-152. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.01.010>.
- Shrivastav S, Ganorkar PM, Prajapati KM, Patel DB. 2021. Drying kinetics, heat quantities, and physiochemical characteristics of strawberry puree by Refractance Window drying system. *Journal of Food Process Engineering*, 44(9). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13776>.
- Singh RP, Heldman DR. 2009. *Introduction to Food Engineering*. Glasgow Academic Press.
- Szwajgier D, Halinowski T, Helman E, Tylus K, Tymcio A. 2014. Influence of different heat treatments on the content of phenolic acids and their derivatives in selected fruits. *Fruits*, 69(2): 167-178. <https://doi.org/10.1051/fruits/2014004>.
- Van Koerten KN, Somsen D, Boom RM, Schutyser MAI. 2017. Modelling water evaporation during frying with an evaporation dependent heat transfer coefficient. *Journal of Food Engineering*, 197: 60-67. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.007>.
- Vega-Galvez A, Miranda M, Bilbao-Sainz C, Uribe E, Lemus-Mondaca R. 2008. Empirical Modeling of Drying Process for Apple (Cv. Granny Smith) Slices at Different Air Temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32(6): 972-986. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00227.x>.
- Yoon YS, Ameer K, Song BS, Kim JK, Park HY, Lee KC, Park JH. 2020. Effects of X-ray irradiation on the postharvest quality characteristics of 'Maehyang' strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Food Chemistry*, 325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126817>.
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64: 555-559.