



AROMA MADDELERİNİN SALINIMINDA ETKİLİ FAKTÖRLER

Ozlem Kilic Buyukkurt¹, Serkan Selli^{2*}

¹ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Bölümü, Kadirli-Osmaniye, Türkiye

² Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

Geliş / *Received*: 20.08.2019; Kabul / *Accepted*: 15.01.2020; Online baskı / *Published online*: 17.02.2020

Kilic Büyükkurt, O., Selli, S. (2020). Aroma maddelerinin salınımında etkili faktörler. *GIDA (2020) 45 (2): 204-216 doi: 10.15237/gida.GD19122*

Kilic Büyükkurt, O., Selli, S. (2020). Factors affecting on the release of aroma compounds. GIDA (2020) 45 (2): 204-216 doi: 10.15237/gida.GD19122

ÖZ

Aroma maddeleri, bir gıda ürününün lezzetini ve kalitesini belirleyen en önemli gıda bileşenlerinden birisidir. Aroma maddelerinin farklı termodinamik ve fizikokimyasal özelliklere sahip olmaları uçuculuklarını önemli derecede etkilemektedir. Gıdalar protein, yağ, karbonhidrat ve fenolik bileşikler gibi çok karmaşık bir matrisi içermekte ve aroma maddeleri, matrisi oluşturan bu bileşenler ile karşılıklı etkileşimlerde bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak aroma maddelerinin bulunduğu ortamda uçuculukları da değişmektedir. Bunun yanı sıra gıdaların tekstürü, viskozitesi, yapısı, işlenmesi ve/veya depolanması sırasında meydana gelen Maillard reaksiyonu sonucu oluşan ürünler, tükürük bileşimi ve tuz gibi katkı maddeleri de aroma maddelerinin uçuculuklarına etki etmektedir. Bu derlemede; aroma maddelerinin termodinamik ve fizikokimyasal özelliklerinin, aroma maddeleri ile gıda matrisi arasında oluşan etkileşimlerin ve diğer bazı faktörlerin aroma maddelerinin uçuculuğuna nasıl etki yaptığının aydınlatılması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Aroma, gıda, uçuculuk, salınım, partiyon katsayısı

FACTORS AFFECTING ON THE RELEASE OF AROMA COMPOUNDS

ABSTRACT

Aroma compounds are one of the most important food components which are representing the flavor and quality of a food product. The different thermodynamic and physicochemical properties of aroma compounds have a significant effect on their volatility. Food contains a very complex matrix, such as protein, lipid, carbohydrate and phenolic compounds and aroma compounds interact with these components. As a result, the volatility of the aroma compounds may change. In addition, the texture, viscosity, structure of foods, the products formed as a result of Maillard reaction during processing and/or storage of foods, composition of human saliva and additives like salt affect the volatility of the aroma compounds. In this review; it was aimed to clarify the thermodynamic and physicochemical properties of aroma compounds, the interaction between aroma compounds and food matrix and some other factors how affect the volatility of aroma compounds.

Keywords: Aroma, food, volatility, release, partition coefficient

* Yazışmalardan sorumlu yazar/ *Corresponding author*

✉: sselli@cu.edu.tr

☎: (+90) 322 338 6173;

☎: (+90) 322 338 6173

Ozlem Kilic Buyukkurt; ORCID no: 0000-0001-5786-6655

Serkan Selli; ORCID no: 0000-0003-0450-2668

GİRİŞ

Günümüzde tüketiciler tarafından gıdaların seçimi ve kabul edilebilirliğinde organoleptik özelliklerden biri olan aroma önemli bir kalite kriteri olarak dikkati çekmektedir (Kesen ve Selli, 2012; Selli ve Uçkun, 2012). Aroma, burun boşluğundaki koku alma duyusuna (olfaktör reseptörlerine) ulaşarak algılanan uçucu bileşiklerdir (Genovese vd., 2015b; Yaparel ve Elmacı, 2016). Bu bileşikler düşük moleküler ağırlığa (<300 Da) ve yüksek buhar basıncına sahiptir (Jeleń ve Gracka, 2016; Keser vd., 2020). Gıdalarda bulunan aroma maddeleri, yüzlerce bileşikten oluşmakta ve miktarları $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan ng/kg seviyelerine kadar değişebilmektedir (Maarse, 1991; Güneşer ve Karagül Yüceer, 2010; Kesen vd., 2014). Bu bileşikler; terpenler, alkoller, aldehitler, ketonlar, esterler, laktonlar, azotlu ve kükürtlü bileşikler, uçucu fenoller ve uçucu asitler şeklinde gruplandırılmaktadır (Bortnowska ve Goluch, 2018; Ben Brahim vd. 2018).

Gıdalarda, kokuya potansiyel katkı sağlayan 8000'den fazla aroma maddesi tanımlanmıştır. Bu aroma maddelerin hidrofobiklik ($\log P$), çözünürlük, doymuş buhar basıncı, uçuculuk, moleküler ağırlık gibi fizikokimyasal özellikleri birbirinden oldukça farklılık göstermektedir (Jeleń ve Gracka, 2016; Bortnowska ve Goluch, 2018; Jedlińska vd., 2018). Aroma maddelerinin bu özellikleri sıcaklık, ışık, oksijen ve nemden etkilenmektedir (Bakry vd., 2016; Saifullah vd., 2019). Gıdaların aroması, farklı fizikokimyasal özelliklere sahip aroma maddeleri arasındaki dengeden kaynaklanmaktadır. Bu aroma maddelerinin uçuculuğuna, gıdadan salınmalarına, genel olarak algılanan aroma yoğunluğuna ve aroma kalitesine etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bunlar temel olarak; aroma maddelerinin termodinamik özelliği (partisyon katsayısı), fizikokimyasal özelliği, konsantrasyonu, kimyasal yapısı; gıda matrisinin bileşimi, tekstürü, yapısı; aroma maddesi ile gıda matrisi arasındaki etkileşimler ve tükürük bileşimidir (Bezman vd., 2003; Eker ve Cabaroğlu, 2018; Ammari ve Schroen, 2018; Saifullah vd., 2019).

AROMA MADDELERİNİN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN ETKİSİ

Aroma maddeleri, gaz fazına geçme yeteneklerine bağlı olarak karmaşık bir sistem olan gıda matrisinden gaz fazına doğru taşınmaktadır. Bu maddelerin gaz fazına taşınması sonucu, gıdaların koklanması veya tüketimi sırasında algılanan kokular oluşmaktadır (Wang ve Arntfield, 2017). Partisyon katsayısı (K), aroma maddesinin gıdanın üzerinde bulunan tepe boşluğundaki denge konsantrasyonunun, gıda matrisi içindeki toplam konsantrasyonuna oranı olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz ve İşleten, 2004; Rayne ve Forest, 2016; Ammari ve Schroen, 2018; Sgorbini vd., 2019). Termodinamik olarak dengede bulunan bir aroma maddesinin gaz fazı ve sıvı fazı arasındaki konsantrasyon oranı olarak da tanımlanan partisyon katsayısının belirlenmesinde aroma maddesinin buhar basıncı önemli rol oynamaktadır (Seuvre ve Voilley, 2017). Aroma maddelerinin uçuculuğunun belirlenmesinde hava/su partisyon katsayısı (K_{aw}) ve aroma maddelerinin lipofilik özelliklerinin belirlenmesinde de yağ/su partisyon katsayısı (K_{ow}) kullanılmaktadır. Genellikle yağ fazı için hidrofobik aroma maddelerinin çözünmesi amacıyla n -oktanol kullanılmaktadır (Tamaru vd., 2018). Hava/su partisyon katsayısı, (1) numaralı denklem, n -oktanol/su partisyon katsayısı ise (2) numaralı denklem ile aşağıda ifade edilmektedir:

$$K_{aw} = C_G / C_L \quad (1)$$

$$K_{ow} = C_O / C_W \quad (2)$$

(1) numaralı denklemde K_{aw} , hava/su partisyon katsayısını; C_G aroma maddesinin tepe boşluğundaki (gaz faz) konsantrasyonunu ve C_L , aroma maddesinin matristeki (sıvı faz) konsantrasyonunu; (2) numaralı denklemde ise K_{ow} , n -oktanol/su partisyon katsayısını, C_O aroma maddesinin oktanol fazındaki konsantrasyonunu ve C_W aroma maddesinin su fazındaki konsantrasyonunu göstermektedir (Paravisini ve Guichard, 2016; Ammari ve Schroen, 2018; Tamaru vd., 2018). Partisyon katsayısı, hem aroma maddesinin hidrofobik yapısı, polaritesi, moleküler ağırlığı, sahip olduğu fonksiyonel gruplar gibi fizikokimyasal özelliklerine hem de

gıda matrisinin bileşimine ve yapısına bağlı olarak değişebilmektedir (Tromelin vd., 2010; Ployon vd., 2017; Tamaru vd., 2018; Guo vd., 2019). Aroma maddelerinin hidrofobik özelliği arttıkça daha yüksek partiyon katsayısına sahip olmaktadır (Xu vd., 2017). Bunların yanı sıra sıcaklık, pH gibi çevresel faktörler de partiyon katsayısını etkilemektedir (Rayne ve Forest, 2016; Piombino vd., 2019). Sıcaklık, aroma maddelerinin doğrudan veya dolaylı olarak tutulmasını ve dolayısıyla partiyon katsayısını etkilemektedir (Steen vd., 2017). Yüksek sıcaklıklarda, gıdanın tepe boşluğunda daha fazla aroma maddesinin bulunması doğrudan etki; sıcaklığın proteinlerin bağlanma bölgelerini etkileyerek üçüncül ve kuaterner yapıdaki meydana getirdiği değişiklikler ise dolaylı etki olarak ifade edilmektedir (Ammari ve Schroen, 2018). Kahve lezzet algısı ve aroma maddelerinin salınması üzerine sıcaklığın etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada, artan sıcaklıkla birlikte aroma maddelerin büyük çoğunluğunun uçuculuğunun önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Bunun nedenin, aroma maddelerinin kısmi basıncının sıcaklığa bağlı olduğu, artan sıcaklığın daha fazla buharlaşmaya ve dolayısıyla daha fazla aroma maddesinin salınmasına yol açtığı şeklinde değerlendirilmiştir (Steen vd., 2017).

Gıdanın pH değerinde meydana gelen değişimler gıda matrisinin fiziksel ve kimyasal yapısını etkilemektedir. Değişen matris yapısı da içerisinde bulunan aroma maddelerinin konsantrasyonunu dolayısıyla partiyon katsayısını etkilemektedir (Rayne ve Forest, 2016). Bu konu ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada, düşük pH değerine sahip şaraplarda, hidrojen sülfid, metantiyol, dimetil sülfid ve karbon disülfid konsantrasyonlarının şarap örneklerinde azaldığı bildirilmiştir (Bekker vd., 2016). Bunun yanı sıra pH, protein denatürasyonuna neden olarak aroma maddelerinin bağlanmasını etkilemektedir (Ammari ve Schroen, 2018). Bir protein çözeltisinin pH değerinin artırılması, daha güçlü etkileşime yol açmakta ve aroma maddesinin uçuculuğunu azaltmaktadır (Viry vd., 2018).

AROMA MADDELERİNİN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN ETKİSİ

Aroma maddelerinin kimyasal özelliği, bu maddelerin gıda matrisi tarafından tutulmalarını etkilemektedir. Örneğin; alkoller, polisakaritler tarafından genellikle diğer bileşiklerle kıyaslandığında daha iyi tutulmakta; ketonlar ise alkollere göre daha az tutulmaktadır. Aroma maddesinin fizikokimyasal özelliklerinden biri olan polaritesi, aroma maddelerinin matris ile etkileşime girerek salınmalarını belirlemektedir (Sánchez-López vd., 2016). Genel olarak polarite özelliği arttıkça aroma maddelerinin matris tarafından tutulması azalmakta ve uçuculukları artmaktadır (Saifullah vd., 2019). Hidrofobik özellik, bir aroma maddesinin su ve yağ fazı arasındaki partiyon katsayısının logaritmasına karşılık gelen $\log P_{ow}$ değeri ile temsil edilmektedir (Reineccius, 2005; Paravisini ve Guichard, 2016). Bu değer, aroma maddesinin her iki fazda konsantrasyonlarının gaz kromatografisi (GC) yardımıyla deneysel olarak belirlenmesiyle hesaplanabilmektedir (Seuvre ve Voilley, 2017).

Aroma maddelerinin çoğu yağ fazında suya göre daha fazla çözünmektedir. Bu aroma maddeleri hidrofobik olarak kabul edilmekte ve $\log P > 1$ ile ifade edilmektedirler. Hidrofilik aroma maddeleri ise suda daha iyi çözünmekte ve $\log P < 1$ ile gösterilmektedir (Paravisini ve Guichard, 2016; Tarrega vd., 2019). Aroma maddeleri genellikle hidrofobik yapıya sahiptir. Hava/su partiyon katsayısının logaritması ise $\log P_{aw}$ ile temsil edilmekte ve aroma maddelerinin uçuculuğunu ifade etmektedir. Ancak, $\log P_{aw}$ değerlerinin deneysel olarak belirlenmesi, birçok aroma maddesinin hidrofobik (lipofilik) olması ve suda zayıf çözünürlük sergilemesinden dolayı zor olmaktadır (Tamaru vd., 2018).

Diğer bir fizikokimyasal özellik ise, molekülün saf haldeki uçuculuğunu temsil eden doymuş buhar basıncıdır. Bir aroma maddesinin doymuş buhar basıncı ne kadar yüksek olursa, bu aroma maddesi daha kolay buharlaşmaktadır. Bu özellik, aroma maddesinin kaynama noktasına ve moleküler ağırlığına bağlı olarak değişmektedir (Seuvre ve Voilley, 2017). Aroma maddesinin yüksek

uçuculuğa sahip olması, o aroma maddesinin uçucu hale gelme ve yayılma eğiliminde olduğunu dolayısıyla daha az alıkonma gösterdiğini belirtmektedir (Saifullah vd., 2019). Apolar bir çözücüye apolar bir aroma maddesi ilave edildiğinde, moleküler ağırlık arttıkça aroma maddesinin partiyon katsayısı azalmakta ve dolayısıyla aroma maddesinin uçuculuğu azalmaktadır. Bunun nedeni, aroma maddesi ile apolar çözücü arasındaki etkileşimlerin sayısının, karbon zincir uzunluğunun artmasından kaynaklanmaktadır. Polar aroma maddeleri de polar çözücülerde apolar çözücülere göre daha az uçucudurlar. Bunun nedeni ise polar çözücü içinde oluşturulan hidrojen bağları polar olmayan bir çözücü içinde oluşturulan Van der Waals etkileşimlerinden daha güçlü olmasından kaynaklanmaktadır (Seuvre ve Voilley, 2017).

AROMA MADDELERİ İLE GIDA MATRİSİ ARASINDAKİ ETKİLEŞİMLER

Gıda matrisi içinde bulunan proteinler, lipitler, karbonhidratlar, polifenoller, tuzlar gibi uçucu olmayan bileşenler; moleküler ağırlıklarına, kimyasal özelliklerine bağlı olarak aroma maddeleri ile kimyasal/fiziksel etkileşimlerde bulunarak aroma maddelerinin uçuculuğunun artmasına veya azalmasına sebep olabilmekte ve dolayısıyla aroma algısı üzerine etki etmektedirler (Tromelin vd., 2010; Tamaru vd., 2018; Eker ve Cabaroğlu, 2018; Bonneau vd., 2018). Bu etkileşimler, kovalent bağlardan, çekici ve itici kuvvetlerden kaynaklanmaktadır. Çekici kuvvetler, Van der Waals, hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimlerden oluşmaktadır. İtici kuvvetler ise, moleküller çok kısa bir mesafeye yaklaştığında elektronların orbital örtüşmesi ve sonrasında pozitif yüklü çekirdeklerin birbirlerini itmeleri sonucu oluşmaktadır (Seuvre ve Voilley, 2017; Wang ve Arntfield, 2017).

Proteinler, genellikle aroma maddelerini bağlayarak ve tuzaklayarak aroma maddelerinin uçuculuklarını azaltmaktadırlar (Paravisini ve Guichard, 2016; Viry vd., 2018). Genel olarak aroma maddeleri ile proteinler arasında geri dönüşümlü hidrofobik, iyonik etkileşimler, hidrojen bağı, Van der Waals bağı gibi kovalent olmayan elektrostatik etkileşimler

oluşabilmektedir (Hofmann vd., 2001; Wang ve Arntfield, 2016; Ployon vd., 2017). Bunların yanı sıra kovalent bağı gibi geri dönüşümsüz bağlar da kurulabilmektedir. Bu etkileşim proteinlerin peptit dizilişine, karbon zincir uzunluğuna ve fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Wang ve Arntfield, 2017; Ammari ve Schroen, 2018). β -laktoglobulin, kazein gibi süt proteinleri, aroma maddelerini genel olarak hidrofobik etkileşimlerle ve hidrojen bağlarıyla bağlamaktadırlar. Terpenler, uçucu asitler ve pirazinler haricinde kalan aroma maddelerinin zincir uzunluğu arttıkça da bu etkileşim artmakta ve dolayısıyla aroma maddelerinin uçuculukları azalmaktadır (Viry vd., 2018). α -Laktalbümin ise ketonları ve aldehitleri bağlayabilmesine rağmen diğer süt proteinlerine kıyasla daha düşük bir bağlanma kapasitesine sahiptir (Ammari ve Schroen, 2018). Aldehitler ve kükürt bileşikleri ile imino ($-\text{NH}$) artıkları, geri dönüşümsüz olarak kovalent bağlarla bağlanmaktadır. Lisin, sistein gibi bazı amino asitler de aroma maddeleri ile kovalent bağ yaparak Schiff bazı oluşturmaktadır (Seuvre ve Voilley, 2017). Genellikle artan protein konsantrasyonuna bağlı olarak, bağlı olan aroma maddelerinin konsantrasyonunu artırmakta ve dolayısıyla uçuculuklarını azaltmaktadır (Wang ve Arntfield, 2017). Bunun ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada, toplam protein konsantrasyonu arttıkça tüm aroma maddelerinin uçuculuğunun azaldığı bildirilmiştir (Viry vd., 2018). Ancak, amino asit gibi diğer küçük çözünebilir bileşikler uçuculukta bir artış anlamına gelen "salting-out" etkisine neden olabilmektedir (Rodríguez-Bencomo vd., 2011). Proteinlerin denatürasyonu da protein ile aroma maddeleri arasındaki etkileşimi etkilemektedir (Viry vd., 2018). Proteinlerin ısıtılması, yapılarındaki katlanmaların açılmasına neden olmaktadır. Sıcaklık arttıkça protein yapısını stabilize eden hidrojen bağları daha zayıf hale gelerek polipeptit zincirinin çözülmesine neden olmakta ve böylelikle hidrofobik yan zincirler açığa çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak da aroma maddeleri ile daha çok etkileşimlerde bulunarak aroma maddelerinin uçuculuklarını azaltmaktadırlar (Seuvre ve Voilley, 2017). Tavel vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada β -iyonon ve guaiakol aroma

maddelerinin, ısı uygulamasıyla kısmen denatüre olmuş β -laktoglobüline, doğal β -laktoglobülininden daha fazla tutulma gösterdiklerini bildirmiştir. Aroma maddeleri ve β -laktoglobülin arasındaki etkileşimler, proteinin konformasyon durumuna, sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir (Paravisini ve Guichard, 2016).

Yağ içeren gıdalarda bulunan aroma maddelerinin uçuculukları hidrofobik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Aroma maddelerinin bir çoğu hidrofobik ($\log P > 1$) özelliğe sahip olduğundan, aroma maddeleri için bir çözücü olarak işlev gören lipitlerin varlığı, bu maddelerin yağ ve sulu fazlarda çözünmesine büyük ölçüde etki etmektedir (Van Ruth vd., 2002; Tromelin vd., 2010; Paravisini ve Guichard, 2016). Aroma maddelerinin çoğunlukla hidrofobik olması nedeniyle lipitler, aroma maddeleri için protein ve karbonhidratlardan daha büyük tutma kapasitesi sağlamaktadır (Ammari ve Schroen, 2018). Örneğin, esterler gibi polar olmayan hidrofobik bileşikler, yağda ve yağ/su emülsiyonlarında diasetil gibi polar bileşiklere göre daha düşük partiyon katsayısına sahiptir (Wang ve Arntfield, 2017). Genel olarak ortamdaki lipit miktarı arttıkça buhar fazındaki aroma maddelerinin konsantrasyonu azalmakta ve bu aroma maddelerinin konsantrasyonu lipit fazında genellikle daha yüksek olmaktadır (Seuvre ve Voilley, 2017). Buhar basınçları azaldığı için aroma maddelerinin uçuculukları da azalmaktadır (Hofmann vd., 2001; Tamaru vd., 2018). Seuvre vd. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, bazı aroma maddelerinin (2-nonanon, izoamil asetat, benzaldehid, d-linalol) uçuculuğu, %0.5 miglyol varlığında suya göre azalma göstermiş ve bu azalmanın, her bir bileşen için aroma bileşiğinin çekim gücüne ve hidrofobik özelliğine bağlı olarak lipit tarafından tutulmalarından kaynaklandığı bildirilmiştir. Lipitlerin yapısı, özellikle karbon zincirinin uzunluğu ve lipidi oluşturan yağ asitlerinin doymuşluk derecesi aroma maddelerinin buhar-sıvı partiyon katsayısını etkilemektedir. Genel olarak karbon zincir uzunluğu arttıkça aroma maddelerinin partiyon katsayısı düşmekte ve dolayısıyla uçuculukları da azalmaktadır (Van Ruth vd., 2002). Yağ asitlerinin doymamışlık derecesi arttıkça da aroma

maddelerinin tutulması artmakta ve dolayısıyla uçuculukları azalmaktadır (Seuvre ve Voilley, 2017).

Karbonhidratlar birçok gıdada bulunan ve aromanın algılanmasında önemli bir rolü olan bileşenlerdir. Bu bileşenler, moleküler ağırlıklarına göre basit şekerler (mono ve disakkaritler), oligosakkaritler ve polisakkaritler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar. Sulu bir çözelti içindeki karbonhidratların varlığı, aroma maddelerinin sudakine kıyasla uçuculuklarında genel olarak bir azalmaya neden olmaktadır. Sulu bir çözeltide sakkarozun yüksek konsantrasyonda bulunması, çözeltinin viskozitesinin artışı ve çözeltideki su aktivitesinin azalması nedeniyle aroma maddelerinin uçuculuğunun azalmasına neden olmaktadır. Ancak, düşük konsantrasyonlardaki mono ve disakkaritler, sudaki uçuculuk ile karşılaştırıldığında, bu konsantrasyonlarda aroma maddelerinin daha kolay salınımına (salting-out etki) neden olmaktadır (Paravisini ve Guichard, 2016; Tsitlakidou vd., 2019). Mono ve disakkaritler su moleküllerini absorbe etmekte, bu durumda matristeki serbest su miktarını azaltmakta ve kalan serbest su içindeki aroma maddelerinin dolaylı olarak konsantrasyonu artmaktadır (Rodríguez-Bencomo vd., 2011). Yang vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, sakkaroz içermeyen kontrol çözeltisi ile karşılaştırıldığında, aroma maddeleri sakkaroz içeren çözelti içerisinde "salting-out" etkisi göstererek uçuculukları artmıştır. Bu durumun nedeninin, şekerin su ile etkileşime girerek, uçucu aroma maddelerinin salınımını desteklemesi ve dolayısıyla "salting-out" etkisi göstermesi olduğu bildirilmiştir. Yine aynı çalışmada, aynı konsantrasyondaki farklı şeker çözeltilerinden (glikoz ve sakkaroz) salınan aroma maddelerinin konsantrasyonları karşılaştırılmıştır. Buna göre glikoz çözeltisinden salınan aroma maddelerinin miktarının sakkaroz çözeltisinden salınanlara göre biraz daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Halkalı oligosakkaritler (siklodekstrin) ve polisakkaritler (gum, nişasta, pektin) ise aroma maddeleri ile etkileşime girerek uçuculuklarında azalmaya neden olmakta ve enkapsülasyon işlemi aroma tutucu olarak ve gıdanın işlenmesi boyunca aroma kayıplarını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu

bişikler etkilerini, makrosiklik boşluklarında hidrojen bağı ile aroma maddelerini tutmalarıyla gerçekleştirmektedirler (Baránková ve Dohnal, 2016; Paravisini ve Guichard, 2016; Saifullah vd., 2019). Siklodekstrinler, hidrofilik bir dış yüzeye ve lipofilik bişikleri tutabilen hidrofobik bir iç boşluğa (kavite) sahiptir. Bu nedenle siklodekstrin gibi polisakkaritler, lipofilik aroma maddelerini tuzaklamakta ve böylelikle aroma maddelerinin uçuculuklarını azaltmaktadır (Paravisini ve Guichard, 2016). Baránková ve Dohnal (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, aroma maddelerinin uçuculuğu üzerine sakkaritlerin (sakkaroz, glikoz) ve polisakkaritlerin (α -siklodekstrin, β -siklodekstrin) etkileri değerlendirilmiş ve sakkaritler “salting-out” etkisi gösterirken, siklodekstrinler aroma maddelerini tutarak aroma maddelerinin uçuculuklarını azalttığı ve α -siklodekstrinin, β -siklodekstrine kıyasla aroma maddelerini daha güçlü tutma etkisi gösterdiğini bildirmişlerdir. Nişasta, temel olarak amiloz ve amilopektin olmak üzere iki fraksiyondan oluşan granüller halinde bulunan bir polisakkarittir (Paravisini ve Guichard, 2016). Aroma maddeleri ve amiloz fraksiyonu arasında iki farklı etkileşim oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, amiloz helikslerinin dışındaki hidroksil grupları ile aroma maddeleri arasındaki hidrojen bağlarını içeren polar etkileşimdir. İkincisi, aroma maddelerinin hidrofobik etkileşimler yoluyla amiloz helikslerinin içinde tutulmasıyla oluşan komplekslerdir (Bortnowska ve Goluch, 2018). Amilopektin ise hidrojen bağları ile aroma maddelerini tutmakta ve dolayısıyla uçuculuklarını azaltmaktadır (Paravisini ve Guichard, 2016; Ma vd., 2019). Maltodekstrin, glikoz şurubu gibi nişasta hidrolizatlarının dekstroz eşdeğeri (DE) de aroma maddelerinin uçuculuklarına etki etmektedir. Buna göre DE arttıkça aroma maddelerini tutma kabiliyetleri azalmaktadır (Seuvre ve Voilley, 2017).

Fenolik bişikler, bir gıdanın lezzet, renk ve tat gibi duyuşal özelliklerine katkıda bulunan önemli bişiklerdir (Sonmezdag vd., 2018). Bu bişikler, sayısız hidroksil fonksiyonel gruba ve aromatik halkaya sahip olması sebebiyle aroma maddeleri ile etkileşime girerek onların uçuculuğunu ve gıdadan salınımlarını değiştirmektedirler (Durán-

Lara vd., 2015). Aroma maddeleri ve fenolik bişiklerin galloil halkası arasındaki hidrojen bağları ile stabilize edilmiş π - π istifleri gibi zayıf etkileşimler ve hidrofobik kuvvetler aroma salınımına etki etmektedirler (Genovese vd., 2015a; Genovese vd., 2018; Perez-Jiménez vd., 2019). Bir aroma maddesinin moleküler ağırlığı ve hidrofobik yapısı, polifenollerle etkileşiminin gücünde etkili olmaktadır. Buna göre moleküler ağırlık ve hidrofobiklik arttıkça polifenoller tarafından yüksek alıkonma etkisi görülmektedir (Guo vd., 2019). Rodríguez-Bencomo vd. (2011) rekonstitüye edilmiş çok çeşitli şarap bişimlerini temsil eden beş tür şarap matrisinin (beyaz, genç-kırmızı, yıllanmış-kırmızı, köpüklü, tatlı şarap) tipik şarap aroma maddelerinin uçuculuğu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, öjenol ve 4-vinilfenol bişiklerinin, bütün şaraplarda önemli bir alıkonma etkisi gösterdiğini ve özellikle kırmızı şaraptaki güçlü alıkonma etkisinin şaraptaki yüksek polifenol içeriğinden kaynaklanan önemli π - π etkileşimlere bağlı olabileceğini bildirmişlerdir. Küçük molekülü fenolik asitlerin varlığı, ortamın iyonik kuvvetini ve polaritesini artırarak linalol ve β -iyonon gibi bazı hidrofobik aroma maddelerinin çözünürlüğünü azaltmakta ve böylelikle “salting-out” etkisi göstererek bu aroma maddelerinin uçuculuğunu artırabilmektedir (Esteban-Fernández vd., 2018). Öte yandan, bu konu ile ilgili olarak yapılan diğer çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan bir çalışmada zeytin yağında bulunan yüksek seviyedeki polifenol içeriğinin 1-penten-3-on, trans-2-hekzenal gibi aroma maddelerinin uçuculuklarını azalttığı, linalol ve 1-hekzanol gibi aroma maddeleri için tersinir kovalent olmayan bağlar kurması nedeniyle “salting-out” etkisi gösterdiği bildirilmiştir (Genovese vd., 2018). Yapılan bir diğer çalışmada ise üç polifenol bişigi ((-)-epikateşin, hidrokafeik asit ve florizin), esterler, uçucu fenoller gibi hidrofobik aroma maddelerinin çoğunluğu için uçuculuklarında bir azalmaya neden olduğunu, bazı hidrofilik alkollere “salting-out” etkisi göstererek uçuculuklarını arttırdığını bildirmişlerdir (Guo vd., 2019). Fenolik bişiklerin ve aroma maddelerinin fizikokimyasal yapısının yanı sıra fenolik bişiklerin artan konsantrasyonları da aroma

maddelerinin uçuculuğuna etki etmektedir. Lorrain vd. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, kateşinin model şarap aromasının uçuculukları üzerine etkisi araştırılmıştır. Buna göre; düşük kateşin konsantrasyonlarının (0.5 ve 0.25 g/L) esterlerin uçuculuğu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, yüksek konsantrasyonda kateşinin ise (2 g/L) etil oktanoatın uçuculuğunda azalmaya neden olurken, diğer küçük alifatik esterlerin (etil bütanoat ve izoamil asetat gibi) uçuculuğuna etki etmediği bildirilmiştir.

AROMA MADDELERİNİN UÇUCULUĞUNA ETKİ EDEN DİĞER FAKTÖRLER

Aroma maddelerinin termodinamik, fizikokimyasal özelliklerinin ve gıda bileşenlerinin yanı sıra gıdanın viskozitesi veya tekstürü, yapısı, gıdanın işlenmesi ve/veya depolanması sırasında gerçekleşen Maillard reaksiyonu sonucu oluşan ürünler ve tükürük bileşimi de aroma maddelerinin uçuculuğuna etki etmektedir.

Gıdanın viskozitesinde veya tekstüründe meydana gelen değişiklikler, aroma maddelerinin uçuculuğunu değiştirerek lezzet algısını önemli ölçüde etkilemektedir. Bigaski Ribeiro vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, iki farklı jelleştirme ajanı olan laktobiyonik asit ve glukono- δ -lakton kullanılarak hazırlanan jellerde, laktobiyonik asit ile üretilen jellerin glukono- δ -laktonla üretilen jellere göre daha gevşek bir yapıya sahip olduğu ve aroma maddelerinin uçuculuğunu azalttığı bildirilmiştir. Gıdaların viskozitesini veya sertliğini değiştirmek için kullanılan hidrokoloid ve jelatin gibi maddeler, aroma maddeleri ile etkileşime girerek onların miktar ve uçuculuklarında değişikliklere neden olmaktadır (Seuvre ve Voilley, 2017). Ayrıca kullanılan bu maddelerin moleküler yapısı ve reolojik özellikleri de aroma maddelerinin uçuculuklarını etkilemektedir (Yang vd., 2017). Hidrokoloidlerden aroma maddelerinin salınımı iki ana faktörden etkilenebilmektedir. Bunlar; aroma maddelerinin matris içinde fiziksel olarak tutulması ve jel oluşturma işlemi sırasında oluşan kimyasal bağlanmadır. Aroma maddelerinin fiziksel olarak tutulması, küçük aroma moleküllerinin jel sistemden yüzeye taşınmasını

engelleyen karmaşık bir polimer ağının varlığıyla ortaya çıkmaktadır. Kimyasal bağlanma ise aroma maddeleri ve jel bileşenleri arasında oluşan hidrojen bağı, hidrofobik etkileşimler ve Van der Waals kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır (Kim vd., 2016). Tekstürün aroma maddeleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, taze ve kurutulmuş küp şeklindeki mango örneklerinden, parçalanmış mango örneklerine (taze püre, kurutulmuş toz) göre önemli ölçüde daha fazla aroma maddesinin salındığını bildirmişlerdir (Bonneau vd., 2018).

Emülsiyon halinde bulunan gıdalar da aroma uçuculuğuna etki etmektedir. Emülsiyon, mikroskobik boyutta veya koloidal damlacıklar halinde dağılmış bir sıvı içeren heterojen bir sistemdir. Bu sistem, su içerisinde yağ ve yağ içerisinde su emülsiyonu olmak üzere iki farklı şekilde bulunabilmektedir (Van Ruth vd., 2002; Saifullah vd., 2019). Emülsiyonlardan aroma maddelerinin salınımı temel olarak uçucu bileşiklerin sıvı fazlar için çekim kuvvetine bağlı olarak değişmektedir (Charles vd., 2000). Genel olarak, su içinde bir yağ emülsiyonundaki lipit içeriği ne kadar yüksek olursa, emülsiyonda o kadar fazla hidrofobik (lipofilik) aroma maddesi kalmaktadır (Tamaru vd., 2018). Bunun yanı sıra emülgatörlerin tipi, emülsiyon sisteminin yapısal özellikleri ve matris içerisinde bulunan diğer bileşenler gibi faktörler de aroma maddelerinin uçuculuğunu etkilemektedir. Lee vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, sakkaroz monopalmitat, modifiye nişasta ve Tween 80'nin kahve aromasının uçuculukları üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Buna göre sakkaroz monopalmitat ve Tween 80 ile stabilize edilmiş kahve emülsiyonlarının, aroma maddelerinin uçuculuğunu kontrol örneğe kıyasla önemli ölçüde düşürdüğü; ancak modifiye nişasta ile stabilize edilmiş kahve emülsiyonunun aroma maddelerinin uçuculuğunun kontrole göre istatistiksel olarak farklı olmadığı bildirilmiştir. Seuvre vd. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, aynı kompozisyona sahip (%3 β -laktoglobulin ve %0.5 miglyol içeren su, pH 3) emülsiyon ve emülsiyon olmayan ortamın aroma maddelerinin uçuculuğu üzerindeki etkisi incelenmiştir. İzoamil asetat'ın uçuculuğu ortamın yapısındaki

değişiklikten etkilenmezken, 2-nonanon'un uçuculuğunun emülsiyon ortamında arttığı bildirilmiştir. Bunun nedeninin lipit damlacıklarının yüzeyindeki β -laktoglobulin adsorpsiyonunun olduğu ve protein adsorpsiyonu sırasında yüzeyde adsorbe edilen proteinin sabitleme bölgeleri için lipit ve aroma maddesi arasındaki oluşan rekabet sonucu lipit (miglyol) tarafından işgal edilmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Emülsiyon içerisinde bulunan damlacıkların boyutu da aroma maddelerinin uçuculuklarına etki etmektedir (Van Ruth vd., 2002; Ayed vd., 2018; Doi vd., 2019). Bu konu ile ilgili olarak Van Ruth vd. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada, su içerisinde yağ emülsiyonunda genel olarak damlacık boyutu arttığında buhar fazında bulunan aroma maddelerinin konsantrasyonunda artış gözlemlendiği belirtilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise alkol, asit gibi hidrofilik aroma maddelerinin uçuculukları, damlacık boyutu arttıkça önemli ölçüde artarken, limonen gibi hidrofobik bileşiklerin uçuculukları önemli ölçüde azalmıştır. Hidrofilik bileşiklerin uçuculuğundaki bu artış, su fazında bulunan aroma maddelerinin konsantrasyonlarının yağ fazından daha yüksek olması şeklinde açıklanmıştır (Charles vd., 2000). Emülsiyonda kullanılan yağın tipi ve miktarı da aroma uçuculuğuna etki etmektedir (Ayed vd., 2018; Doi vd., 2019). Hyvönen vd. (2003) tarafından çilekli dondurmalar üzerine yapılan bir çalışmada, doymamış bitkisel yağ ile hazırlanan dondurmalarındaki çilek tadının, süt yağı ile hazırlananlarla karşılaştırıldığında daha hızlı ve daha yoğun algılandığı bildirilmiştir. Emülsiyon halinde bulunan gıdalarda emülsiyonun yağ içeriği arttıkça hidrofobik aroma maddelerinin uçuculuğu azalırken, hidrofilik aroma maddelerinin uçuculukları artmaktadır (Miettinen vd., 2002). Aroma maddelerinin uçuculuklarının yağ içeriğine göre incelendiği bir çalışmada, dondurmadaki yağ içeriğinin azaltılması, hidrofobik aroma maddelerinin uçuculuklarının artmasına yol açmıştır (Ayed vd., 2018). Emülsiyon halinde bulunan gıdalarda emülsiyonun viskozitesi de aroma salınımı üzerine önemli rol oynamakta ve genel olarak artan viskozite aroma maddelerinin uçuculuğunu

azaltmaktadır (Charles vd., 2000; Genovese vd., 2015b).

Gıdaların termal olarak işlenmesi ve depolanması boyunca Maillard reaksiyonu gerçekleşmektedir. Maillard reaksiyonu, genel olarak indirgen şekerlerin karbonil grubu ile amino asitlerin amino grubu arasında gerçekleşen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonudur. Bu reaksiyonun başlıca son ürünleri melanoidinler ve diğer uçucu olmayan bileşiklerdir (Reineccius, 2005). Maillard reaksiyonu sonucu oluşan melanoidinler gibi kahverengi ürünler de bazı aroma bileşikleriyle etkileşime girmekte ve böylece algılanan aromayı değiştirmektedir (Hofmann vd., 2001; Bezman vd., 2003). Rodríguez-Bencomo vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, rekonstitüe edilmiş çeşitli şarap bileşimlerini temsil eden beş tür şarap matrisinin (beyaz, genç-kırmızı, yıllanmış-kırmızı, köpüklü, tatlı şarap) tipik şarap aroma maddelerinin uçuculuğu üzerindeki etkisi değerlendirilmiş ve furanik bir bileşik olan 5-metilfurfural'ın bütün şarap matrislerinde "salting-out" etkisi gösterdiği bildirilmiştir.

Tuzların, aroma maddelerinin uçuculuğu üzerine önemli etkisi bulunmaktadır. Aroma maddeleri, tuzların varlığında hava/su partiyon katsayısının artmasıyla "salting-out" etkisi göstermektedir (Paravisini ve Guichard, 2016). Tuzların "salting-out" etkisi, suyun yapısındaki değişikliklerle çözelti içindeki aroma maddelerinin etkin konsantrasyonunda bir artışa neden olarak uçuculuğunu arttığı şeklinde açıklanmaktadır (Seuvre ve Voilley, 2017). Baránková ve Dohnal (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, inorganik tuzların (NaCl , NaHCO_3) aroma maddelerine "salting-out" etkisi göstererek uçuculuklarını arttırdığı ve HCO_3^- anyonunun, Cl^- anyonundan daha büyük bir "salting-out" etkisi gösterdiğini bildirmiştir. Ancak protein içeren bir ortamda bulunan tuzlar, iyonik kuvvete ve tuz tipine bağlı olarak, protein ve aroma maddeleri arasındaki etkileşimi değiştirilebilmekte ve protein konformasyonunu da etkileyebilmektedir. Bununla ilgili olarak yapılan bir çalışmada, düşük konsantrasyondaki NaCl 'ün (0.05-0.1 M), aroma maddelerinin proteinlere bağlanmasını azalttığı, daha yüksek konsantrasyonun (0.25-1 M), bağlanmayı arttırdığı bildirilmiştir. CaCl_2 tuzu için

ise düşük konsantrasyonda (0.05-0.1 M) aroma maddelerinin bağlanması artırdığı, 0.25 M'da azalttığı ve 1 M konsantrasyona doğru tekrar arttırdığını bildirmişlerdir (Wang ve Arntfield, 2015).

Aroma maddelerinin uçuculuğuna etki eden bir diğer önemli faktör de tükürük bileşimidir. Tükürük; su, elektrolitler, *a*-amilaz, lipaz, lizozim gibi enzimler ve musin, albümin, prolin, histatin gibi proteinlerden oluşan kompleks bir biyolojik sıvıdır (Ployon vd., 2017; Muñoz-González vd., 2018). Aroma maddelerinin tükürük ile etkileşime girme kapasitesi, tükürük içerisinde bulunan bileşenlere, aroma maddesinin fizikokimyasal özelliklerine ve partiyon katsayısına bağlıdır (Sánchez-López vd., 2016; Esteban-Fernández vd., 2018; Piombino vd., 2019; Tarrega vd., 2019). Muñoz-González vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı insanlardan alınan tükürüklerin, karbonil bileşiklerin (aldehitler ve ketonlar) uçuculuğunu azaltırken, alkollerin uçuculuğunu etkilemediği gözlemlenmiştir. Bu etkinin aroma maddelerinin yapısına ve tükürük bileşenlerine bağlı olduğunu, yüksek protein içeriğine sahip tükürük örneklerinin, karbonil bileşiklerinin uçuculuğunun azalması ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Gıdanın ağıza alınmasından sonra tükürük salgılanmasına ek olarak sıcaklık, pH, ağız mukoza yapısı, solunum ve çiğneme-yutma refleksi de aroma maddelerinin gıdadan salınımı üzerine etki etmektedir (Genovese vd., 2015b; Yaparel ve Elmactı, 2016; Bonneau vd., 2018). Çiğneme ile gıda parçalanmakta ve yüzey/hacim oranını artırarak aroma maddelerinin tükürüğe ve sonrasında ağız boşluğuna taşınması sağlanmaktadır (Genovese vd., 2015a; Esteban-Fernández vd., 2018). Aroma maddeleri, kovalent ve kovalent olmayan bağlarla tükürük proteinleri ile etkileşime girebilmektedirler (Muñoz-González vd., 2018). Önemli tükürük proteinlerinden olan musin ve *a*-amilaz, hidrofobik aroma maddelerini bağlayarak "salting-in" etkisi göstermelerine ve uçuculuklarının azalmasına neden olmaktadır (Genovese vd., 2015a; Genovese vd., 2018). Genovese vd. (2015b) tarafından yapılan bir çalışmada, model bir ağız sistemi kullanarak tükürük bileşenleriyle etkileşim yoluyla zeytin

yağına eklenen aroma maddelerinin salınımını incelemişler ve esterlerin salınımının önemli derecede azaldığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar bunun nedeninin bir tükürük proteini olan musinin, aroma maddeleriyle yapmış olduğu kimyasal bağlardan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

SONUÇ

Aroma maddeleri, gıdaların tüketiciler tarafından kabul edilebilirliğini etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Bu maddelerin uçuculuğu yani gıda matrisinden salınımları oldukça karmaşıktır. Bu durum sadece tek bir etki mekanizmasıyla açıklanamamakta, aroma maddelerinin termodinamik, fizikokimyasal özellikleri, gıda matrisinin yapısı ve fizikokimyasal özellikleri, gıda bileşenleri ile aroma bileşiklerinin karşılıklı etkileşimleri gibi bir çok etki mekanizmasıyla birlikte açıklanabilmektedir. Bu yüzden bir aroma maddesinin gıda matrisinden salınımının belirlenmesinde yukarıda bahsedilen tüm faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Ammari, A., Schroen, K. (2018). Flavor Retention and Release from Beverages: A Kinetic and Thermodynamic Perspective. *J Agric Food Chem*, 66, 9869–9881.
- Ayed, C., Martins, S.I.F.S., Williamson, A.M., Guichard, E. (2018). Understanding fat, proteins and saliva impact on aroma release from flavoured ice creams. *Food Chem*, 267, 132–139.
- Bakry, A.M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M.Y., Mousa, A., Liang, L. (2016). Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 15, 143–182.
- Baránková, E., Dohnal, V. (2016). Effect of additives on volatility of aroma compounds from dilute aqueous solutions. *Fluid Phase Equilibria*, 407: 217–223.
- Bekker, M.Z., Mierczynska-Vasilev, A., Smith, P.A., Wilkes, E.N. (2016). The effects of pH and copper on the formation of volatile sulfur compounds in Chardonnay and Shiraz wines post-bottling. *Food Chem*, 207, 148-156.

- Ben Brahim, S., Amanpour, A., Chtourou, F., Kelebek, H., Selli, S. (2018). Gas Chromatography-Mass Spectrometry-Olfactometry To Control the Aroma Fingerprint of Extra Virgin Olive Oil from Three Tunisian Cultivars at Three Harvest Times. *J Agric Food Chem*, 66(11): 2851-2861.
- Bezman, Y., Mayer, F., Takeoka, G.R., Buttery, R.G., Ben-Oliel, G., Rabinowitch, H.D., Naim, M. (2003). Differential Effects of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) Matrix on the Volatility of Important Aroma Compounds. *J Agric Food Chem*, 51, 722-726.
- Bigaski Ribeiro, J.C., Granato, D., Masson, M.L., Andriot, I., Mosca, A.C., Salles, C., Guichard, E. (2016). Effect of lactobionic acid on the acidification, rheological properties and aroma release of dairy gels. *Food Chem*, 207, 101-106.
- Bonneau, A., Boulanger, R., Lebrun, M., Maraval, I., Valette, J., Guichard, É., Gunata, Z. (2018). Impact of fruit texture on the release and perception of aroma compounds during in vivo consumption using fresh and processed mango fruits. *Food Chem*, 239, 806-815.
- Bortnowska, G., Goluch, Z. (2018). Retention and release kinetics of aroma compounds from white sauces made with native waxy maize and potato starches: Effects of storage time and composition. *Food Hydrocoll*, 85, 51-60.
- Charles, M., Rosselin, V., Beck, L., Sauvageot, F., Guichard, E. (2000). Flavor Release from Salad Dressings: Sensory and Physicochemical Approaches in Relation with the Structure. *J Agric Food Chem*, 48, 1810-1816.
- Doi, T., Wang, M., McClements, D.J. (2019). Emulsion-based control of flavor release profiles: Impact of oil droplet characteristics on garlic aroma release during simulated cooking. *Food Res Int*, 116, 1-11.
- Durán-Lara, E.F., López-Cortés, X.A., Castro, R.I., Avila-Salas, F., González-Nilo, F.D., Laurie, V.F., Santos, L.S. (2015). Experimental and theoretical binding affinity between polyvinylpyrrolidone and selected phenolic compounds from food matrices. *Food Chem*, 168, 464-470.
- Eker, T., Cabaroğlu, T. (2018). Gıdaların tüketilmesi sırasında retronazal yolla aroma salınımının belirlenmesi. *GIDA* 43 (1): 64-77, doi: 10.15237/gida.GD17066.
- Esteban-Fernández, A., Muñoz-González, C., Jiménez-Girón, A., Pérez-Jiménez, M., Pozo-Bayón, M.A. (2018). Aroma release in the oral cavity after wine intake is influenced by wine matrix composition. *Food Chem*, 243, 125-133.
- Genovese, A., Caporaso, N., Villani, V., Paduano, A., Sacchi, R. (2015a). Olive oil phenolics compounds affect the release of aroma compounds. *Food Chem*, 181, 284-294.
- Genovese, A., Caporaso, N., Luca, L., Paduano, A., Sacchi, R. (2015b). Influence of olive oil phenolic compounds on headspace aroma release by interaction with whey proteins. *J Agric Food Chem*, 63, 3838-3850.
- Genovese, A., Yang, Ni, Linforth, R., Sacchi, R., Fisk, I. (2018). The role of phenolic compounds on olive oil aroma release. *Food Res Int*, 112, 319-327.
- Guo, J., Yue, T., Yuan, Y. (2019). Impact of polyphenols on the headspace concentration of aroma compounds in apple cider. *J Sci Food Agric*, 99: 1635-1642.
- Güneşer, O., Karagül Yüceer, Y. (2010). Gıdalarda aroma maddelerinin belirlenmesinde gaz kromatografisi-olfaktometri (GCO) tekniklerinin kullanılması. *GIDA* 35 (5): 371-378.
- Hofmann, T., Czerny, M., Calligaris, S., Schieberle, P. (2001). Model Studies on the Influence of Coffee Melanoidins on Flavor Volatiles of Coffee Beverages. *J Agric Food Chem*, 49, 2382-2386.
- Hyvönen, L., Linna, M., Tuorila, H., Dijksterhuis, G. (2003). Perception of Melting and Flavor Release of Ice Cream Containing Different Types and Contents of Fat. *J Dairy Sci*, 86:1130-1138.
- Jedlińska, A., Samborska, K., Janiszewska-Turak, E., Witrowa-Rajchert, D., Seuvre, A.M., Voilley, A. (2018). Physicochemical properties of vanilla and raspberry aromas microencapsulated in the industrial conditions by spray drying. *J Food Process Eng*, 41:e12872.

- Jeleń, H., Gracka, A. (2016). Characterization of aroma compounds: structure, physico-chemical and sensory properties: *From Food to Perception*, Guichard, E., Salles, C., Morzel, M., Le Bon, A.M. (Editors), Chapter 6, John Wiley & Sons Ltd, the UK, pp. 126–153.
- Kesen, S., Selli, S. (2012). Zeytinyağı Aroma Maddeleri Ekstraksiyonunda Kullanılacak Çözgenin Temsili Testlerle Belirlenmesi. *Zeytin Bilimi*, 3 (2): 99-106.
- Kesen, S., Selli, S., Kelebek, H., Cabaroğlu, T., Şen, K., Ulaş, M. (2014). Adana İli Gemlik ve Barnea Zeytinyağlarının Aroma Maddelerinin Kıyaslanması. *GIDA* 39 (2): 103-110, doi: 10.5505/gida.30502.
- Keser, D., Guclu, G., Kelebek, H., Keskin, M., Soysal, Y., Sekerli, Y.E., Arslan, A., Selli, S. (2020). Characterization of aroma and phenolic composition of carrot (*Daucus carota* 'Nantes') powders obtained from intermittent microwave drying using GC-MS and LC-MS/MS. *Food Bioproduct Process*, 119, 350–359.
- Kim, M.J., Ju, H.K., Kim, Y., Yoo, S.H., Kim, Y.S. (2016). Effects of amidation and/or methylesterification of pectin on aroma release at different calcium concentration. *Food Hydrocoll*, 52, 343-349.
- Lee, L.W., Liu, X., Elsa Wong, W.S., Liu, S.Q. (2017). Effects of sucrose monopalmitate (P90), Tween 80 and modified starch on coffee aroma retention and release in coffee oil-based emulsions. *Food Hydrocoll*, 66, 128-135.
- Lorrain, B., Tempere, S., Iturmendi, N., Moine, V., Revel, G., Teissedre, P.L. (2013). Influence of phenolic compounds on the sensorial perception and volatility of red wine esters in model solution: An insight at the molecular level. *Food Chem*, 140, 76–82.
- Ma, R., Tian, Y., Zhang, H. Cai, C., Chen, L., Jin, Z. (2019). Interactions between rice amylose and aroma compounds and their effect on rice fragrance release. *Food Chem*, 289, 603–608.
- Maarse, H.(ed.) (1991). *Volatile Compounds in Foods and Beverages*. Marcel Dekker, Inc., the USA, 737 p.
- Miettinen, S.M., Tuorila, H., Piironen, V., Vehkalahti, K., Hyvönen, L. (2002). Effect of Emulsion Characteristics on the Release of Aroma As Detected by Sensory Evaluation, Static Headspace Gas Chromatography, and Electronic Nose. *J Agric Food Chem*, 50, 4232-4239.
- Muñoz-González, C., Feron, G., Brulé, M., Canon, F. (2018). Understanding the release and metabolism of aroma compounds using micro-volume saliva samples by ex vivo approaches. *Food Chem*, 240, 275–285.
- Paravisini, L., Guichard, E. (2016). Interactions between aroma compounds and food matrix: *Flavour: From Food to Perception*, Guichard, E., Salles, C., Morzel, M., Le Bon, A.M. (editors), Chapter 9, John Wiley & Sons Ltd, the UK, pp. 208–234.
- Perez-Jiménez, M., Chaya, C., Pozo-Bayón, M.A. (2019). Individual differences and effect of phenolic compounds in the immediate and prolonged in-mouth aroma release and retronasal aroma intensity during wine tasting. *Food Chem*, 285, 147–155.
- Piombino, P., Moio, L., Genovese, A. (2019). Orthonasal vs. retronasal: Studying how volatiles' hydrophobicity and matrix composition modulate the release of wine odorants in simulated conditions. *Food Res Int*, 116, 548–558.
- Ployon, S., Morzel, M., Canon, F. (2017). The role of saliva in aroma release and perception. *Food Chem*, 226, 212–220.
- Rayne, S., Forest, K. (2016). pH dependent partitioning behaviour of food and beverage aroma compounds between air-aqueous and organic-aqueous matrices. *Flavour Fragr J*, 31, 228–234.
- Reineccius, G. (2005). *Flavor Chemistry and Technology*. 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, the USA, 250 p.
- Rodríguez-Bencomo, J.J., Muñoz-González, C., Andújar-Ortiz, I., Martín-Álvarez, P.J., Moreno-Arribas, M.V., Pozo-Bayón, M.A. (2011). Assessment of the effect of the non-volatile wine matrix on the volatility of typical wine aroma compounds by headspace solid phase

- microextraction/gas chromatography analysis. *J Sci Food Agric*, 91: 2484–2494.
- Saifullah, M., Shishir, M.R.I., Ferdowsi, R., Rahman, M.R.T., Vuong, Q.V. (2019). Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. *Trends Food Sci Technol*, 86, 230–251.
- Sánchez-López, J.A., Ziere, A., Martins, S.I.F.S., Zimmermann, R., Yeretzyan, C. (2016). Persistence of aroma volatiles in the oral and nasal cavities: real-time monitoring of decay rate in air exhaled through the nose and mouth. *J Breath Res*, 10 036005.
- Selli, S., Uçkun, O. (2012). Kayseri İli Çiçek Balının Aroma Maddeleri Bileşimi. *GIDA* 37 (3): 157-164.
- Seuvre, A.M., Espinosa Díaz, M. A., Voilley, A. (2000). Influence of the food matrix structure on the retention of aroma compounds. *J Agric Food Chem*, 48, 4296-4300.
- Seuvre, A.M., Voilley, A. (2017). Physico-Chemical Interactions in the Flavor-Release Process. In: *Springer Handbook of Odor*, Buettner, A. (Ed.), Springer International Publishing, Switzerland, pp. 273-295.
- Sgorbini, B., Cagliero, C., Liberto, E., Rubiolo, P., Bicchi, C., Cordero, C. (2019). Strategies for Accurate Quantitation of Volatiles from Foods and Plant-Origin Materials: A Challenging Task. *J Agric Food Chem*, 67, 1619–1630.
- Sonmezdag, A.S., Kelebek, H., Selli, S. (2018). Characterization of bioactive and volatile profiles of thyme (*Thymus vulgaris* L.) teas as affected by infusion times. *J Food Meas Charact*, 12, 2570–2580.
- Steen, I., Waehrens, S.S., Petersen, M.A., Münchow, M., Bredie, W.L.P. (2017). Influence of serving temperature on flavour perception and release of Bourbon Caturra coffee. *Food Chem*, 219, 61–68.
- Tamaru, S., Igura, N., Shimoda, M. (2018). Effectiveness of water-air and octanol-air partition coefficients to predict lipophilic flavor release behavior from O/W emulsions. *Food Chem*, 239, 712–717.
- Tarrega, A., Yven, C., Semon, E., Mielle, P., Salles, C. (2019). Effect of Oral Physiology Parameters on In-Mouth Aroma Compound Release Using Lipoprotein Matrices: An In Vitro Approach. *Foods*, 8, 106.
- Tavel, L., Moreau, C., Bouhallab, S., Li-Chan, E.C.Y., Guichard, E. (2010). Interactions between aroma compounds and beta-lactoglobulin in the heat-induced molten globule state. *Food Chem*, 119(4): 1550–1556.
- Tromelin, A., Merabtine, Y., Andriot, I., Lubbers, S., Guichard, E. (2010). Retention–release equilibrium of aroma compounds in polysaccharide gels: study by quantitative structure–activity/property relationships approach. *Flavour Fragr J*, 25, 431–442.
- Tsitlakidou, P., Loey, A.V., Methven, L., Elmore, J.S. (2019). Effect of sugar reduction on flavour release and sensory perception in an orange juice soft drink model. *Food Chem*, 284, 125–132.
- Wang, K., Arntfield, S.D. (2015). Effect of salts and pH on selected ketone flavours binding to salt-extracted pea proteins: The role of non-covalent forces. *Food Res Int*, 77, 1–9.
- Wang, K., Arntfield, S.D. (2016). Probing the molecular forces involved in binding of selected volatile flavour compounds to salt-extracted pea proteins. *Food Chem*, 211, 235-242.
- Wang, K., Arntfield, S.D. (2017). Effect of protein-flavour binding on flavour delivery and protein functional properties: A special emphasis on plant-based proteins. *Flavour Fragr J*, 32, 92–101.
- Van Ruth, S., King, C., Giannouli C. (2002). Influence of lipid fraction, emulsifier fraction, and mean particle diameter of oil-in-water emulsions on the release of 20 aroma compounds, *J Agric Food Chem*, 50, 2365–2371.
- Viry, O., Boom, R., Avison, S., Pascu, M., Bodnár, I. (2018). A predictive model for flavor partitioning and protein-flavor interactions in fat-free dairy protein solutions. *Food Res Int*, 109, 52–58.
- Xu, J., He, Z., Zeng, M., Li, B., Qin, F., Wang, L., Wua, S., Chen, J. (2017). Effect of xanthan gum

on the release of strawberry flavor in formulated soy beverage. *Food Chem*, 228, 595–601.

Yang, Z.Y., Fan, Y.G. Xu, M., Ren, J.N., Liu, Y.L., Zhang, L.L., Li, J.J., Zhang, Y., Dong, M., Fan, G. (2017). Effects of xanthan and sugar on the release of aroma compounds in model solution. *Flavour Fragr J*, 32, 112–118.

Yaparel, C., Elmacı, Y. (2016). Tat-koku interaksyonları. *Akademik Gıda*, 14(2) : 218-224.

Yılmaz, E., İşleten, M. (2004). Gıda matrislerinden aroma maddeleri salınımının fiziksel esasları. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 18: 25-29.