



Araştırma Makalesi

Çilekte Meyve İriliği ve Kurutma İşleminin Aroma Bileşimi Üzerine Etkileri

Erdem CINAR¹, Gamze GUCLU^{2*}, A. Salih SONMEZDAG³, Zeynep Yaren

PEHLIVAN², Akram BEN GHORBAL¹

ÖZ

Üzümsü meyveler arasında önemli bir yere sahip olan çilek, zengin fenolik bileşen yapısı, yüksek antioksidan kapasitesi ve karakteristik aroma bileşimi ile dikkat çekmektedir. Aroma bileşenleri, çeşit, olgunluk düzeyi, yetiştirme koşulları ve uygulanan işleme yöntemlerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Özellikle kurutma işlemi, uçucu bileşiklerin hem miktarını hem de dağılımını değiştirerek ürünün duysal kalitesini belirleyen kritik bir uygulamadır. Bu çalışmada, Pozantı bölgesinden temin edilen aynı çeşit çileklerde tane iriliğinin (iri ve orta boy) ve fırın kurutma işleminin aroma bileşimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Meyveler ortalama ağırlık ve boyut değerlerine göre sınıflandırılmış, kurutma işlemi 60°C’de sıcak hava fırınında gerçekleştirilmiştir. Taze ve kurutulmuş örneklerden elde edilen uçucu bileşikler karşılaştırmalı olarak incelenmiş, esterler, laktonlar, asitler, terpenler ve aldehitler başta olmak üzere aroma yapısını belirleyen temel bileşik gruplarındaki değişimler değerlendirilmiştir. Bulgular, tane büyüklüğünün başlangıç aroma kompozisyonunu etkilediğini; kurutma işleminin ise bazı uçucu gruplarda kayıplara neden olurken bazı bileşiklerde yoğunlaşmaya yol açtığını göstermiştir. Kurutma süreciyle birlikte furfural, bütirolakton ve laktonlar gibi ısı işlem kaynaklı yeni bileşiklerin ortaya çıktığı belirlenmiş ve bu durumun ürünün genel aroma bileşiminde pişmiş, karamelize ve kompleks tonlara neden olabileceği belirlenmiştir. Bu nedenle, ürün kalitesinin korunması ve hedeflenen aroma bileşiminin elde edilmesi için kurutma koşullarının optimize edilmesi, özellikle de ısı işlem kaynaklı bileşik oluşumunun kontrol altına alınması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çilek, aroma bileşenleri, fırın kurutma, GC-MS

Effects of Fruit Size and Drying Process on Aroma Composition of Strawberries

ABSTRACT

Strawberry, an important member of berry fruits, stands out with its rich phenolic composition, high antioxidant capacity, and characteristic aroma profile. Aroma compounds are significantly influenced by factors such as cultivar, ripening stage, cultivation conditions, and processing techniques. Drying, in particular, is a critical operation that determines the sensory quality of the product by altering both the quantity and distribution of volatile compounds. In this study, the effects of fruit size (large and medium) and oven-drying on the aroma profile of strawberries of the same cultivar obtained from the Pozantı region were investigated. The fruits were classified based on their average weight and size parameters, and the drying process was carried out in a hot-air oven at 60 °C. Volatile compounds from fresh and dried samples were comparatively analyzed, and changes in key compound groups shaping the aroma structure, primarily esters, lactones, acids, terpenes, and aldehydes, were evaluated. The findings revealed that fruit size influenced the initial aroma composition, while the drying process caused losses in some volatile groups and concentration of others. Additionally, heat-induced compounds such as furfural, butyrolactone, and lactones were detected after drying, and these were found to contribute cooked, caramel-like, and complex notes to

Yayın Kuruluna Geliş Tarihi: 12.12.2025

Kabul Tarihi: 26.12.2025

¹ Züher - Alterna Gıda Sanayi Pazarlama ve Ticaret A.Ş., İstanbul

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana

³Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Muğla

*E-posta: gguculu@cu.edu.tr

Çilekte Meyve İriliği ve Kurutma İşleminin Aroma Bileşimi Üzerine Etkileri

the overall aroma profile. Therefore, to preserve product quality and achieve the desired aroma profile, it is recommended to optimize drying conditions, particularly by controlling the formation of heat-induced compounds.

Keywords: Strawberry, aroma compounds, oven drying, GC-MS

ORCID (Yazar sırasına göre)

0009-0002-3018-9695, 0000-0001-7317-6101, 0000-0001-6360-4037, 0009-0009-5047-1306, 0009-0000-4055-4233

Giriş

Meyveler arasında üzüksü meyveler; küçük, sulu, genellikle çekirdeksiz ya da çok tohumlu ve parlak renkli meyveler olarak tanımlanırken, botanik açıdan tek bir ovaryumdan gelişen etli meyveler olarak sınıflandırılmaktadır (Manganaris ve ark., 2014). Aynı zamanda içerdikleri yüksek besin içerikleri sayesinde sağlık açısından birçok fayda sunmaktadır. Bu faydalar; mineraller, vitaminler, yağ asitleri, diyet lifi ile flavonoidler, fenolik asitler, lignanlar ve tanenler gibi geniş bir yelpazedeki polifenolik fitokimyasalları içeren zengin bileşimlerinden kaynaklanmaktadır (Banaszewski ve ark., 2013). Üzümsü meyvelerden olan çilek (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), dünya genelinde geniş ölçekte yetiştirilen ve en çok tüketilen meyvelerden biridir. Taze olarak tüketilmesinin yanı sıra içecekler, reçeller, likörler, dondurmalar, yoğurtlar, şuruplar ve aroma konsantreleri gibi pek çok gıda ürününün üretiminde ham madde olarak kullanılmaktadır (Kelebek ve Selli, 2011). Son yıllarda çilek ekstraktları, diğer renkli meyve, sebze ve bitkisel ekstraktlarla birleştirilerek fonksiyonel gıdalarda ve besin takviyelerinde bileşen olarak kullanılmaya da başlanmıştır (Giampieri ve ark., 2015).

Çilekler, botanik olarak *Fragaria* cinsine ait olup dünya genelinde hem yabani hem de kültüre alınmış birçok tür ve çeşitlilik göstermektedir. En yaygın olarak yetiştirilen ve ticari üretimde kullanılan tür *Fragaria* × *ananassa* türüdür ve bu tür farklı *Fragaria* türlerinin melezlenmesiyle elde edilmiş modern kültür çileğini oluşturmaktadır. Bunun dışında *Fragaria vesca*

(orman çileği), küçük meyveli, yoğun aromalı yapısıyla bilinen ve özellikle doğal alanlarda yaygın bulunan önemli bir tür olarak bilinmektedir (Lim ve ark., 2017; Song ve ark., 2023). *Fragaria viridis*, *Fragaria moschata* ve *Fragaria orientalis* gibi diğer türler ise daha sınırlı üretime sahip olmakla birlikte belirli bölgelerde yetismekte ve farklı aromatik, morfolojik veya agronomik özellikler sunmaktadır. Bu türlerin her biri; meyve büyüklüğü, aromatik profil, verimlilik, dayanıklılık ve yetiştirme koşullarına uyum gibi yönlerden farklılık göstermektedir. Bu nedenle çilek türlerinin çeşitliliği hem genetik kaynakların korunması hem de yeni ticari çeşitlerin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel oluşturmaktadır (Lei ve ark., 2014; Hardigan ve ark., 2020; Atazhanova ve ark., 2025).

Günümüze kadar uzanan süreçte çileklerin sağlık üzerindeki yararlı etkileriyle ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar, düzenli çilek tüketiminin vücutta iltihaplanmayı azaltabileceğini, kalp ve damar sağlığını destekleyebileceğini, obezite ve metabolik sendrom gibi yaygın sağlık sorunlarının gelişme riskini düşürebileceğini göstermektedir. Ayrıca bazı kanser türlerine karşı koruyucu etkiler sunabileceği ve bilişsel fonksiyonlar ile beyin sağlığı üzerinde olumlu sonuçlar sağlayabileceği de bildirilmektedir. Bu nedenle çileğin günlük beslenmede yer alması, genel sağlığın korunmasına katkıda bulunabilecek kolay ve

Çilekte Meyve İriliği ve Kurutma İşleminin Aroma Bileşimi Üzerine Etkileri

etkili bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Golovinskaia ve ark., 2021).

Çilekler, yüksek antioksidan kapasitesiyle öne çıkan, C vitamini ve fenolik bileşikler açısından zengin meyvelerdir. Antioksidan özellikleri hem taze tüketimde hem de işlenmiş ürünlerde insan sağlığına önemli katkılar sunmaktadır. Farklı çilek çeşitleri, yetiştirme koşulları ve meyvenin farklı kısımları antioksidan kapasiteyi etkileyebilmektedir. Çileklerde başlıca antioksidanlar; C vitamini, toplam fenolikler, flavonoidler, antosiyaninler ve ellajik asittir. (Van De Velde ve ark., 2013). Özellikle antosiyaninler (pelargonidin ve siyanidin türevleri) ve elajitanninler (agrimoniin gibi) antioksidan kapasiteye büyük katkı sağlamaktadır. Çileklerin çekirdekleri, toplam antioksidan kapasitenin %41'inden fazlasını oluşturmaktadır (Ariza ve ark., 2016). Farklı çilek çeşitleri arasında antioksidan kapasite ve fenolik içerik açısından belirgin farklılıklar vardır. Yüksek rakımda yetiştirilen bazı çeşitlerde antioksidan kapasite artabilmektedir (Duan ve ark., 2025).

Çilekler, hasat sonrası hızla bozulabilen meyveler olarak bilinmektedir. Raf ömrünü uzatmak için geleneksel yöntemlerin yanı sıra, yenilebilir kaplamalar, biyopolimerik filmler ve modifiye atmosfer paketleme gibi çevre dostu teknolojiler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, mikrobiyal bozulmayı azaltmakta ve meyve kalitesini korumaktadır (Priyadarshi ve ark., 2024). Geleneksel yöntemlerle yapılan kurutmalar da çileklerin kurutulmasında sıkça kullanılan yöntemlerden biri olarak bilinmektedir (Abouelenein ve ark., 2021).

Aroma, bir gıdanın tüketici tarafından kabul edilmesinde ve tercih edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Hoş olmayan, keskin ya da yapay algılanan aromalar tüketicinin ürünü reddetmesine neden olurken; taze, doğal ve dengeli aromalar ürünün beğenilmesini ve tercih edilmesini artırmaktadır (Lubes ve Goodarzi,

2017). Gıdadaki aroma yapısı; kullanılan hammadde, işleme yöntemi, depolama koşulları ve mikrobiyal aktiviteler gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişmekte, bu değişimler de ürünün genel lezzet profilini ve tüketici algısını doğrudan etkilemektedir. Aroma aynı zamanda tat ve doku ile birlikte algılandığından, bu bileşenler arasındaki etkileşim gıdanın genel lezzetini ve tüketicinin ürünle ilgili deneyimini şekillendirmektedir (Keser ve Ozcan, 2021).

Çilek aroması her ne kadar çok fazla sayıda uçucu bileşik içerse de bu karakteristik kokuyu oluşturan temel bileşik grupları daha sınırlı bir yapıdan oluşmaktadır. Çileğe özgü karamel ve şeker kokularının kaynağı ise furanonlar olup, özellikle furaneol bu aromanın oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Çiçeksi ve narenciye benzeri kokuların hissedilmesini sağlayan terpenler arasında linalol ve geraniol öne çıkmaktadır (Yan ve ark., 2018). Taze ve yeşilimsi algıyı oluşturan aldehit ve alkol grupları da hekzanal ve hekzanol gibi bileşiklerle bu profile katkıda bulunmaktadır. Ayrıca laktonlar, çilekte zaman zaman hissedilen hafif şeftalimsi ve kremsi kokuların oluşmasına yardımcı olmaktadır. Tüm bunlara ek olarak, çok düşük seviyelerde bulunan bazı kükürtlü bileşikler de aromaya derinlik kazandırmakta ve çileğin kendine özgü doğal aroma yapısını tamamlamaktadır (Sheng ve ark., 2021; Abouelenein ve ark., 2021). Çilekte meyvemsi ve tatlı kokuların temel kaynağı olan esterler arasında etil bütanoat, metil bütanoat ve etil hekzanoat öne çıkarken, furaneol ve mesifuran gibi furanonlar çileğe karamelimsi kokular kazandırmaktadır. Linalool ve nerolidol gibi terpenler çiçeksi ve narenciye benzeri aromalardan sorumlu iken, (E)-2-hekzenal ve (Z)-3-hekzenal gibi aldehitler taze ve yeşil kokular sağlamaktadır (Yan ve ark., 2018; Sheng ve ark., 2021).

Çileklerde aroma bileşiklerinin düzeyi; çeşit, olgunluk, işleme koşulları ve özellikle kurutma

Çilekte Meyve İriliği ve Kurutma İşleminin Aroma Bileşimi Üzerine Etkileri

süreci gibi faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişebilmektedir. Kurutma sırasında uçucu bileşiklerde kayıplar yaşanabileceği gibi bazı aroma gruplarında yoğunlaşma veya yeni bileşik oluşumu da görülebilmektedir (Abouelenein ve ark., 2021; Xu ve ark., 2025). Yapılan çalışmada Pozanti'dan hasat edilmiş çileklerden elde edilen kurutulmuş ve taze ürünlerin aroma bileşiminin incelenmesi ve kurutmayla birlikte çileklerin tane iriliğinin aroma bileşimine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem

Çilek Örnekleri ve Kurutma İşlemi

Çalışma kapsamında kullanılan çilek örnekleri (*Fragaria × ananassa* Duch.) Adana ili Pozanti ilçesinden 2025 yılında temin edilmiş ve boyutlarına göre iri ve orta olmak üzere ayrılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm çilekler aynı hasat döneminde temin edilmiştir. Örneklerin tamamı yenilebilir olgunlukta, homojen kırmızı renk gelişimini tamamlamış ve ticari olgunluk kriterlerini sağlayan meyvelerden seçilmiştir. İri meyvelerin ortalama ağırlığı 27.0 ± 2.5 g, meyve çapı 37.5 ± 1.5 mm; orta boy meyvelerin ortalama ağırlığı 17.5 ± 2.5 g, meyve çapı ise 27.5 ± 2.0 mm olarak tanımlanmıştır. Ayrılan her iki grup çileğe 60°C'de endüstriyel ısı pompalı konteyner tipi kurutma kabini içinde 8 saat kurutma uygulanmıştır. Kuru çileklerin son nem oranı %9 olarak ölçülmüştür. Kurutulan çilekler, bekletilmeden analizlere başlanmıştır.

Aroma Bileşikleri Ekstraksiyonu

2025 yılında elde edilen çileklerin (her bir örnek yaklaşık 5 kg) aroma bileşikleri "Purge and Trap" yöntemiyle ekstrakte edilmiştir. Bu amaçla 6 g çilek örneği 20 mL'lik cam viallere alınmış ve iç standart olarak 41,5 µg 4-nonanol ile 40 µg 2-metil-3-heptanon eklenmiştir. Kapaklar kapatıldıktan sonra taşıyıcı gaz ve tuzak bağlantıları için iki delik açılmış, kullanım öncesi tuzaklar 6 mL diklorometan ile şartlandırılmıştır. Örnekler gaz akışı başlamadan önce 60°C su banyosunda 10 dakika ön

inkübasyona tabi tutulmuş, ardından 500 mL/dk azot akışı sağlanarak aroma bileşikleri 200 mg Lichrolut EN reçineli tuzaklarda 90 dakika tutulmuştur. Daha sonra tuzaklar çıkarılarak 12 mL diklorometan ile yıkanmış, susuz sodyum sülfat ile dehidrasyon yapılmış ve elde edilen ekstraktın hacmi Vigreux kolonunda 50°C'de 0.5 mL'ye düşürülerek viallere alınmış ve -18°C'de saklanmıştır (Rodriguez -Bencomo ve ark., 2015; Sonmezdag ve ark., 2017; Kesen, 2020).

GC-MS ve GC-FID Koşulları

Aroma bileşiklerinin tanımlanması ve miktar tayini için Shimadzu Nexis GC-2030 gaz kromatografisi ve Shimadzu GC-MS-QP2020 Ny kütle spektrometresi kullanılmıştır. Aroma maddelerinin miktar tayini GC-FID ile yapılmış, DB-WAX kapiler kolon (60 m × 0,25 mm × 0,4 µm) kullanılmıştır. Sıcaklık programı 60°C'de 3 dakika bekleme, ardından dakikada 2°C artışla 220°C'ye, daha sonra dakikada 3°C artışla 245°C'ye çıkış ve 20 dakika bekleme şeklinde uygulanmıştır. Enjektör sıcaklığı 220°C, dedektör sıcaklığı 250°C olarak ayarlanmış, 2 µl örnek enjekte edilmiştir. Taşıyıcı gaz olarak 1.5 ml/dk akış hızında helyum kullanılmıştır. Aroma bileşiklerinin tanımlanması, kütle spektrumlarının Wiley 10.0, NIST-11 ve Flavor-2L kütüphaneleri ile karşılaştırılması veya standart çözeltilerin enjeksiyonu ile yapılmıştır. MS analizlerinde iyonlaşma enerjisi 70 eV, iyon kaynağı sıcaklığı 250°C, kuadropol sıcaklığı 120°C'de sabit tutulmuş ve 29–350 m/z aralığında tarama yapılmıştır. Bileşiklerin kantitatif tayininde, iç standart yöntemi ve kalibrasyon eğrileri kullanılmış; hesaplamalarda her bileşiğin cevap faktörü dikkate alınmıştır (Kelebek ve Selli, 2011; Topi, 2020).

İstatistiksel Analizler

Kurutma uygulanmış ve taze çilek örneklerinin analiz sonuçları uluslararası literatürlerle karşılaştırılmış ve elde edilen veriler, SPSS 22

Çilekte Meyve İriliği ve Kurutma İşleminin Aroma Bileşimi Üzerine Etkileri

paket programı (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) yardımıyla %95 güven seviyesinde ($p \leq 0.05$) varyans analizine tabi tutulmuş ve Duncan çoklu karşılaştırma testine göre, önemli bulunan farklılıklar incelenmiştir. Ayrıca, sonuçlar arasındaki fark, Metsalu ve Vilo (2015) tarafından geliştirilen ısı haritası ve kümeleme analizleri uygulanarak da incelenmiştir.

Sonuç

Bu çalışma, Adana ili Pozantı ilçesinden temin edilen iri ve orta boyutlardaki çilek örneklerinin hem taze hem de kurutulmuş halleriyle aroma profilleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Bulgular, işleme yöntemi (kurutma) ve meyve boyutunun aroma bileşikleri üzerinde anlamlı etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. Toplam 37 uçucu bileşik tanımlanmış ve esterler, aldehitler, alkoller, ketonlar, asitler, laktonlar ile terpen/terpenoidler olarak gruplandırılmıştır. Bu çeşitlilik literatürde çilek meyvelerinin zengin aroma bileşimiyle uyumludur (Abouelenein ve ark., 2023).

Taze çileklerde esterler baskın gruptur. Etil bütanoat iri taze çilek (ÇT-İ) örneğinde 1712 $\mu\text{g/kg}$ ile en yüksek konsantrasyonda bulunurken, kurutma sonrası orta boy kuru çilek (ÇK-O) örneğinde 109 $\mu\text{g/kg}$ 'ye düşmüştür. Etil pentanoat da aynı eğilimi göstererek ÇT-İ örneğinde 431 $\mu\text{g/kg}$ 'den ÇK-O örneğinde 2.1 $\mu\text{g/kg}$ 'ye gerilemiştir ($p < 0.05$). Esterlerde görülen miktar düşüşü, kısa zincirli esterlerin düşük kaynama noktaları ve termal duyarlılıklarıyla açıklanmaktadır (Abouelenein ve ark., 2021; Tekgül & Erten, 2022). Etil bütanoat ve etil pentanoat gibi bileşikler çileğin karakteristik meyvemsi-tatlı kokusunun temel taşlarıdır (Yan ve ark., 2018). Bu kayıplar, kuru çileğin taze çileğe özgü ferah meyve aromasını büyük ölçüde yitirmesine neden olmaktadır. Benzer sonuçlar, sıcak hava kurutması (Tekgül & Erten, 2022) ve konveksiyonel kurutmada (Abouelenein ve ark., 2021) da rapor edilmiştir.

Alkoller ve aldehitler grubu ise çileğe yeşilimsi ve otsu karakter katan uçucu bileşiklerdir. Aldehitlerden hekzanal taze örneklerde yüksek (ÇT-İ: 166 $\mu\text{g/kg}$) iken kuru örneklerde önemli ölçüde azalmış (ÇK-O: 27.1 $\mu\text{g/kg}$); nonanal ise tam tersi olarak ÇT-İ örneğinde 723 $\mu\text{g/kg}$ iken iri kuru çilek (ÇK-İ) örneğinde 1657 $\mu\text{g/kg}$ 'ye yükselmiştir. Bu sonuçlar, kurutmanın bazı aldehitleri oksidatif yıkıma uğratabileceğini veya farklı bileşiklerin öncül maddesi olarak görev yapabileceğini düşündürmektedir (Yan ve ark., 2018). Ayrıca aldehitlerde gözlenen bu iki yönlü davranışla nonanalın belirgin artışı, yağ asidi oksidasyonu ve Maillard reaksiyonlarının bir ürünü olarak değerlendirilmektedir (Abouelenein ve ark., 2021). Nonanalın kuru örneklerdeki yüksek seviyesi, kuru çileğe hafif yağlı ve mumsu bir karakter katabilmektedir. Alkol grubu bileşiklerde, 3-penten-2-ol orta boy taze çilek (ÇT-O) örneğinde 3603 $\mu\text{g/kg}$ ile en yüksek değere ulaşmış, ÇT-İ örneğinde ise 1098 $\mu\text{g/kg}$ olarak ölçülmüştür. Kurutma sonrası ÇK-İ örneğinde 2353 $\mu\text{g/kg}$ ve ÇK-O örneğinde 2208 $\mu\text{g/kg}$ 'ye düşmüştür, ancak hala yüksek seviyededir. Özellikle, yeşil notlu alkoller ((*E*)-3-hekzen-1-ol, (*Z*)-3-hekzen-1-ol, 2-hekzanol) taze örneklerde baskınken kurutmada belirgin azalma göstermiştir. 3-Penten-2-ol'ün taze orta boy örneklerde beklenmedik derecede yüksek seviyesi (3603 $\mu\text{g/kg}$), orta boy meyvelerin daha yoğun lipoksijenaz aktivitesi veya daha hızlı C5 yolak metabolizması nedeniyle yeşilimsi-keskin alkol birikimini artırdığını düşündürmektedir (Sheng ve ark., 2021).

Terpen grubu bileşikler, çiçeksi ve narenciye benzeri aromaların kaynağı olarak kabul edilmektedir. Nerolidol gibi terpenlerin, özellikle taze iri ve orta boy örneklerde kuru örneklerle kıyasla daha yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Kurutma işlemi sırasında bu bileşiklerin önemli oranda azaldığı gözlemlenmiştir. Terpenlerin termal stabilitelerinin düşük olması bu sonucu

Çilekte Meyve İriliği ve Kurutma İşleminin Aroma Bileşimi Üzerine Etkileri

desteklemektedir (Sheng ve ark., 2021). Bununla birlikte, terpen grubu bileşikler arasında dikkat çekici bir ayrışma gözlenmiştir. Limonen ve linalool gibi monoterpen alkoller, aksine kurutma işlemi sonrasında belirgin bir artış göstermiştir; limonen taze iri örneklerde 795 µg/kg iken kuru iri örneklerde 1125 µg/kg'ye, linalool ise 239 µg/kg'den 614 µg/kg'ye yükselmiştir ($p < 0,05$). Bu artış, çilek dokusunda glikozidik bağlı formda bulunan monoterpenlerin 60 °C'deki termal hidroliziyle serbest hale geçmesi ve matriksin su kaybı nedeniyle konsantrasyon etkisiyle açıklanabilir (Yan ve ark., 2018; Tekgül & Erten, 2022).

Asit ve lakton grubu bileşiklerinde ise değişen düzeylerde farklılıklar tespit edilmiştir. γ -Dekalakton gibi aroma bileşikleri özellikle kurutulmuş örneklerde bazı varyantlarda artış göstermiştir. Bu durum, bazı laktonların daha yüksek sıcaklıklarda daha kararlı hale gelmesiyle açıklanabilir (Kelebek & Selli, 2011). Çalışmamızda γ -dekalakton taze iri örneklerde 75.0 µg/kg iken kuru iri örneklerde 88.5 µg/kg'ye yükselmiş; kuru orta örneklerde ise 68.3 µg/kg olarak ölçülmüştür. Bu hafif artış, lakton halkasının termal olarak oldukça stabil olması ve aynı zamanda γ -dekalaktonun öncül maddesi olan hidroksi asitlerin kurutma sırasında kısmi dehidrasyonu ile yeni lakton oluşumuyla açıklanabilir.

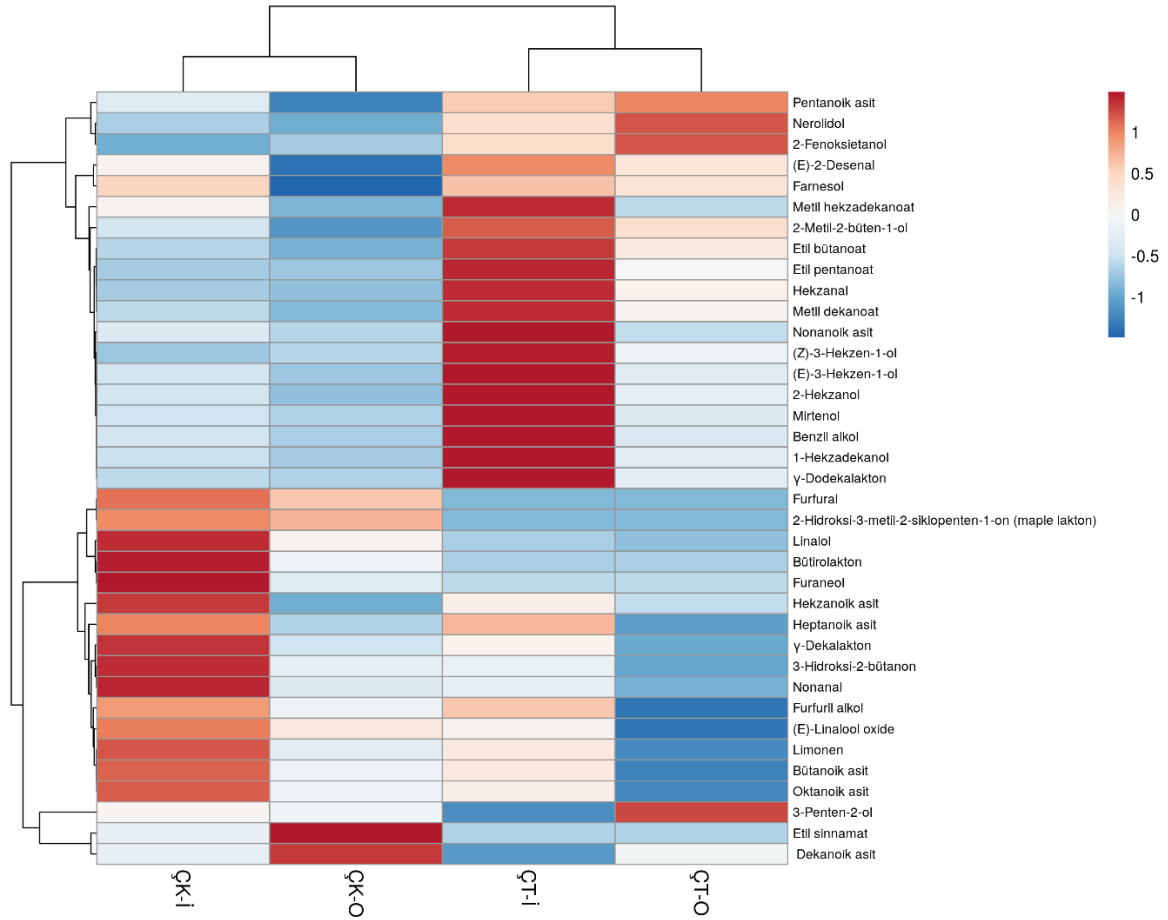
Çilekte Meyve İriliği ve Kurutma İşleminin Aroma Bileşimi Üzerine Etkileri

Tablo 1. Çilek örneklerinin aroma bileşimi

No	LRI*	Bileşik	ÇT-İ	ÇT-O	ÇK-İ	ÇK-O	Tanımlama
1	1030	Etil bütanoat	1712±98.2 ^a	922±47.9 ^b	325±16.5 ^c	109±6.1 ^d	LRI, MS, Std
2	1055	Etil pentanoat	431±13.0 ^a	145±8.2 ^b	7.9±0.3 ^c	2.1±0.1 ^d	LRI, MS, Std
3	1061	Hekzanal	166±5.7 ^a	84.1±3.7 ^b	33.0±1.9 ^c	27.1±1.2 ^d	LRI, MS, Std
4	1121	3-Penten-2-ol	1098±42.9 ^d	3603±128 ^a	2353±136.9 ^b	2208±80.7 ^c	LRI, MS, Std
5	1173	Limonen	795±36.0 ^b	293±16.6 ^d	1125±44.6 ^a	614±30.4 ^c	LRI, MS, Std
6	1203	3-Hidroksi-2-bütanon	78.8±3.4 ^b	5.7±0.2 ^d	214±11.0 ^a	74.2±3.4 ^c	LRI, MS, Std
7	1221	(E)-3-Hekzen-1-ol	1233±64.3 ^a	307±13.3 ^b	208±11.7 ^c	63.8±3.0 ^d	LRI, MS, Std
8	1237	2-Hekzanol	2668±198 ^a	1522±77.7 ^b	974±47.8 ^d	187±8.1 ^c	LRI, MS, Std
9	1247	2-Metil-2-büten-1-ol	312±13.1 ^a	233±12.3 ^b	148±6.2 ^c	82.3±4.4 ^d	LRI, MS, Std
10	1308	(Z)-3-Hekzen-1-ol	844±47.1 ^a	317±17.6 ^b	104±5.0 ^d	152±7.2 ^c	LRI, MS, Std
11	1343	Nonanal	723±26.7 ^b	317±15.7 ^d	1657±69.4 ^a	631±22.8 ^c	LRI, MS, Std
12	1365	Furfural	S	S	521±20.4	394±18.5	LRI, MS, Std
13	1413	(E)-Linalool oxide	84.2±4.8 ^c	20.9±1.2 ^d	125±6.7 ^a	91.1±4.5 ^b	LRI, MS, Std
14	1489	Linalol	239±10.9 ^c	216±11.5 ^d	614±32.3 ^a	377±19.1 ^b	LRI, MS, Std
15	1513	Bütanolakton	S	S	321±16.9	78.8±3.2	LRI, MS, Std
16	1525	Bütanoik asit	55.8±3.1 ^b	23.3±1.1 ^d	74.7±3.9 ^a	47.7±1.9 ^c	LRI, MS, Std
17	1549	Furfüril alkol	48.4±2.5 ^b	23.5±1.3 ^d	51.5±2.7 ^a	39.0±1.7 ^c	LRI, MS, Std
18	1563	Metil dekanat	918±35.8 ^a	392±20.5 ^b	143±8.8 ^c	45.4±2.4 ^d	LRI, MS, Std
19	1577	(E)-2-Desenal	99.5±4.9 ^a	87.1±4.8 ^b	82.5±4.0 ^c	54.9±2.9 ^d	LRI, MS, Std
20	1615	Pentanoik asit	19.6±0.7 ^b	21.8±1.0 ^a	14.7±0.7 ^c	9.6±0.4 ^d	LRI, MS, Std
21	1698	Mirtenol	50.4±2.1 ^a	15.3±0.7 ^b	12.2±0.5 ^c	9.6±0.3 ^d	LRI, MS, Tent
22	1735	Hekzanoik asit	346±13.7 ^b	288±15.7 ^c	437±25.2 ^a	258±13.2 ^d	LRI, MS, Std
23	1755	Benzil alkol	167±7.7 ^a	49.8±2.4 ^b	43.2±2.4 ^c	30.4±1.5 ^d	LRI, MS, Std
24	1830	Heptanoik asit	454±23.6 ^b	188±10.1 ^d	498±21.2 ^a	252±12.6 ^c	LRI, MS, Std
25	1835	2-Hidroksi-3-metil-2-siklopenten-1-on (maple lakton)	S	S	81.6±3.8	71±3.4	LRI, MS, Std
26	1874	Furaneol	S	S	51.7±1.7	7.2±0.3	LRI, MS, Std
27	1877	1-Hekzadekanol	113±4.4 ^a	32.2±1.1 ^b	19.3±1.0 ^c	11.8±0.6 ^d	LRI, MS, Tent
28	1913	Oktanoik asit	447±19.3 ^b	359±20.7 ^d	511±21.9 ^a	429±17.4 ^c	LRI, MS, Std
29	1932	Nerolidol	203±11.4 ^b	295±16.1 ^a	81.4±3.6 ^c	51.4±2.8 ^d	LRI, MS, Std
30	1966	2-Fenoksietanol	59.5±3.0 ^b	83.9±5.0 ^a	16.4±0.7 ^d	24.2±1.1 ^c	LRI, MS, Tent
31	1980	Etil sinamat	S	S	12.3±0.5	56.4±2.7	LRI, MS, Std
32	1996	γ-Dekalakton	75.0±4.2 ^b	62.9±3.2 ^d	88.5±4.7 ^a	68.3±3.1 ^c	LRI, MS, Std
33	2003	Nonanoik asit	641±24.4 ^a	387±19.5 ^c	414±24.5	378±19.5 ^d	LRI, MS, Std
34	2095	Dekanoik asit	116±5.3 ^c	134±5.6 ^b	132±6.2 ^b	159±7.1 ^a	LRI, MS, Std
35	2113	Metil hekzadekanat	190±10.1 ^a	44±2.0 ^c	92.2±5.4 ^b	21.4±0.9 ^d	LRI, MS, Std
36	2205	γ-Dodekalakton	705±32.8 ^a	174±8.7 ^b	66.2±2.7 ^c	52.8±2.8 ^d	LRI, MS, Std
37	2387	Farnesol	425±20.3 ^a	395±20.8 ^c	412±20.8 ^b	222±11.2 ^d	LRI, MS, Std

*LRI: Linear alıkonma indeksi DB-WAX kapılar kolon üzerinde hesaplanmıştır. Tanımlama: LRI (Linear alıkonma indeksi), MS (Kütle spektrometresi kütüphanesi), Std (Standart kimyasal madde), MS tent (MS ile tentatif tanımlama); S: Saptanmadı. ^{a-d} Aynı satırdaki farklı üstel harfler örnekler arasında önemli bir fark olduğunu göstermektedir (p<0.05). ÇT-İ: Taze iri çilek, ÇT-O: Taze orta boy çilek, ÇK-İ: Kuru iri çilek, ÇK-O: Kuru orta boy çilek

Çilekte Meyve İriliği ve Kurutma İşleminin Aroma Bileşimi Üzerine Etkileri



Şekil 1. Kurutma ve tane iriliğinin çilekte bulunan aroma maddelerine etkisinin gösterildiği ısı haritası

Öte yandan, γ-dodekalakton taze iri örneklerde 705 µg/kg gibi çok yüksek bir seviyede bulunurken kuru iri örneklerde 66.2 µg/kg'ye dramatik bir düşüş göstermiştir ($p < 0,05$). Bu kayıp, daha uzun zincirli laktonların termal degradasyona ve oksidatif açılmaya daha duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır (Tekgül & Erten, 2022). Asit grubunda ise bütanoik, hekzanoik ve oktanoik asit kuru örneklerde anlamlı artış göstermiştir. Hekzanoik asit kuru iri örneklerde 437 µg/kg ile en yüksek seviyeye ulaşırken, oktanoik asit de kuru orta örneklerde 429 µg/kg olarak belirgin bir konsantrasyona sahiptir. Bu artış, lipid hidrolizi ve kısa-orta zincirli yağ asitlerinin serbest hale geçmesiyle ilişkilendirilebilir (Sheng ve ark., 2021). Yüksek kaynama noktaları nedeniyle asitler kurutma sırasında uçucu kayıp yaşamamakta; aksine su

kaybıyla relatif konsantrasyonları artmaktadır. Sonuç olarak, kuru çileklerde gözlenen lakton ve asit profili, taze çileğe özgü şeftalimsi-kremisi karakterin (γ-dodekalakton) büyük ölçüde kaybolduğunu, ancak yerine daha yoğun hindistan cevizi-şeftali (γ-dekalakton) ve hafif fermente-peynirimsi (orta zincirli asitler) notların geldiğini göstermektedir.

Furfural, furaneol, bütirolakton, maple lakton ve etil sinamat gibi bileşikler yalnızca kuru örneklerde tespit edilmiş; furaneol ÇK-İ örneğinde 51.7 µg/kg, furfural ise 521 µg/kg ile karamelimsi karakterin ana kaynağı olmuştur.

Isı haritası ve kümeleme analizi, taze ve kuru örneklerin aroma profillerinin tamamen ayrıldığını net bir şekilde göstermiştir (Şekil 1) (Metsalu & Vilo, 2015). Esterler ve C6 bileşikleri taze kümesinde, laktonlar ve uzun

zincirli aldehyt/asitler kuru kümesinde baskındır. Bu ayırım, kurutmanın sadece kayıp değil aynı zamanda yeni aroma oluşumuyla sonuçlandığını doğrulamaktadır.

Tane iriliği etkisi, iri meyvelerin genellikle daha yüksek uçucu bileşik konsantrasyonuna sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, iri meyvelerin daha fazla biyosentez kapasitesi, daha yüksek su içeriği ve enzim aktivitesi ile ilişkilendirilebilir (Sheng ve ark., 2021). Kurutmada farkın kısmen azalması, uçucu kayıplarının irilikten bağımsız olarak gerçekleştiğini, ancak matriks etkisinin iri meyvelerde daha koruyucu olabileceğini düşündürmektedir. Elde edilen bulgular, çilek işleme süreçlerinin uçucu aroma bileşikleri üzerindeki etkilerini anlamak açısından önemli bilgiler sağlamaktadır. Taze örneklerde özellikle esterler, terpenler ve alkol türevlerinin yoğunluğu dikkat çekerken, kurutma sonrası bu bileşiklerde önemli azalmalar gözlemlenmiştir. Kurutulmuş örneklerde ise bazı alkol ve asit bileşiklerinde artış yaşanması, kurutma sırasında belirli metabolik yolların aktive olabileceğini düşündürmektedir.

Kaynaklar

- Abouelenein, D., Mustafa, A. M., Angeloni, S., Borsetta, G., Vittori, S., Maggi, F., ... & Caprioli, G. (2021). Influence of freezing and different drying methods on volatile profiles of strawberry and analysis of volatile compounds of strawberry commercial jams. *Molecules*, 26(14), 4153.
- Abouelenein, D., Acquaticci, L., Alessandrini, L., Borsetta, G., Caprioli, G., Mannozi, C., ... & Mustafa, A. M. (2023). Volatile profile of strawberry fruits and influence of different drying methods on their aroma and flavor: A review. *Molecules*, 28(15), 5810.
- Ariza, M., Reboredo-Rodríguez, P., Mazzoni, L., Forbes-Hernández, T., Giampieri, F., Afrin, S., Gasparrini, M., Soria, C., Martínez-Ferri, E., Battino, M., & Mezzetti, B. (2016). Strawberry achenes are an important source of bioactive compounds for human health. *International Journal of Molecular Sciences*, 17.
- Atazhanova, G. A., Kurmantayeva, G. K., Levaya, Y. K., Ishmuratova, M. Y., & Smagulov, M. K. (2025). A review of botany, phytochemistry, and biological activities of *Fragaria vesca* and *Fragaria viridis* widespread in Kazakhstan. *Plants*, 14(13), 2027.
- Banaszewski, K., Park, E., Edirisinghe, I., Cappozzo, J. C., & Burton-Freeman, B. M. (2013). A pilot study to investigate bioavailability of strawberry anthocyanins and characterize postprandial plasma polyphenols absorption patterns by Q-TOF LC/MS in humans. *Journal of Berry Research*, 3(2), 113-126.
- Duan, M., Wang, H., Song, K., Liu, H., Jiang, S., Feng, J., Jiang, S., Rao, M., Rauf, A., Ikram, M., Khurram, M., Tahira, M., Yang, S., & Duan, X. (2025). Integrated transcriptomic and metabolomic provide insights into strawberry bioactive compounds and antioxidant activities under varying ecological conditions. *Horticulturae*, 11(5), 533.
- Giampieri, F., Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparrini, M., Alvarez-Suarez, J. M., Afrin, S., Bompadre, S., ... & Battino, M. (2015). Strawberry as a health promoter: an evidence-based review. *Food & function*, 6(5), 1386-1398.
- Golovinskaia, O., & Wang, C. K. (2021). Review of functional and pharmacological activities of berries. *Molecules*, 26(13), 3904.
- Hardigan, M., Feldmann, M., Lóránt, A., Bird, K., Famula, R., Acharya, C., Cole, G., Edger, P., & Knapp, S. (2020). Genome

- synteny has been conserved among the octoploid progenitors of cultivated strawberry over millions of years of evolution. *Frontiers in Plant Science*, 10.
- Kelebek, H., & Selli, S. (2011). Characterization of phenolic compounds in strawberry fruits by RP-HPLC-DAD and investigation of their antioxidant capacity. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 34(20), 2495-2504.
- Kelebek, H., & Selli, S. (2011). Evaluation of chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars, *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 2530–2537.
- Kesen, S. (2020). Characterization of aroma and aroma-active compounds of Turkish turmeric (*Curcuma longa*) extract. *Journal of Raw Materials to Processed Foods*, 1(1), 13-21.
- Keser, G., & Ozcan, T. (2020). Determining product development and consumer strategies with food texture-aroma interactions. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 6(10).
- Lei, J. J., Xue, L., Dai, H. P., & Deng, M. Q. (2012, February). The taxonomy of Chinese *Fragaria* species. In VII International Strawberry Symposium 1049 (pp. 289-294).
- Lim, S., Lee, J., Lee, H., Park, K., Kim, D., Min, S., Jang, W., Kim, T., & Kim, H. (2017). The genetic diversity among strawberry breeding resources based on SSRs. *Scientia Agricola*, 74, 226-234.
- Lubes, G., & Goodarzi, M. (2017). Analysis of volatile compounds by advanced analytical techniques and multivariate chemometrics. *Chemical Reviews*, 117(9), 6399-6422.
- Manganaris, G., Goulas, V., Vicente, A., & Terry, L. (2014). Berry antioxidants: small fruits providing large benefits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94 5, 825-33.
- Metsalu, T., & Vilo, J. (2015). ClustVis: a web tool for visualizing clustering of multivariate data using Principal Component Analysis and heatmap. *Nucleic Acids Research*, 43(1), 566-570.
- Priyadarshi, R., Jayakumar, A., De Souza, C., Rhim, J., & Kim, J. (2024). Advances in strawberry postharvest preservation and packaging: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23 4, e13417.
- Rodriguez-Bencomo, J. J., Kelebek, H., Sonmezdag, A. S., Rodríguez-Alcala, L. M., Fontecha, J., & Selli, S. (2015). Characterization of the aroma-active, phenolic, and lipid profiles of the pistachio (*Pistacia vera* L.) nut as affected by the single and double roasting process, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 7830–7839.
- Sheng, L., Ni, Y., Wang, J., Chen, Y., & Gao, H. (2021). Characteristic-aroma-component-based evaluation and classification of strawberry varieties by aroma type. *Molecules*, 26.
- Song, Y., Li, C., Liu, L., Hu, P., Li, G., Zhao, X., & Zhou, H. (2023). The population genomic analyses of chloroplast genomes shed new insights on the complicated ploidy and evolutionary history in *Fragaria*. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Sonmezdag, A. S., Kelebek, H., & Selli, S. (2017). Identification of aroma compounds of Lamiaceae species in Turkey using the purge and trap technique. *Foods*, 6(2), 10.
- Tekgöl, Y., & Erten, E. S. (2022). Quality properties and headspace volatiles of hot air-dried strawberries. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94(2), e20201277.

Çilekte Meyve İriliği ve Kurutma İşleminin Aroma Bileşimi Üzerine Etkileri

- Topi, D. (2020). Volatile and chemical compositions of freshly squeezed sweet lime (*Citrus limetta*) juices. *Journal of Raw Materials to Processed Foods*, 1(1), 22-27.
- Urrutia, M., Schwab, W., Hoffmann, T., & Monfort, A. (2016). Genetic dissection of the (poly)phenol profile of diploid strawberry (*Fragaria vesca*) fruits using a NIL collection. *Plant Science: An International Journal of Experimental Plant Biology*, 242, 151-168.
- Van De Velde, F., Tarola, A., Güemes, D., & Pirovani, M. (2013). Bioactive compounds and antioxidant capacity of Camarosa and Selva strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Foods*, 2, 120 - 131.
- Xu, S., Shi, D., F., Tao, G., Xu, J., Meng, L., Chen, H., Cao, S., Lin, D., Fei, Q., Liu, Y., & Wu, S. (2025). Discrimination and characterization of the aroma profile in four strawberry varieties cultivated under substrates. *Foods*, 14.
- Yan, J., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Poverenov, E., Luo, Z., & Li, L. (2018). The aroma volatile repertoire in strawberry fruit: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98 12, 4395-4402.