

Changes in the Physicochemical and Antioxidant Properties of Granny Smith Apples Depending on Drying Conditions

Mehmet Yetişen^{1*}, Ümmügülsüm Kaplan¹, Cem Baltacıoğlu¹

¹ Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Niğde, Türkiye

Abstract

In this study, the effects of air fryer and hot air drying methods applied at different temperatures (50, 60, and 70°C) on the physicochemical and bioactive properties of Granny Smith apple slices were comparatively investigated. The results showed that the air fryer method provided more effective drying performance compared to hot air drying due to its lower water activity (0.186–0.189) and moisture content (5.72–8.01%). In contrast, samples dried in an hot air drying exhibited higher moisture content (8.40–9.49%). Color parameters were only slightly affected by drying conditions, with increased pigment degradation observed at higher temperatures. The highest total phenolic content was determined in the sample dried at 60°C in the air fryer, and it was observed that moderate temperatures are more suitable for the preservation of phenolic compounds. The fact that antioxidant activity did not show a direct correlation with total phenolic content indicates that thermal treatments affect the structure of antioxidant compounds. Principal component analysis results showed that the samples differed significantly depending on the drying method. Overall, drying at 60°C using an air fryer was determined to be the most suitable condition for both effective drying and the preservation of bioactive compounds.

Key Words: *Granny Smith Apple, Air fryer, Hot air drying, Phenolic compounds, Antioxidant activity*

Kurutma Koşullarına Bağlı Olarak Granny Smith Elmanın Fizikokimyasal ve Antioksidan Özelliklerinin Değişimi

Özet

Bu çalışmada, farklı sıcaklıklarda (50, 60 ve 70°C) uygulanan air fryer ve etüv kurutma yöntemlerinin Granny Smith elma dilimlerinin fizikokimyasal ve biyoaktif özellikleri üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuçlar, air fryer yönteminin daha düşük su aktivitesi (0,186–0,189) ve nem içeriği (%5,72–8,01) sağlaması nedeniyle etüv kurutmaya kıyasla daha etkin bir kurutma performansı sunduğunu göstermiştir. Etüv ile kurutulan örneklerde ise nem içeriği daha yüksek (%8,40–9,49) bulunmuştur. Renk parametreleri kurutma koşullarından sınırlı düzeyde etkilenmiş, yüksek sıcaklıklarda pigment degradasyonu artmıştır. Toplam fenolik madde içeriği en yüksek air fryer’da 60°C’de kurutulan örnekte belirlenmiş olup, orta sıcaklıkların fenolik bileşiklerin korunması açısından daha uygun olduğu görülmüştür. Antioksidan aktivitenin toplam fenolik madde ile doğrudan bir korelasyon göstermemesi, ısıl işlemlerin antioksidan bileşiklerin yapısını etkilediğini ortaya koymuştur. Temel bileşen analizi sonuçları, kurutma yöntemine bağlı olarak örneklerin belirgin şekilde ayrıştığını göstermiştir. Genel olarak, air fryer ile 60°C’de kurutma işlemi hem etkili kurutma hem de biyoaktif bileşiklerin korunması açısından en uygun koşul olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Granny Smith elma, Hava fritözü, Fırında kurutma, Fenolik bileşikler, Antioksidan aktivite*

Giriş

Elmalar (*Malus domestica* Borkh.), duyuşal özellikleri, besin değeri ve uzun süre saklanabilme özelliği nedeniyle dünya çapında en çok tüketilen ve ekonomik açıdan en önemli meyveler arasında yer almaktadır. Yıl boyunca tüketici talebini karşılamak ve hasat sonrası kayıpları azaltmak amacıyla elmalar, genellikle birkaç ay boyunca soğuk veya kontrollü atmosfer koşullarında depolanmaktadır (Mikus & Galus, 2025). Granny Smith, 19. yüzyılda Avustralya’nın Yeni Güney Galler eyaletinde Maria Ann “Granny” Smith tarafından keşfedilen, geç olgunlaşan bir elma çeşididir. İlk ağaç 1868 yılına kadar meyve vermeye başlamıştı. Bu, *Malus sylvestris* (Avrupa yabani elma çeşidi “French Crab”) ile *Malus domestica* (evcilleştirilmiş elma) arasındaki kendiliğinden melezleşmeden kaynaklanan tesadüfi bir fidan idi. Avustralya’da 1920’lerde “Granny Smith” için önemli plantasyonlar kuruldu, ancak bu elma türü 1950’lerden itibaren dünya çapında önem kazanmaya başladı (Volk & Bramel, 2021). Parlak yeşil kabuğu, sert dokusu, ekşi-tatlı tadı ve sulu yapısı sayesinde kolayca tanınır (Karuppanapandian et al., 2022). Yüksek asitliği, sertliği ve düşük etilen üretimi nedeniyle Granny Smith elmaları, uzun süreli depolamaya özellikle uygundur (Mikus & Galus, 2025).



Elma, yüksek besin değeri nedeniyle atıştırılabilir olarak ideal bir meyvedir. Damar fonksiyonu, kan basıncı, kan yağları, iltihaplanma ve hiperglisemi üzerinde olumlu etkileri olduğu ve kalp-damar hastalıklarının önlenmesine yardımcı olduğu kanıtlanmıştır (Arora et al., 2018; Bondonno et al., 2017; Sandoval-Ramírez et al., 2020). Gıda endüstrisinde elma atıştırılabilirlikleri üretmek için genellikle kurutma yöntemi kullanılır (Taghinezhad et al., 2023). Ancak, kurutma yöntemine ve işlem koşullarına bağlı olarak, geleneksel kurutma teknikleri kullanılarak kurutulan ürünlerde renk değişimi, düşük yeniden sulanma kapasitesi ve besin kaybı gibi birçok istenmeyen değişiklik meydana gelir (Jin et al., 2019). Bu sınırlamalar, yeni teknolojilerin geliştirilmesine ve halihazırda kullanılan kurutma tekniklerinin iyileştirilmesine zemin hazırlamıştır. Air fryer teknolojisi de son yıllarda geliştirilen teknolojilerden biridir. Temel olarak, hava fritözü (air fryer), ısı ve kütle transferinin aynı anda gerçekleştiği bir kurutma yöntemidir. Bu, suyun buharlaşmasına ve çeşitli kimyasal değişikliklere yol açar (Andrés et al., 2012). Bu süreçte, ısıtılmış havadan gıdanın dış tabakasına konvektif ısı transferi gerçekleşir; bunu, gıdanın iç kısmında iletken ısı transferi izler. Sıcak havaya maruz kalma ile ortaya çıkan etkenler ve yüksek sıcaklık, konsantrasyon ve basınç farkları, gıda içindeki nemin hareket etmesine yol açar (Fikry et al., 2024).

Kurutma işlemi, elma gibi yüksek nem içeriğine sahip meyvelerin raf ömrünü uzatmak amacıyla yaygın olarak uygulanmakta olup, literatürde ağırlıklı olarak konvektif sıcak hava, infrared, mikrodalga ve vakum destekli sistemler üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda ev tipi ve endüstriyel uygulamalarda giderek yaygınlaşan air fryer teknolojisinin kurutma performansı ve ürün kalitesi üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Mevcut çalışmalar genellikle kurutma kinetiği, yeniden hidrasyon ve ileri kurutma tekniklerine odaklanırken, air fryer gibi alternatif bir yöntemin geleneksel etüv kurutma ile karşılaştırmalı olarak fizikokimyasal ve biyoaktif özellikler üzerindeki etkileri yeterince ortaya konmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, farklı sıcaklıklarda uygulanan air fryer ve etüv kurutma yöntemlerinin Granny Smith elmaların renk, nem, su aktivitesi ve biyoaktif bileşenler üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek ve optimum kurutma koşullarını belirleyerek literatürdeki bu boşluğa katkı sağlamaktır.

Materyal ve Metot

Materyal

Bu çalışmada kullanılan Granny Smith elma örnekleri, Türkiye'nin Niğde ilindeki yerel bir pazardan temin edilmiştir. Elmalar, deneysel işlemler öncesinde görsel olarak seçilmiş, herhangi bir fiziksel hasar veya çürümeye belirtisi göstermeyen örnekler kullanılmıştır. Numuneler analiz öncesinde yıkanmış ve yüzey nemi uzaklaştırıldıktan sonra işleme alınmıştır.

Örnek Hazırlama ve Kurutma İşlemi

Elmalar, yaklaşık 2 mm kalınlığında ve 3 cm çapında dilimler halinde kesilmiştir. Hazırlanan elma dilimleri Air fryer kurutma (Airfryer Combi 7000 Series XXL, Philips) (A) ve Etüv (sıcak hava fırını) kurutma (Isotex, Türkiye) (E) yöntemleri kullanılarak kurutulmuştur. Her iki kurutma yöntemi için de 50, 60 ve 70°C sıcaklıklar uygulanmıştır. Kurutma işlemi, örneklerin nem içeriği yaklaşık %10'un altına düşene kadar devam ettirilmiştir. Elde edilen örnekler, uygulanan yöntem ve sıcaklığa göre A50, A60, A70, E50, E60 ve E70 olarak kodlanmıştır.

Fizikokimyasal Analizler

Renk Analizi

Örneklerin renk parametreleri (L^* , a^* , b^*) bir renk ölçüm cihazı (Konica Minolta CR-400, Japan) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler CIE Lab* renk sistemine göre gerçekleştirilmiştir.

Su Aktivitesi

Su aktivitesi değerleri, uygun bir su aktivitesi ölçüm cihazı (Novasina, Switzerland) kullanılarak belirlenmiştir.

Nem Tayini

Nem içeriği, standart gravimetrik yöntem kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar yüzde (%) olarak ifade edilmiştir.

Kül Tayini

Kül içeriği, numunelerin 600°C sıcaklıkta yakılması esasına dayanan standart yöntem ile analiz edilmiş ve yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Biyoaktif Özellik Analizleri

Toplam Fenolik Madde (TFM) Tayini

Toplam fenolik madde içeriği, Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Singleton & Rossi, 1965). Fenolik bileşikler %80 metanol (%1 HCl) ile ekstrakte edildi, 40 rpm'de 4 saat boyunca çalkalandı ve 4 °C'de 4000×g'de 15 dakika boyunca santrifüjlendi. 100 µL ekstrakte 0,75 mL Folin reaktifi (%10) ve 0,75 mL Na₂CO₃ (75 g/L) ilave edildi. Karanlıkta 1 saat inkübe edildikten sonra, 725 nm'de absorbans okundu. Sonuçlar, kuru numune kilogramı başına mg gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edildi.



Antioksidan Aktivite (DPPH) Tayini

Elma örneklerindeki antioksidan aktivite, Payet ve arkadaşları tarafından belirtilen değişikliklerle DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) yöntemi kullanılarak belirlendi ve sonuçlar % inhibisyon olarak hesaplanmıştır (Payet et al., 2005).

Çok Değişkenli Analiz

Değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve örneklerin sınıflandırılması amacıyla Temel Bileşen Analizi (PCA) Minitab® 21.4.1. (ABD) programı kullanılarak uygulanmıştır.

İstatistiksel Analiz

Tüm analizler üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde ifade edilmiştir. Verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde Minitab® 21.4.1. (ABD) programı kullanılmıştır. Gruplar arasındaki farkların belirlenmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve anlamlı farklılıkların tespitinde Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır ($p < 0,05$).

Sonuçlar ve Tartışma

Fizikokimyasal Özellikler

Örneklerin fizikokimyasal özelliklerini gösteren bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Örneklerin fizikokimyasal özellikleri

Örnekler	L*	a*	b*	Su aktivitesi	Kül (%)	Nem (%)
A50	73,09 $\pm$ 4,93 ^a	-1,97 $\pm$ 3,53 ^b	32,41 $\pm$ 4,9 ^{ab}	0,189 $\pm$ 0,01 ^{bc}	0,02 $\pm$ 0,002 ^a	7,43 $\pm$ 0,67 ^{ab}
A60	63,81 $\pm$ 6,25 ^a	0,66 $\pm$ 4,03 ^{ab}	35,88 $\pm$ 2,12 ^{ab}	0,186 $\pm$ 0,01 ^c	0,02 $\pm$ 0,001 ^a	8,01 $\pm$ 0,52 ^a
A70	69,43 $\pm$ 7,83 ^a	-0,19 $\pm$ 5,52 ^{ab}	28,63 $\pm$ 7,69 ^b	0,186 $\pm$ 0,01 ^c	0,02 $\pm$ 0,001 ^a	5,72 $\pm$ 2,23 ^b
E50	66,83 $\pm$ 3,68 ^a	-0,06 $\pm$ 2,05 ^{ab}	34,15 $\pm$ 1,32 ^{ab}	0,220 $\pm$ 0,02 ^a	0,003 $\pm$ 0,03 ^a	8,40 $\pm$ 0,83 ^{ab}
E60	70,39 $\pm$ 7,45 ^a	-2,10 $\pm$ 3,72 ^b	32,53 $\pm$ 2,83 ^{ab}	0,218 $\pm$ 0,01 ^a	0,02 $\pm$ 0,001 ^a	9,49 $\pm$ 1,30 ^a
E70	64,26 $\pm$ 6,14 ^a	5,81 $\pm$ 2,09 ^{ab}	36,68 $\pm$ 2,47 ^b	0,216 $\pm$ 0,01 ^{ab}	0,02 $\pm$ 0,001 ^a	8,43 $\pm$ 1,60 ^b

Aynı sütunda yer alan ve farklı harflerle (a-c) gösterilen örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlılık vardır ($p < 0,05$).

Örneklerin renk parametreleri (L*, a*, b*) incelendiğinde, kurutma yöntemi ve sıcaklık değişiminin renk özellikleri üzerinde sınırlı ancak yönlü etkiler oluşturduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). L* değerleri açısından örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamakla birlikte, air fryer ile kurutulan örneklerin genel olarak daha yüksek parlaklık değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, air fryer sisteminde daha hızlı nem uzaklaştırılması ve buna bağlı olarak enzimatik ve non-enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının sınırlandırılması ile açıklanabilir. Örneklerin a* değerleri incelendiğinde, negatif değerlerin yeşil tonu temsil ettiği dikkate alındığında, özellikle A50 ve E60 örneklerinde yeşil rengin daha iyi korunduğu görülmektedir. Buna karşılık E70 örneğinde pozitif a* değerinin artması, yüksek sıcaklıkta etüv kurutmanın pigment degradasyonunu hızlandırarak kırmızımsı tonların oluşumuna neden olduğunu göstermektedir. b* değerleri açısından değerlendirildiğinde, özellikle E70 ve A60 örneklerinde daha yüksek sarılık değerleri elde edilmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklık uygulamalarının pigment konsantrasyonu ve bazı renk bileşiklerinin göreceli stabilitesi ile ilişkili olabilir. Su aktivitesi sonuçları, air fryer ile kurutulan örneklerin (0,186–0,189) etüv kurutmaya göre (0,216–0,220) daha düşük değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, air fryer yönteminin daha etkin bir nem uzaklaştırma kapasitesine sahip olduğunu ve ürünlerin mikrobiyal stabilite açısından daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır. Örneklerin nem içeriği sonuçları incelendiğinde, air fryer ile kurutulan örneklerde nem değerlerinin %5,72–8,01 aralığında, etüv ile kurutulan örneklerde ise %8,40–9,49 aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük nem içeriği A70 örneğinde (%5,72) elde edilmiş olup, artan sıcaklık ile birlikte air fryer sisteminde nem uzaklaştırma etkinliğinin arttığı görülmektedir. Etüv kurutma yönteminde ise sıcaklık artışına rağmen nem içeriğinin görece yüksek kalması, bu yöntemde ısı ve kütle transferinin daha yavaş gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Bu durum, air fryer yönteminin kurutma etkinliği açısından daha üstün olduğunu göstermektedir. Kül içeriği açısından örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaması, kurutma işlemlerinin mineral madde içeriği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Biyoaktif Özellikler (TFM ve Antioksidan Aktivite)

Örneklerin biyoaktif özelliklerini gösteren bilgiler Tablo 2’de verilmiştir.

Toplam fenolik madde (TFM) sonuçları, kurutma yöntemi ve sıcaklığın bu parametre üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu göstermektedir. En yüksek TFM değeri A60 örneğinde elde edilmiş olup, bu durum orta sıcaklıkta gerçekleştirilen air fryer kurutmanın fenolik bileşiklerin korunması açısından en uygun koşul olduğunu göstermektedir. Daha düşük sıcaklıklarda fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunun sınırlı kalabileceği, daha yüksek sıcaklıklarda ise termal degradasyonun artabileceği düşünülmektedir. Etüv ile kurutulan örneklerde TFM değerlerinin daha düşük ve dar bir aralıkta değiştiği gözlenmiştir. Bu durum, daha uzun kurutma süresinin fenolik



bileşiklerin oksidatif kaybını artırması ile ilişkilendirilebilir. Antioksidan aktivite sonuçları incelendiğinde, toplam fenolik madde ile doğrudan bir korelasyon olmadığı görülmektedir. Özellikle A50 örneğinde yüksek inhibisyon değeri elde edilmesine rağmen, A60 örneğinde daha düşük antioksidan aktivite belirlenmiştir. Bu durum, antioksidan kapasitenin yalnızca toplam fenolik miktarına bağlı olmadığını, aynı zamanda fenolik bileşiklerin yapısal özellikleri, sinerjik etkileşimleri ve ısı işlem sırasında oluşan yeni antioksidan bileşiklerin varlığı ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Örneklerin biyoaktif özellikleri

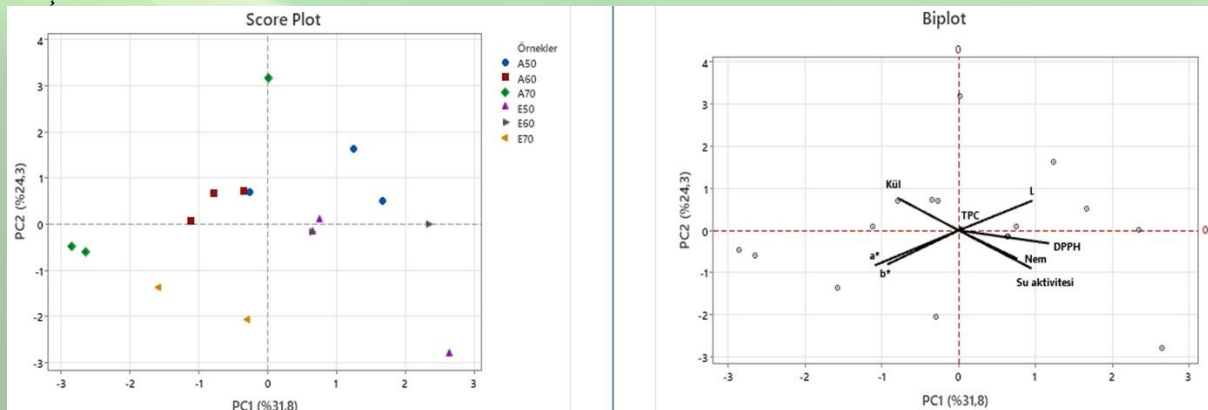
Örnekler	TFM (mg GAE/kg)	% İnhibisyon
A50	3654±322 ^{bc}	65,5±2,1 ^a
A60	5760±138 ^a	32,07±2,45 ^b
A70	3323±93 ^c	26,83±0,78 ^b
E50	4094±127 ^b	58,43±2,92 ^a
E60	3895±262 ^{bc}	58,49±2,17 ^a
E70	3499±461 ^c	50,32±2,4 ^b

Aynı sütunda yer alan ve farklı harflerle (a-c) gösterilen örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlılık vardır (p<0,05).

Literatürde kurutma sıcaklığının artmasıyla kütle transferinin ve kurutma etkinliğinin arttığı rapor edilmiştir (Riveros-Gomez et al., 2022); bu durum çalışmamızda da 70°C’de en düşük nem değerinin elde edilmesiyle uyumludur. Ancak, fenolik bileşiklerin korunumu açısından en uygun sıcaklığın 60°C olması, yüksek sıcaklıkların kalite üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini göstermekte ve literatürle kısmi farklılık ortaya koymaktadır. Önceki çalışmalarda, kurutma sıcaklığının artmasıyla renk parametreleri ve fiziksel özelliklerin önemli ölçüde değiştiği ve özellikle kızılötesi (IR) kurutmada birçok parametrenin sıcaklıkla anlamlı ilişki gösterdiği rapor edilmiştir (p<0,05) (Dajbych et al., 2023); bu durum çalışmamızda da renk değerlerindeki değişimlerle uyumludur. Maillard reaksiyonuna dayalı çalışmada, basınç düşüşü destekli sıcak hava kurutma (DIC) ile fruktozda %18,95–45,68, glikozda yaklaşık %50 ve serbest amino asitlerde %80,7–95,1 oranında azalma ve buna bağlı belirgin esmerleşme gözlenmiştir (Li et al., 2022); benzer şekilde bu çalışmada da yüksek sıcaklıklarda renk değişimlerinin artması bu eğilimi desteklemektedir. Gelişmiş kurutma tekniklerinde mikrodalga vakum kurutma (MWVD) toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitenin hava kurutmaya kıyasla sırasıyla 2–1,87 ve 1,98–1,74 kat arttığı bildirilmiştir (Bulantekin & Kuşçu, 2024); bu durum çalışmamızda air fryer uygulamasında daha yüksek TFM değerlerinin elde edilmesiyle paralellik göstermektedir. Farklı kurutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada ise Granny Smith elmalarda TFM’nin 40,08 mg GAE/g, DPPH inhibisyonunun %46,96 ve FRAP değerinin 68,01 µg Trolox/g olduğu belirlenmiştir (Çetin & Sağlam, 2023); bu sonuçlar çalışmamızdaki yüksek antioksidan aktivite değerleriyle benzerlik göstermektedir. Ayrıca, proses koşullarının optimize edildiği bir çalışmada, belirli sıcaklık ve basınç koşullarında fenolik bileşiklerin ve antioksidan aktivitenin önemli ölçüde arttığı (>%85 model açıklama gücü) rapor edilmiştir (Bulantekin & Bardakçı, 2025); bu durum çalışmamızda 60°C’de maksimum TFM elde edilmesiyle uyumludur. Buna karşın, bazı çalışmalarda düşük sıcaklık (45°C) ve ince dilim kalınlığında daha yüksek fenolik içerik ve antioksidan aktivite elde edildiği belirtilmiştir (Demiray et al., 2023); bu durum çalışmamızda optimum sıcaklığın 60°C olmasıyla kısmi farklılık göstermektedir. Son olarak, ön işlemlerle kurutma süresinin %64–74 oranında azaltılabildiği ve nem uzaklaştırmanın artırıldığı bildirilmiştir (Wu et al., 2025); bu çalışmada air fryer ile daha düşük nem (%5,72) ve su aktivitesi değerlerinin elde edilmesi benzer bir kurutma etkinliğine işaret etmektedir.

Temel Bileşen Analizi (PCA)

Temel bileşen analizlerine ait grafikler ve özvektörleri gösterir bilgiler sırasıyla Şekil 1 ve Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Örneklere ait score ve biplot grafikleri



Tablo 3. Örneklerle ait özvektörler

Değişken	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Özdeğer	2,5446	1,9476	1,3907	0,8168	0,7266	0,2861	0,2166	0,0711
Oran	0,318	0,243	0,174	0,102	0,091	0,036	0,027	0,009
Kümülatif	0,318	0,562	0,735	0,837	0,928	0,964	0,991	1,000
L	0,377	0,363	0,127	-0,570	0,141	0,167	0,581	0,033
a*	-0,429	-0,426	0,261	-0,150	-0,017	-0,187	0,362	0,614
b*	-0,366	-0,415	-0,100	-0,453	0,401	0,111	-0,024	-0,552
Su aktivitesi	0,373	-0,463	0,149	0,279	-0,261	-0,293	0,460	-0,424
Kül	-0,312	0,393	0,068	0,452	0,556	-0,301	0,345	-0,143
TFM	0,014	0,045	-0,787	-0,214	-0,093	-0,552	0,102	0,092
DPPH	0,462	-0,157	0,282	-0,150	0,494	-0,475	-0,403	0,165
Nem	0,299	-0,345	-0,424	0,312	0,434	0,467	0,164	0,284

Temel bileşen analizi sonuçlarına göre toplam varyansın %56,2'si ilk iki ana bileşen (PC1 ve PC2) ile açıklanmaktadır. PC1 üzerinde DPPH, L* ve su aktivitesinin pozitif; a* ve b* değerlerinin negatif yükler sergilediği belirlenmiştir. Bu durum, renk parametreleri (a* ve b*) ile antioksidan aktivite arasında ters yönlü bir ilişki olabileceğini göstermektedir. PC2 bileşeninde ise kül ve renk parametrelerinin daha baskın olduğu, buna karşılık nem ve su aktivitesinin negatif yönde katkı sağladığı görülmektedir. Bu bileşen, örneklerin fiziksel kalite özelliklerini temsil etmektedir. TFM'nin PC3 üzerinde yüksek yük göstermesi, fenolik içeriğin diğer parametrelerden bağımsız bir değişim sergilediğini ortaya koymaktadır. Biplot grafiği incelendiğinde, air fryer ve etüv ile kurutulan örneklerin belirgin şekilde ayrıştığı ve özellikle A60 örneğinin yüksek TFM içeriği ile farklı bir konumda yer aldığı görülmektedir. Bu durum, kurutma yönteminin ürün özellikleri üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Sonuç

Bu çalışma, kurutma yöntemi ve sıcaklığının Granny Smith elmaların kalite özellikleri üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Air fryer kurutma yöntemi, daha düşük su aktivitesi ve nem içeriği sağlaması nedeniyle etüv kurutmaya kıyasla daha etkin bulunmuş ve ürün stabilitesi açısından avantaj sağlamıştır. Özellikle 60°C'de gerçekleştirilen air fryer kurutma işlemi, toplam fenolik madde içeriğinin korunması açısından en uygun koşul olarak belirlenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda fenolik bileşiklerde azalma gözlenmiş olup bu durum termal degradasyon ile ilişkilendirilmiştir. Antioksidan aktivitenin toplam fenolik madde ile doğrudan ilişki göstermemesi, antioksidan kapasitenin bileşiklerin yapısına ve işlem sırasında oluşan yeni ürünlere bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Temel bileşen analizi sonuçları, kurutma yöntemlerinin ürün özellikleri üzerinde belirgin bir ayrım oluşturduğunu desteklemiştir. Sonuç olarak, air fryer kurutma yöntemi, özellikle 60°C'de uygulandığında, düşük nem içeriği (%5,72'ye kadar) ve yüksek biyoaktif bileşik korunumu ile kaliteli kurutulmuş elma üretimi için etkili ve alternatif bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Referanslar

- Andrés, A., Arguelles, Á., Castelló, M. L., & Heredia, A. (2012). Mass Transfer and Volume Changes in French Fries During Air Frying. *Food and Bioprocess Technology* 2012 6:8, 6(8), 1917–1924. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0861-2>
- Arora, B., Sethi, S., Joshi, A., Sagar, V. R., & Sharma, R. R. (2018). Antioxidant degradation kinetics in apples. *Journal of Food Science and Technology* 2018 55:4, 55(4), 1306–1313. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3041-1>
- Bondonno, N. P., Bondonno, C. P., Ward, N. C., Hodgson, J. M., & Croft, K. D. (2017). The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs. isolated compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 69(4), 243–256. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.012>
- Bulantekin, Ö., & Bardakçı, M. S. (2025). Investigation of the effects of variable process conditions on the production of Apple snacks by explosion puffing drying. *Scientific Reports* 2025 15:1, 15(1), 34721-. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-18380-5>
- Bulantekin, Ö., & Kuşçu, A. (2024). Evaluation of microwave vacuum drying combined with explosion puffing drying and compared with microwave vacuum drying and hot-air drying by the quality of the dried apple slices. *Cogent Food and Agriculture*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2404699>
- Çetin, N., & Sağlam, C. (2023). Effects of ultrasound pretreatment assisted drying methods on drying characteristics, physical and bioactive properties of windfall apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(2), 534–547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12164>



- Dajbych, O., Kabutey, A., Mizera, Č., & Herák, D. (2023). Investigation of the Effects of Infrared and Hot Air Oven Drying Methods on Drying Behaviour and Colour Parameters of Red Delicious Apple Slices. *Processes*, 11(10), 3027. <https://doi.org/10.3390/pr11103027>
- Demiray, E., Yazar, J. G., Aktok, Ö., Çulluk, B., Çalışkan Koç, G., & Pandiselvam, R. (2023). The Effect of Drying Temperature and Thickness on the Drying Kinetic, Antioxidant Activity, Phenolic Compounds, and Color Values of Apple Slices. *Journal of Food Quality*, 2023(1), 7426793. <https://doi.org/10.1155/2023/7426793>
- Fikry, M., Tagrida, M., Mousa, E., Khojah, E., Aljumayi, H., Al-Ghamdi, S., Kadota, K., & Sarifudin, A. (2024). Modeling Mass Transfer Kinetics and Thermodynamic Properties of Ultrasonically Pretreated and Untreated Apple Slices During Air-Frying. *Journal of Food Process Engineering*, 47(10), e14745. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14745>
- Jin, W., Zhang, M., & Shi, W. (2019). Evaluation of ultrasound pretreatment and drying methods on selected quality attributes of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Drying Technology*, 37(3), 387–396. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1458735>
- Karuppanapandian, T., Gerber, M., Viljoen, D. W., Botes, A., Moelich, E. I., Crouch, I. J., & Crouch, E. M. (2022). Assessment of sensory characteristics of ‘Granny Smith’ apples stored in various controlled atmosphere regimes by a trained panel. *Acta Horticulturae*, 1348, 285–290. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1348.39>
- Li, X., Gao, K., Bi, J., Wu, X., Lyu, J., & Guo, C. (2022). Hot air-assisted instant controlled pressure drop drying impact on the Maillard reaction-related physicochemical properties of apple slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(4), e16398. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16398>
- Mikus, M., & Galus, S. (2025). Extending the Shelf Life of Apples After Harvest Using Edible Coatings as Active Packaging—A Review. *Applied Sciences* 2025, Vol. 15, Page 767, 15(2), 767. <https://doi.org/10.3390/app15020767>
- Payet, B., Sing, A. S. C., & Smadja, J. (2005). Assessment of antioxidant activity of cane brown sugars by ABTS and DPPH radical scavenging assays: Determination of their polyphenolic and volatile constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(26), 10074–10079. <https://doi.org/10.1021/jf0517703>
- Riveros-Gomez, M., Baldán, Y., Román, M. C., Fabani, M. P., Mazza, G., & Rodríguez, R. (2022). Drying and rehydration kinetics of peeled and unpeeled green apple slices (Granny Smith cv). *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 57(10), 835–847. <https://doi.org/10.1080/03601234.2022.2126246>
- Sandoval-Ramírez, B. A., Catalán, Ú., Calderón-Pérez, L., Companys, J., Pla-Pagà, L., Ludwig, I. A., Romero, M. P., & Solà, R. (2020). The effects and associations of whole-apple intake on diverse cardiovascular risk factors. A narrative review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(22), 3862–3875. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1709801>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Taghinezhad, E., Kaveh, M., Szumny, A., Figiel, A., & Blasco, J. (2023). Qualitative, energy and environmental aspects of microwave drying of pre-treated apple slices. *Scientific Reports* 2023 13:1, 13(1), 16152-. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43358-6>
- Volk, G. M., & Bramel, P. (2021). *Apple Genetic Resources: Diversity and Conservation*. 33–45. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74682-7_3
- Wu, B., Bouhile, Y., Guo, Y., Dai, J., Song, C., Cong, L., & Ma, H. (2025). Impact of apple slice thickness and water-soaking pretreatment on catalytic infrared blanching efficiency and subsequent hot air drying performance. *Drying Technology*, 43(5), 802–822. <https://doi.org/10.1080/07373937.2025.2470183>

