



## Kızartma ile Oluşan Isıl Proses Kirleticileri ve Sağlık Etkileri<sup>A</sup>

Kezban ŞAHİN<sup>1\*</sup>, Saniye BİLİCİ<sup>2</sup>

**Öz:** Kızartma yöntemi, bilinen en eski pişirme yöntemlerinden biridir. Kızartılmış besinler lezzet, renk, doku ve görünüm gibi organoleptik ve duyuşal özellikleri sayesinde tüketiciler tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Kızartmada kullanılan yağın türü, yağ asidi bileşimi ve niteliği oldukça önemlidir. Çünkü kızartma süresince sıcaklık, nem ve oksijene bağlı olarak birçok kimyasal reaksiyon meydana gelmektedir. Bu reaksiyonların ilerlemesi ile ısıl proses kirleticileri olarak adlandırılan ve kanser başta olmak üzere obezite, kardiyovasküler hastalıklar gibi birçok sağlık problemi ile ilişkilendirilen; akrilamid, 3-kloropropan-1,2-diol (3-MCPD), glisidil esterleri (GE), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), trans yağ asitleri (TYA) ve furanlar oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı, güncel araştırmalar doğrultusunda kızartma amaçlı kullanılan yağ türlerini ve bileşimini incelemek, kızartma işlemi sonucunda oluşan ısıl proses kirleticilerinin sağlık üzerindeki etkilerini değerlendirmektir.

**Anahtar Kelimeler:** Kızartma, bitkisel yağlar, ısıl proses kirleticileri, sağlık etkileri.

### Thermal Process Contaminants by Frying and It's Health Effects

**Abstract:** Frying is one of the oldest known cooking methods. Fried foods are frequently preferred by consumers due to their organoleptic and sensory properties such as flavor, color, texture, and appearance. The

<sup>A</sup> Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır.

\* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** <sup>1</sup> Kezban ŞAHİN, Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Toplu Beslenme Sistemleri Anabilim Dalı, Balıkesir, Türkiye, [ksahin@bandirma.edu.tr](mailto:ksahin@bandirma.edu.tr), [OrcID 0000-0001-9278-9130](https://orcid.org/0000-0001-9278-9130)

<sup>2</sup> Saniye BİLİCİ, Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Toplu Beslenme Sistemleri Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, [sgbilici@gazi.edu.tr](mailto:sgbilici@gazi.edu.tr), [OrcID 0000-0002-1235-0329](https://orcid.org/0000-0002-1235-0329)

type, fatty acid composition, and quality of the oils used in frying are very important. Because during frying, many chemical reactions occur depending on temperature, humidity, and oxygen. With the progression of these reactions, acrylamide, 3-chloropropane-1,2-diol (3-MCPD), glycidyl esters (GE), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), trans fatty acids (TFAs) and furans, which are called thermal process contaminants, are formed. These compounds are associated with many health problems such as obesity, cardiovascular diseases, especially cancer. The aim of this review is to examine the oils used in deep-frying in the light of current research and to evaluate the health effects of thermal process contaminants formed during deep-frying.

**Keywords:** Frying, vegetable oils, thermal process contaminants, health effects.

## Giriş

Kızartma, günlük hayatta evsel ve endüstriyel ölçekte yaygın olarak kullanılan pişirme yöntemlerinden birisidir ve genelde 140-190 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir (Haddarah ve ark., 2021). Kullanılan yağ miktarına göre üç farklı kızartma yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler; derin yağda kızartma (deep-frying), az miktarda yağ içine kısmen batırma (tavada kızartma) veya çok kızgın yağda özel bir tavada (wok içinde) kızartmadır (Hosseini ve ark., 2016).

Kızartma işleminde yağ, ısı kaynağından yiyeceğe enerjinin transfer edilmesi için ortam hazırlamaktadır. Bu işlemde besin ile yağ arasında zıt yönlere gerçekleşen kütle ve ısı transferleri aynı anda hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Örneğin nişastalı besinlerde su ve az miktarda çözünür madde üründen ayrılırken yağ besinin içine doğru hareket etmektedir (Gertz, 2014; Asokapandian ve ark., 2020).

Kızartma süresinde kızartılan besinin yağ alımını etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler, besinin özelliklerine (besinin boyutu, şekli, yüzeyi, içeriği), kullanılan yağa (yağın türü, rafinasyon derecesi, kalitesi), kızartma sürecine ilişkin (kızartma sıcaklığı, süresi) parametrelerdir. Bununla birlikte blanching, pre-drying, coating gibi kızartma öncesinde uygulanan işlemlerin de besinlerin yağ çekme kapasitesini etkileyebileceği bildirilmiştir (Oladejo ve ark., 2018; Asokapandian ve ark., 2020). Günümüzde geleneksel kızartma yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen air-frying, vakumlu kızartma gibi yeni teknolojiler; besinlerin yağ çekme oranını azaltmakta ve daha kaliteli kızartılmış besinlerin üretilmesini sağlamaktadır (Fang ve ark., 2021).

Kızartma prosesi boyunca sıcaklık, nem ve oksijene bağlı olarak hidroliz, oksidasyon, izomerizasyon ve polimerizasyon gibi birçok kimyasal reaksiyon gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar ile üründeki lezzet bileşenleri azalmakta ve yapısal değişimler gerçekleşmektedir. Ek olarak reaksiyonların ilerlemesi sonucunda yağların kalitesi bozularak besin değeri azalmakta, çok sayıda uçucu ve uçucu olmayan bileşikler meydana gelmektedir (Bhat ve ark., 2022). Isıl proses kirleticileri olarak adlandırılan bu bileşikler, olumsuz sağlık sonuçlarıyla ilişkilendirilmektedir (Hogervorst ve ark., 2022; Wang ve ark., 2022). Isıl proses kirleticilerinin oluşumu kullanılan kızartma yöntemi ile yakından ilişkilidir (Lee ve ark., 2020). Bu derlemede, kızartma amaçlı kullanılan yağlar ve kızartmada oluşan ısıl proses kirleticilerinin (akrilamid, 3-kloropropan-1,2-diol, glisidil

esterleri, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, trans yağ asitleri ve furanlar) sağlık üzerindeki etkilerinin tartışılması amaçlanmıştır.

## Kızartma Amaçlı Kullanılan Yağlar

Kızartma işlemi gıdaların aroma, renk, çıtırlık gibi tekstürel ve duyuşsal özelliklerini iyileştirerek tüketilebilirliğini arttırmak amacıyla özellikle toplu beslenme kuruluşlarında sıklıkla tercih edilen bir pişirme yöntemidir. Kızartma sırasında meydana gelen reaksiyonlar nedeniyle yağda bazı fiziksel ve kimyasal değişimlerin yanı sıra ısı işleme bağı mutajenik ve karsinojenik bileşikler ortaya çıkabilmektedir (Aladedunye, 2016). Kızartma işleminde meydana gelen ve sağlık üzerine olumsuz etkilere neden olabilecek değişimlerin azaltılması ve kontrol altına alınmasında kızartma yağının seçimi önem taşır. Kızartma yağının performansının değerlendirilmesinde yağın dumanlanma noktası ile oksidatif stabilitesi, serbest yağ asitliği içeriği, ulaşılabilirliği ve fiyatının yanı sıra, kızartılan besine ait fizyolojik özellikler de (düşük trans yağ asidi içeriği, allerjen ve genetiği değiştirilmiş organizma olmaması) önemli karar noktaları olarak nitelendirilmektedir (Ramroudi ve ark., 2022).

Kızartma yönteminde kızartma yağının ısıya karşı dayanıklılığı önem taşımaktadır. Kızartma sırasında yağda ısı etkisiyle zamanla fiziksel ve kimyasal değişiklikler sonucunda termal oksidasyon, polimerizasyon ve hidroliz görülmektedir. Bu reaksiyonlar sonucunda yağın peroksit değerinde artış meydana gelmekte ve yüksek molekül ağırlıklı dekompozisyon ürünleri (polar maddeler gibi) oluşmaktadır (Gertz, 2014; Hosseini ve ark., 2016). Polar maddeler, yağların bozunma reaksiyonlarının ilerlemesi ile oluşan polar yapıda ve uçucu olmayan ürünlerin tümünü ifade eder. Oluşan oksidasyon ürünleri, kızartmada kullanılan yağın kalitesini azaltmanın yanı sıra, kızartılan ürünün tat, lezzet ve besleyici değer açısından olumsuz etkilenmesine neden olur (Baltacıoğlu, 2016). Trigliserit yapısında oleik, linoleik ve linolenik gibi doymamış yağ asitlerinin yer alması da oksidasyon için kritik önem taşımaktadır. Bu nedenle termal oksidasyonun neden olduğu degradasyon, doymamış yağ asidi içeren yağlarda daha fazla ve hızlı şekilde gerçekleşmektedir. Doymamış çift bağ sayısı arttıkça yağlar oksidasyona daha yatkın hale gelmektedir (Cakmak Arslan, 2022). Yağların oksidasyon stabilitesini etkileyen temel yağ asitleri Çizelge 1'de gösterilmiştir (Alasalvar ve ark., 2006; Hosseini ve ark., 2016; Barrera-Arellano ve ark., 2018).

**Çizelge 1.** Bazı yağ türlerinin yağ asidi bileşimi (Alasalvar ve ark., 2006; Hosseini ve ark., 2016; Barrera-Arellano ve ark., 2018).

Yağ türleri	Oleik asit (%)	Linoleik asit (%)	Linolenik asit (%)	SFA (%)	SFA/MUFA/PUFA
Fındık yağı	82.78	8.85	0.12	7.79	1:10.62:1.15
Zeytinyağı	78.96	5.01	0.7	13.45	1:5.83:0.43
Kanola yağı	59.41	20.61	8.36	7.41	1:8.52:4.13
Kolza yağı	58.4	22.7	6.2	8.1	-
Yer fıstığı yağı	52.8	29.1	0	15.9	1:3.46:1.83
Pirinç kepeği yağı	43.15	30.92	1.15	25.6	1:1.71:1.2
Palm yağı	42.06	12.37	0.52	50	1:0.8:0.2
Palm olein	42.22	11.75	0.28	46.85	1:0.9:0.21
Mısırozü yağı	30.50	52.0	1.0	15.0	-
Tereyağı	27.95	3.1	0.1	68.2	1:0.46:0.06
Ayçiçek yağı	27.69	60.58	0.32	11.37	1:2.97:5.01
Soya yağı	23.22	53.64	6.34	16.3	1:1.45:3.87
Aspir yağı	11.04	70.46	0	-	-

SFA: Doymuş yağ asitleri; MUFA: Tekli doymamış yağ asitleri; PUFA: Çoklu doymamış yağ asitleri.

Linolenik asit ve linoleik asit, bitkisel yağlarda bulunan iki temel çoklu doymamış yağ asididir. Yapılan bir araştırmada linoleik asit içeriği düşük olan zeytinyağının, derin yağda kızartma işlemi için palm yağı ve soya yağından daha uygun olduğu bildirilmiştir (Chiang ve ark., 2022). Başka bir çalışmada ise doymamış yağ asidi içeriği düşük olan palm yağı ve kolza yağının, ayçiçek yağına göre daha az oranda aldehit emisyonuna neden olduğu ve kızartma için daha uygun olduğu rapor edilmiştir. Bununla birlikte kızartma uygunluğu açısından önemli olan tek parametrenin kullanılan yağların bileşimi olmadığı vurgulanmıştır (Peng ve ark., 2017; Szabo ve ark., 2022).

Kızartma işleminde bitkisel, hayvansal ve karışım yağlar kullanılabilir. Bununla birlikte, günümüzde beslenme ile ilişkili olumlu sağlık etkileri nedeni ile kızartmada bitkisel sıvı yağların kullanımı tercih edilmektedir (Asokapandian ve ark., 2020). Zeytinyağı bileşimi nedeni ile otooksidasyona karşı daha dirençli ve yüksek pişirme sıcaklığına daha dayanıklıdır (Ambra ve ark., 2022). Kritik sıcaklık derecesi, yağların kimyasal yapılarının bozulduğu sıcaklık derecesi olarak tanımlanmaktadır. Kritik sıcaklık derecesine göre palm yağı birinci derecede yer alırken yer fıstığı ve zeytinyağı ise palm yağını takip etmektedir. Bu doğrultuda yüksek maliyeti nedeniyle kızartma amacıyla tercih edilmese de olumlu sağlık etkileri ve kritik sıcaklık derecesi göz önünde bulundurulduğunda zeytinyağının kızartma için uygun bir yağ olduğunu söylemek mümkündür (Depren ve ark., 2008).

Yapılan bir çalışmada, ekstra sızma zeytinyağının kızartma işlemi için kullanılmasının kardiyovasküler hastalıklar ve obezite riskini olumsuz yönde etkilemediği ancak Akdeniz diyeti doğrultusunda ekstra sızma zeytinyağının tek başına kullanılmasının sağlık açısından daha uygun olduğu bildirilmiştir (Sayon-Orea ve ark., 2015). Yapılan başka bir araştırmada, benzer şekilde zeytinyağının Akdeniz ülkelerindeki primer kullanım amacının kızartma olmadığı ifade edilmiş ve olumlu sağlık etkilerine rağmen yüksek maliyetinden dolayı yaygın olarak tüketilemediği bildirilmiştir (Cakmak Arslan, 2022).

Yer fıstığı yağı ve kanola yağı, yüksek dumanlanma noktası ve yağ asidi kompozisyonu sayesinde kızartma için ideal yağ türleri olarak nitelendirilmektedir (Asokapandian ve ark., 2020). Yer fıstığı (*Arachis hypogaeae*), *Fabaceae* familyasına ait bir bitkidir ve önemli bir yağ kaynağıdır. Özellikle yüksek dumanlanma noktası ve düşük trans yağ asidi oluşumu sayesinde hem yemeklik hem de kızartma amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Yang ve ark., 2022).

Çin’de yapılan bir araştırmada, farklı yağ çeşitleri (soya fasulyesi yağı, kolza yağı, yerfıstığı yağı ve zeytinyağı) ile derin yağda kızartma işleminin süresinin (15 dk, 30 dk, 45 dk) tavuk nugget ve patates örneklerinde polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) oluşumu üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Kızartma öncesinde PAH’ların tüm yağ çeşitlerinde en düşük seviyede olduğu bildirilmiştir. Kızartma sonrasında ise PAH içeriği soya fasulyesi yağında en düşük iken yerfıstığı yağında en yüksek seviyede bulunmuştur. Kızartma süresi artışına paralel bir şekilde derin yağda kızartma işleminde, PAH türleri ve konsantrasyonlarının arttığı saptanmıştır. Benzo (a) piren, benzo (a) floranten, benzo (a) antrasen ve krisenden oluşan dört PAH’ın toplam düzeyi ise 45 dk’lık derin yağda kızartma sonucunda özellikle yerfıstığı yağı ve zeytinyağı örneklerinde yüksek bulunmuştur. Ancak bu değerlerin kabul edilebilir limitlerin (maksimum 10 µg/kg) arasında olduğu belirtilmiştir (Hao ve ark., 2016).

Palm yağı, palmye ağacının meyvesinden (*Elaeis guineensis*) elde edilen bir yağ türüdür (Elmas ve Bayizit, 2021). Palm yağının yağ asidi örüntüsü dengelidir ve %40.0 oranında oleik asit (MUFA), %10.0 linoleik asit (PUFA), %45.0 palmitik asit (SFA) ve %5.0 stearik asit (SFA) içermektedir (Boateng ve ark., 2016). Palm yağı ve özellikle palm yağının sıvı fraksiyonu olan palm oleini, kızartma işleminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni, palm yağının maliyetinin ve serbest yağ asidi oranının düşük (<%0.5); erişilebilirliğinin, dumanlanma noktasının (230 °C) ve oksidatif stabilitesinin yüksek olmasıdır (Ismail ve ark., 2018). Yapılan bir çalışma sonucunda, ayçiçek yağı yerine palm yağının uygun sıcaklık derecesinde (180 °C) kızartma yağı olarak kullanılabilirliği, karotenoidlerin ve antioksidanların yüksek düzeyde bulunmasının palm yağına oksidatif stabilite verdiği ifade edilmiştir. Bu olumlu etkiler nedeniyle palm yağının Avrupa pazarında ve mutfaklarda pişirme yağı olarak geniş bir kullanım alanının olabileceği bildirilmiştir (Andreu-Sevilla ve ark., 2009). Bununla birlikte yapılan bazı çalışmalarda palm yağının sağlık üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı (Ismail ve ark., 2018; Wang ve ark., 2019) hatta potansiyel terapötik etkilerinin olduğu (Zainal ve ark., 2022) sonucu çıkarılırken bazılarında olumsuz sağlık sonuçlarının neden olabileceği sonucuna varılmıştır (Abdulwaliyu ve ark., 2022). Ancak palm yağı ve sağlık etkilerine yönelik mevcut kanıtların zayıf olduğu (Zulkipli ve ark., 2019) ve sonuçların çelişkili çıkmasındaki en önemli nedenin palm yağının farklı fraksiyonlarının ve palm yağı ile birlikte farklı yağların kullanımı olduğu, palm yağının olası etkilerinin netleşmesi için farklı hastalıklar üzerindeki etkilerini de gösteren daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu belirtilmektedir (Voon ve ark., 2019; Abdulwaliyu ve ark., 2022).

Mısırözü yağı, yüksek oranda linoleik ve oleik asit içeren bitkisel yağ türüdür ve bileşiminde %60.0 çoklu doymamış, %25.0 tekli doymamış ve %15.0 oranında doymuş yağ asidi bulunmaktadır. Bileşimindeki tokoferoller, tokotrienoller vb. antioksidanların varlığı sayesinde yüksek oksidatif stabiliteye sahip olan mısırözü yağı, kızartmada kullanılmaktadır ancak nispeten daha pahalıdır (Barrera-Arellano ve ark., 2018). Ayçiçek yağı,

ülkemizde kızartma için en fazla tercih edilen bitkisel yağlardan biridir ve yüksek oranda linoleik asit (%48.3-74.0) içermektedir (Boukandoul ve ark., 2019; Kasapoğlu ve Sağlam 2021). Bu durum, tekrarlanan kızartma işlemi sırasında oksidatif stabilitenin azalması ve lipid peroksidasyonunun hızlanması ile sonuçlanır. Ayçiçek yağının oksidasyona karşı direncini artırmak amacıyla genetik modifikasyon yoluyla yüksek oleik asitli ayçiçek yağı üretilmektedir. Ancak yüksek oleik asitli ayçiçek yağının kızartma performansının değerlendirilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Chen ve ark., 2023).

Farklı yağların birbirleri ile karıştırılması ile elde edilen harmanlanmış yağlara karşı talep son yıllarda hızla artmaktadır. Bu yöntem ile yağların oksidatif stabilite gibi kimyasal özelliklerinin yanı sıra besin değeri de iyileştirilmekte ve daha sağlıklı bir karışım elde edilmektedir (Hashempour-Baltork ve ark., 2016; Khakbaz Heshmati ve ark., 2022). Yapılan bir araştırmada, farklı oranlarda pirinç kepeği yağı karıştırılmış soya yağında oksidatif ürün oluşumunun daha düşük oranda olduğu bildirilmiş ve pirinç kepeği yağı ile harmanlama işleminin kızartma sıcaklığında lipid peroksidasyon sürecini geciktirebileceği bildirilmiştir (Ali ve ark., 2020).

Susam yağı, %85.0 oranında doymamış yağ asidi içeriğine sahip olmasının yanı sıra bileşiminde bulunan lignanlar ve tokoferoller nedeniyle oksidasyona karşı dayanıklıdır. Bununla birlikte kızartmalarda tek başına kullanılmasının ekonomik olmadığı ve bu sebeple farklı bitkisel yağlar ile karıştırılmasının maliyeti düşürerek geleneksel yağlara iyi bir alternatif olabileceği belirtilmiştir (Hashempour-Baltork ve ark., 2016). Yapılan bir araştırmada; ayçiçek yağı, mısırözü yağı ve bu yağların susam yağı ile karışımları kızartma açısından değerlendirilmiş; özellikle mısırözü ve susam yağı kombinasyonunun besin değeri ve oksidatif stabilite açısından daha iyi performans gösterdiği saptanmıştır (Ramroudi ve ark., 2022).

Üzüm çekirdeği yağının linoleik asit içeriği yüksek olmasına rağmen oksidatif stabilitesi düşüktür. Susam yağı ve üzüm çekirdeği yağının karıştırıldığı bir çalışmada, karışım yağın oksidatif stabilitesinin arttığı ve maliyetinin düştüğü bildirilmiştir. Bununla birlikte karışım yağın kızartma işlemi süresince asit sayısı ve peroksit değeri yasal limitleri aştığı için kızartmaya uygun olmadığı ifade edilmiştir (Khakbaz Heshmati ve ark., 2022).

Kızartma işlemi için ideal tek bir yağ bulunmamaktadır. Bununla birlikte seçilecek yağın, kızartma işlemi sırasında iyi performans göstermesi, ürüne uygun lezzet, çekici görünüm ve doku vermesi gerekmektedir. Ayrıca yağ türü fark etmeksizin yağların tekrarlı kullanımında dikkat edilmesi gereken bazı hususlara dikkat etmek gerekir. Çünkü yağların tekrarlı kullanılması, kaliteli kızarmış besin üretimini engellemekte, yağların bozulmasını hızlandırmakta ve insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır (Gertz, 2014; Hashempour-Baltork ve ark., 2016; Ramroudi ve ark., 2022). Kızartma yağlarının tekrarlı kullanımının belirlenmesinde çeşitli kimyasal ve fiziksel indeksler ile yağ kalitesini test etmek çok önemlidir (Gertz, 2014). Yağların kalitesinin değerlendirilmesinde bozulma indeksleri olarak kullanılan parametreler; peroksit, p-anisidin, karbonil değeri, polar bileşikler ve polimerize triaçilgliserollerdir. Bu değişkenler doğrultusunda birçok ülkede kızartma ile yüksek kaliteli besinler elde etmek amacıyla yasal düzenlemeler oluşturulmuştur (Hosseini ve ark., 2016). Ülkemizde Resmi Gazete’de yayımlanan 28290 sayılı Kızartmada Kullanılmakta Olan Katı ve Sıvı Yağlar İçin Özel Hijyen Kuralları Yönetmeliği’ne göre kızartmada kullanılacak yağın sıcaklığı  $\leq 180$  °C, polar madde oranı  $\leq 25$  ve asit sayısı  $\leq 2.5$  mg KOH g<sup>-1</sup> yağ olarak belirlenmiştir (Resmi Gazete, 2023).

## Kızartma ile Oluşan Isıl Proses Kirleticileri ve Sağlık Etkileri

Kızartma yöntemi her ne kadar toplu beslenme yapılan kurumlarda ve ev ortamında sıklıkla kullanılan pişirme yöntemlerinden biri olsa da yanlış uygulamalar nedeniyle bazı sağlık risklerini de beraberinde getirmektedir. Bu risklere neden olanların başında ürüne uygulanan ısı işlemler sonrasında toksik ve karsinojenik bileşikler olarak bilinen ısıl proses kirleticileri yer almaktadır (Liu ve ark., 2023). Temel ısıl proses kirleticileri akrilamid, 3-kloropropan-1,2-diol (3-MCPD) ve glisidil esterleri (GE), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), trans yağ asitleri (TYA) ve furanlardır (Aladedunye, 2016).

Isıl proses kirleticilerinin oluşumunda sıcaklık, nem, oksijen, asitlik, oksidatif stabilite, yağın türü, kullanım sayısı, kızartma süresi vb. faktörlerin yanı sıra kızartma yöntemi de etkilidir. Etkili olan bu faktörler dikkate alınarak ısıl proses kirleticilerinin oluşumunun azaltılmasına yönelik çeşitli stratejiler geliştirilmiştir (Zhou ve ark., 2022). Bunlardan biri air-frying teknolojisidir. Tavuk eti ile yapılan bir araştırmada air-frying teknolojisinin derin yağda kızartma yöntemine göre akrilamid ve PAH oluşumunu azaltabileceği bildirilmiştir (Lee ve ark., 2020). Sansano ve arkadaşları (2015) da patates örneğinde derin yağda kızartma yöntemi ile karşılaştırıldığında air-frying yönteminin akrilamid oluşumunu %90.0 oranında azalttığını ifade etmiştir. Ek olarak derin yağda kızartma öncesinde nikotik asit, sitrik asit, glisin, sodyum klorür gibi kimyasal ajanlar ile ön işlem uygulanması da akrilamid düzeyini %80.0-90.0 oranında azaltmıştır (Sansano ve ark., 2015). Bir diğeri ise antioksidan özelliğe sahip ajan kullanımıdır. Bu amaçla yeşil çay, bambu yaprakları, üzüm çekirdeği ve biberiye ekstraktlarının kullanıldığı bir çalışmada kızarmış ördekteki PAH oluşumunun inhibe edildiği sonucuna varılmıştır (Shen ve ark., 2022). Kızarmış domuz eti ile yapılan bir araştırmada da benzer sonuçlara ulaşılmış olup zencefil ve biberiye'nin heterosiklik aminler, PAH ve trans yağ asidi oluşumunu engelleyebileceği gösterilmiştir (He ve ark., 2022). Bahsedilen yöntemler ile ısıl proses kirleticilerinin oluşumunun engellenmesi veya azaltılması, olumsuz sağlık sonuçlarını en aza indirgeyebilir.

### Akrilamid

Akrilamid, karbonhidratlar ve proteinler açısından zengin besinlerin kızartma, kavurma gibi yüksek sıcaklık gerektiren işlemlere maruz kalmaları sonucunda oluşan, nörotoksik ve potansiyel karsinojenik bir maddedir (Haddarah ve ark., 2021). Özellikle kızartma süresince meydana gelen kimyasal reaksiyonlar, insan sağlığı açısından zararlı olan lipid bozunma ürünlerinin ve akrilamidin birikimine neden olmaktadır. Kızartma sıcaklığının ve süresinin standart olmaması, besinlerdeki akrilamid konsantrasyonunun artırmaktadır (Liu ve ark., 2019; Haddarah ve ark., 2021). Ayrıca kızartmada kullanılan yöntem de akrilamid konsantrasyonunu etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda air-frying teknolojisi, derin yağda kızartma yöntemine göre daha düşük oranda akrilamid oluşumu ile ilişkilendirilmiştir (Sansano ve ark., 2015; Lee ve ark., 2020).

Lipid oksidasyonu, akrilamid oluşumunu desteklemektedir. Lipid oksidasyonunda akrilamid, gliserol dehidrasyonun sonucunda oluşan akroleinden veya akrilik asitten oluşabileceği gibi doğrudan asparajin aminoasidinden de oluşabilmektedir. Ancak akrilamid oluşumuna yönelik en yaygın görüş; bu bileşiğin 120 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda indirgen şekerlerin karbonil grupları ve asparajin aminoasidinin amino grubunun

kondenzasyonu aracılığıyla Maillard reaksiyonu sırasında oluştuğu yönündedir (Pelucchi ve ark., 2015; Hogervorst ve ark., 2022).

Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından akrilamid, Grup 2A'da (muhtemelen kanserojen) sınıflandırılmıştır. Akrilamid, küçük hidrofilik yapıda bir molekül olup vücuttaki her organ ve dokuya ulaşabilmektedir. Bu nedenle tüm dokuları hedef alarak karsinogeneze yol açabilmektedir. Akrilamidin iki temel metabolik yolağı bulunmaktadır. Bu yolaklardan birincisi, glutatyon S-transferaz (GST) aracılığıyla glutatyon konjugasyonunu doğrudan etkilemesidir (Liu ve ark., 2019). İkincisi ise sitokrom P450 (CYP2E1) tarafından kısmen glisidamide metabolize edilmesidir. Glisidamidin ise hemoglobin ve DNA'ya bağlanarak genotoksisiteye neden olduğu bilinmektedir (Kito ve ark., 2020).

Batı toplumlarında yapılan epidemiyolojik araştırmaların dahil edildiği bir meta-analiz çalışmasında, diyet ile akrilamid alımının sigara içmeyenlerde böbrek, over ve endometriyum kanserleri ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Ancak yaygın olarak görülen diğer kanser türleri ile anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (Pelucchi ve ark., 2015). Hollanda'da yapılan araştırmalara göre diyetel akrilamid alımı ve CYP2E1 tek nükleotid polimorfizmi arasındaki etkileşim, over ve endometriyum kanserleri ile ilişkisini açıklamaktadır. Ancak bu sonuçların doğrulanması için ileri araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Hogervorst ve ark., 2016., Hogervorst ve ark., 2017).

Liu ve arkadaşları (2019), Japon popülasyonu için diyetel akrilamid alımının; özofagus, mide ve kolorektal kanser riski ile ilişkili olmadığını rapor etmiştir (Liu ve ark., 2019). Japon toplumu için benzer sonuçlar, pankreas kanseri, endometriyum ve over kanseri için de elde edilmiştir. Bu durum, Batı toplumlarına kıyasla Japon toplumunun daha düşük diyetel akrilamid alımının olması ile ilişkilendirilmiştir (Kito ve ark., 2020; Kotemori ve ark., 2018).

Yetişkin bireyler ile araştırmada, akrilamid maruziyetinin oksidatif stres, inflamasyon ve transforme edici büyüme faktörü- $\beta$ 1'in (TGF- $\beta$ 1) indüklenmesi aracılığıyla kardiyovasküler hastalık riskini arttırdığı saptanmıştır (Wang ve ark., 2022). Bir meta analiz çalışmasında gebelik döneminde maternal akrilamid maruziyetinin fetal gelişim parametrelerini olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir (Hogervorst ve ark., 2022). Çin'de sigara içmeyen yaşlı popülasyon ile yapılan çalışmada dört yıllık takip süresi boyunca diyetel akrilamid maruziyeti erkeklerde hafif düzeyde bilişsel gerileme ile ilişkilendirilmiştir. Ancak aynı ilişki kadınlarda saptanmamıştır (Liu ve ark., 2017). Kuzey Amerika'da yapılan sekiz yıl takip süreli prospektif kohort çalışmasında ise diyetel akrilamid maruziyeti yüksek olan bireylerin osteoporotik kırık riskinin daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır (Veronese ve ark., 2022).

### **3-Kloropropan-1,2-Diol (3-MCPD) ve Glisidil Esterleri (GE)**

İnsan vücudu için potansiyel toksik bileşen olarak nitelendirilen 3-MCPD ve GE, rafine bitkisel yağlarda deodorizasyon sırasında oluşan kontaminantlardır. Özellikle yüksek sıcaklık gerektiren kızartma ve fırınlama işlemleri de 3-MCPD ve GE oluşumu için elverişli ortamlardır. Glisidol esterleri genotoksik bir kanserojendir. Bu nedenle IARC tarafından Grup 2A (muhtemelen kanserojen) olarak sınıflandırılmıştır (Goh ve ark., 2021). 3-



MCPD ve glisidol toksisitesine yönelik yapılan araştırmalarda oksidatif stres ve DNA metilasyonunun anahtar rol oynayabileceği bildirilmiştir (Senyildiz ve ark., 2017; Schultrich ve ark., 2020).

Yapılan bir rat çalışmasında dört hafta boyunca 3-MCPD maruziyetinin ovaryan inflamasyonu ile fibrozisi indüklediği; oositlerde folikül olgunlaşmasını bozan ve oosit kalitesini azaltan mitokondiyal disfonksiyon ve demir iyonu homeostazı bozukluklarına neden olduğu bildirilmiştir (He ve ark., 2023).

Başka bir araştırmada ise 3-MCPD ve toksik metaboliti glisidolün beyin dokusunda apoptozisi indükleyebileceği rapor edilmiştir (Sevim ve ark., 2021). Ayrıca bu bileşenlere maruziyetin nekroptozis, otofajik hücre ölümü ve inflamazom aktivasyonu aracılığıyla sistemik toksisite ile nefrotoksisiteyi indüklediği belirtilmiştir (Liu ve ark., 2021). Bununla birlikte 3-MCPD ve glisidil esterleri ile ilgili yapılan araştırmalar hayvan çalışması boyutunda kalmış olup insanlar ile yapılan klinik çalışma bulunmamaktadır.

### **Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)**

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar, en az iki aromatik halka içeren bir dizi hidrofobik bileşiktir. PAH'lar insan vücudunda çeşitli proteinler ve DNA ile etkileşime girerek kardiyovasküler hastalıklara, kansere ve immünotoksik etkilere neden olabilmektedir (Xin ve ark., 2022). Son durumda otoriteler tarafından 16 PAH bileşiği (naftalin, piren, benzo[a]antrasen (BaA), benzo[b]floranten (BbF), benzo[k]floranten (BkF), benzo[j]floranten (BjF), benzo[a]piren (BaP) vb.) öncelikli kirleticiler kategorisine alınmıştır. Sigara içmeyen yetişkin bireyler için PAH maruziyetinin temel nedeni diyetel alımdır (Alexander ve ark., 2008). Özellikle kızartma yönteminin, yağlarda PAH oluşumunu tetiklediği bilinmektedir (Xin ve ark., 2022).

Kanada'da yapılan bir araştırmada, çocukların üriner PAH metabolitleri ve antropometrik ölçümleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Naftalin ve toplam PAH metabolitleri açısından en yüksek çeyrekliğe sahip olan grubun en düşük çeyrekliğe göre santal obezite riskinin üç kat daha fazla olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak 3-5 yaş grubundaki çocuklarda bel boy oranı ve üriner PAH metabolitleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte PAH'ların potansiyel obezogenik ve endokrin bozucu etkileri ile ilgili daha fazla araştırma yapılması gerektiği ifade edilmiştir (Bushnik ve ark., 2020).

### **Trans Yağ Asitleri (TYA)**

Trans yağ asitleri, trans konfigürasyonunda en az bir doymamış, konjuge olmayan çift bağa sahip yağ asitleridir ve oluşum mekanizmalarından biri kızartma sırasında yağların bileşiminde bulunan cis formundaki doymamış yağ asitleridir. Yapılan bir meta-analiz çalışmasında, maksimum trans yağ asidi oluşumunun yağların çok yüksek sıcaklıklarda (200-240 °C) ve uzun süre ısıtılmasına maruz bırakılması sonucunda gerçekleştiği rapor edilmiştir (Bhat ve ark., 2022).

Dünya Sağlık Örgütü, olumsuz sağlık sonuçları nedeniyle günlük alınan toplam enerjinin %1'inden daha düşük bir oranının TYA'dan gelmesini önermektedir. Olumsuz sağlık sonuçlarına ilişkin potansiyel mekanizma olarak trans yağ asitleri, metabolizmada hepatik hücreler tarafından üretilen Apolipoprotein B-100 partiküllerinin sekresyonunu, lipid kompozisyonunu ve boyutunu değiştirmektedir. Bu değişiklik insan metabolizmasında azalan LDL Apo B-100 ve artan Apo A-I katabolizma oranlarına ve serum lipid düzeylerinde

değişikliklere neden olmaktadır. Ayrıca trans yağ asitleri dolaşımdaki tümör nekrozis faktör- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), interlekin-6 (IL-6) gibi proinflamatuvar sitokin düzeyini arttırmakta ve nitrik okside bağlı arteriyel dilatasyonu güçleştirmektedir (Islam ve ark., 2019). Bir sistematik derleme çalışmasında ise trans yağ asitlerinin (elaidik asit) histon modifikasyonu, DNA metilasyonu ve mikroRNA ile epigenetik mekanizmalar aracılığıyla insülin direnci, lipid ve glikoz metabolizması değişiklikleri, obezite, kanser, diyabet gibi hastalıklara neden olabileceği bildirilmiştir (González-Becerra ve ark., 2019).

Karaciğer fonksiyon testleri ve plazma TYA düzeyleri arasındaki ilişkinin incelendiği bir çalışmada ise non-alkolik yağlı karaciğer hastalığı ile plazma TYA düzeyleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve bu ilişkiye beden kütle indeksinin aracılık ettiği saptanmıştır (Mazidi ve ark., 2018). Yapılan bir meta-analiz çalışmasında ise diyet ile yüksek trans yağ asidi alımı, artmış kardiyovasküler hastalık riski ile ilişkili bulunmuştur (Zhu ve ark., 2019). Başka bir meta-analizde gebelik dönemindeki yüksek TYA düzeyi, yenidoğanın düşük doğum ağırlığı ile ilişkilendirilmiştir (Ren ve ark., 2021). EPIC kohortu ile yürütülen araştırmada, diyetle alınan trans yağ asitlerinin (özellikle elaidik asitin) meme kanseri riskini arttırabileceği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte altta yatan mekanizmaların belirlenebilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu bildirilmiş ve gelecekteki çalışmaların bulguları da bu ilişkiyi desteklerse otoriteler tarafından bildirilen limitlerin yeniden düzenlenebileceği belirtilmiştir (Matta ve ark., 2021).

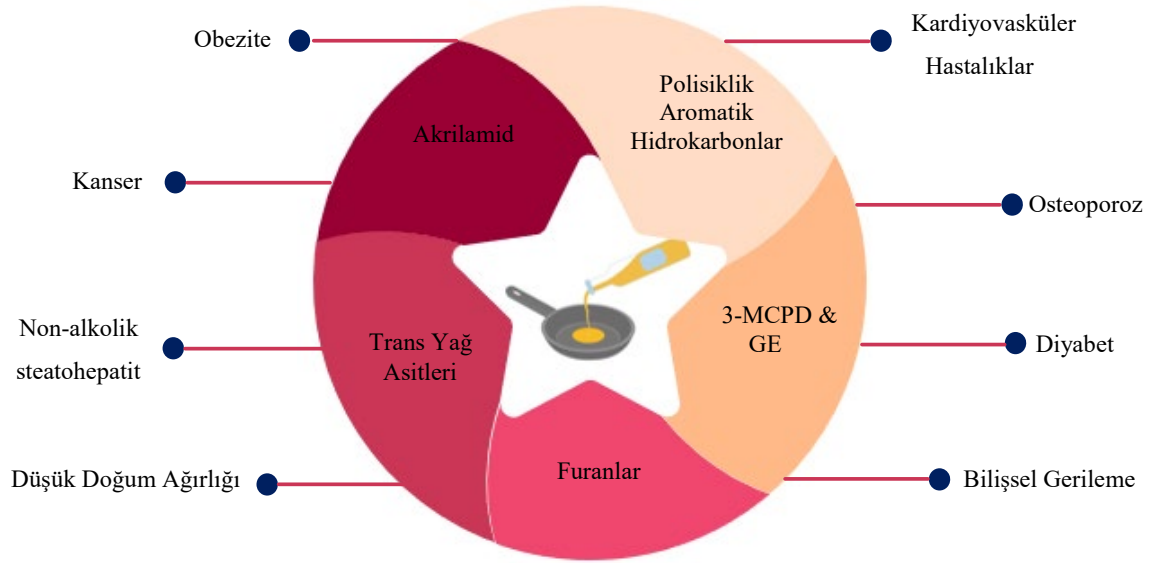
## Furanlar

Furanlar; karbonhidratların tek başına veya aminoasitlerin varlığında termal olarak bozunması, belirli aminoasitlerin (serin, sistein) termal olarak bozunması, yüksek sıcaklıklarda askorbik asidin oksidasyonu, PUFA ile karotenoidlerin oksidasyonu gibi farklı mekanizmalar sonucunda oluşmaktadır (Dong ve ark., 2016). Çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonu ile lipid peroksitler oluşmakta ve bu reaksiyonlarda ara ürün olarak 4-hidroksi-2-alkenaller, 5-pentilfuran oluşabilmektedir. Bu bileşenler furanların oluşumunda prekürsör maddelerdir (Seok ve ark., 2015).

5-Hidroksimetilfurfural (5-HMF), heksoz şekerlerden 1,2-enolizasyon, dehidrasyon, siklizasyon reaksiyonları ve Maillard reaksiyonu sırasında Amadori ürünlerinin parçalanmasından sonra oluşmaktadır. Besinlerdeki HMF miktarı, işlem sıcaklığı ile ilişkilidir. Kızartma sırasında bileşimlerine ve kızartma koşullarına bağlı olarak besinlerde belirli miktarlarda HMF oluşmakta ve oluşan HMF kızartma yağına geçmektedir. Tekrarlanan kızartmalarla birlikte bu aktarım ve birikme miktarı artmaktadır (Göncüoğlu ve Gökmen, 2013).

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi tarafından hazırlanan raporda; furanların invitro araştırmalar doğrultusunda hepatotoksik ve nefrotoksik etki gösterdiği, ratlarda hepatosellüler neoplazmları, kolanjiokarsinomları indüklediği, genotoksisiteye neden olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte furanların ve metilfuranların kanserojenitesinin genom üzerindeki etkisine ilişkin in-vivo çalışmalar yapılması önerilmiştir (Knutsen ve ark., 2017). Furanlar, IARC tarafından Grup 2B'de (insanlar için olası kanserojen) kategorize edilmiştir. Bununla birlikte mevcut literatürde insanlarda furanların kanserojenitesine yönelik bir araştırma yapılmadığı ve bu nedenle verilerin sınırlı olduğu bildirilmiştir (Kobets ve ark., 2022).

Kızartma işlemi ile oluşan temel ısıl proses kirleticileri ve sağlık etkileri Şekil 1'de özetlenmiştir.



**Şekil 1.** Isıl Proses Kirleticileri ve Olumsuz Sağlık Sonuçları (González-Becerra ve ark., 2019; Liu ve ark., 2019; Bushnik ve ark., 2020; Ren ve ark., 2021; Wang ve ark., 2022)  
3-MCPD & GE: 3-kloropropan-1,2-diol ve glisidil esterleri.

## Sonuç ve Öneriler

Kızartılmış besinler, birçok organoleptik ve duyuşsal özellikleri sayesinde tüketiciler tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Kızartma işleminde kullanılan yağların MUFA içeriğinin yüksek olması, oksidasyon riskini azaltmakta ve yağın stabilitesini artırmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte farklı yağların kombine edilmesiyle daha sağlıklı ve besleyici yağlar elde edilebilmektedir. Ancak kızartmada tercih edilecek yağlarda kalite parametreleri, ulaşılabilirliği ve maliyeti dışında aranacak bir diğer önemli parametrenin toplumda kabul edilebilirliği ve sürdürülebilir niteliğe sahip olması gerektiği düşünülmektedir. Örneğin susam yağı İran'da oldukça sık tüketilen ve üretilen bir yağ türü olup Türk toplumu için lezzet, erişilebilirlik ve maliyet açısından uygun olmayabilir.

Kızartma sürecinde yağların ve besinlerin kalitesini olumsuz yönde etkileyen kimyasal reaksiyonlar, ısıl proses kirleticilerinin oluşmasına neden olmaktadır. Temel ısıl proses kirleticileri akrilamid, 3-MCPD, GE, PAH'lar, trans yağ asitleri ve furanlardır. Yapılan araştırmalar sonucunda bu bileşenlerin, düşük doğum ağırlığı, kardiyovasküler hastalıklar, kardiyometabolik risk faktörleri, kanser türleri, osteoporoz, obezite, diyabet gibi birçok sağlık problemi ile ilişkisi olabileceği bildirilmektedir.

Günümüzde kızartma yönteminde besinlerin daha az yağ çekmesi amacıyla geliştirilen air-frying gibi kızartma teknolojileri, aynı zamanda ısıl proses kirleticilerinin oluşumunu da azaltmaktadır. Bu nedenle, geleneksel kızartma yöntemleri yerine yeni teknolojilerin kullanılması sağlık açısından daha faydalı olabilir. Ancak literatürde bu teknolojilerin sağlık etkileri üzerindeki etkileri ile ilgili yeterli kanıt bulunmamaktadır.

Mevcut bilgiler ışığında; kızartma sürecinde kullanılan besinlerin bileşimine, yağın türüne, kızartma yöntemine, sıcaklığına, süresine, uygulanan ön işlemlere ve yağın kullanım sayısına dikkat edilmesinin besin güvenliği açısından önemli olacağı ve bu faktörlere dikkat edilerek olumsuz sağlık sonuçlarının en aza indirgenebileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, kızartma sürecinde oluşan ısıl proses kirleticilerinin insan sağlığı üzerindeki etki mekanizmalarının daha iyi anlaşılması için daha ileri çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

## Teşekkür

Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Bu makaleyi hazırlayan yazarlar, araştırmaya eşit oranda katkı sağlamıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

- Abdulwaliyu, I., Okoduwa, S. I. R., Sangodare, R., Arekemase, S. O., Batari, M. L. and Muhammad, A. 2022. Review of studies on palm-oil consumption in relation to risk of cardiovascular diseases. *Journal of Nutrition and Food Security*, 8(1):137–151.
- Aladedunye, F. 2016. Toxic contaminants of thermo-oxidatively processed edible oils/fats. *Lipid Technology*, 28(7):117–121.
- Alasalvar, C., Amaral, J. S. and Shahidi, F. 2006. Functional lipid characteristics of Turkish tumbul hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26):10177–10183.
- Alexander, J., Benford, D., Cockburn, A., Cravedi, J.-P., Dogliotti, E., di Domenico, A., Luisa Fernández-Cruz, M., Fink-Gremmels, J., Fürst, P., Galli, C., Grandjean, P., Gzyl, J., Heinemeyer, G., Johansson, N., Mutti, A., Schlatter, J., van Leeuwen, R., van Peteghem, C. and Verger, P. 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food -scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain. *EFSA Journal*, 6(8):724.
- Ali, M. A., Islam, M. A., Othman, N. H., Noor, A. M. and Ibrahim, M. 2020. Effect of rice bran oil addition on the oxidative degradation and fatty acid composition of soybean oil during heating [pdf]. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 18(4):427–438.
- Ambra, R., Lucchetti, S. and Pastore, G. 2022. A Review of the effects of olive oil-cooking on phenolic compounds. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(3):661.
- Andreu-Sevilla, A. J., Hartmann, A., Burló, F., Poquet, N. and Carbonell-Barrachina, A. A. 2009. Health benefits of using red palm oil in deep-frying potatoes: low acrolein emissions and high intake of carotenoids. *Food Science And Technology International*, 15(1):15–22.
- Asokapandian, S., Swamy, G.J. and Hajjul, H. 2020. Deep fat frying of foods: A critical review on process and product parameters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(20):3400-3413.

- Baltacıoğlu, C. 2016. Farklı kızartma yöntemlerinin bitkisel yağların oksidatif stabilitesi üzerine etkisi. *Gıda*, 41(6):387-394.
- Barrera-Arellano, D., Badan-Ribeiro, A. P. and Serna-Saldivar, S. O. 2018. *Corn oil: Composition, processing, and utilization*. In *Corn: Chemistry and Technology*, 3rd Edition, Elsevier, pp: 593–613.
- Bhat, S., Maganja, D., Huang, L., Wu, J.H.Y. and Marklund, M. 2022. Influence of heating during cooking on trans fatty acid content of edible oils: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 14(7):1489.
- Boateng, L., Ansong, R., Owusu, W. B. and Steiner-Asiedu, M. 2016. Coconut oil and palm oil's role in nutrition, health and national development: A review. In *Ghana Medical Journal*, 50(3):189–196.
- Boukandoul, S., Santos, C. S., Casal, S. and Zaidi, F. 2019. Oxidation delay of sunflower oil under frying by moringa oil addition: more than just a blend. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(12):5483-5490.
- Bushnik, T., Wong, S. L., Holloway, A. C. and Thomson, E. M. 2020. Association of urinary polycyclic aromatic hydrocarbons and obesity in children aged 3-18: Canadian Health Measures Survey 2009-2015. *Journal of Developmental Origins of Health and Disease*, 11(6):623–631.
- Cakmak Arslan, G. 2022. Monitoring of hazelnut oil quality during thermal processing in comparison with extra virgin olive oil by using ATR-FTIR spectroscopy combined with chemometrics. *Spectrochimica Acta. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 266(2022):120461.
- Chen, J., Zhao, Y., Wu, R., Yin, T., You, J., Hu, B. and Zhao, S. 2023. Changes in the quality of high-oleic sunflower oil during the frying of shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Foods*, 12(6):1332.
- Chiang, K. M., Xiu, L., Peng, C. Y., Lung, S. C. C., Chen, Y. C. and Pan, W. H. 2022. Particulate matters, aldehydes, and polycyclic aromatic hydrocarbons produced from deep-frying emissions: comparisons of three cooking oils with distinct fatty acid profiles. *Science of Food*, 6(1):28.
- Depren, E., Seven, Ü. and Güçer, Ş. 2008. Isıl işlem sırasında zeytinyağında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler. I. Ulusal Zeytin Öğrenci Kongresi 17-18 Mayıs 2008, Edremit, Balıkesir, Türkiye. 146 s.
- Dong, H., Gill, S., Curran, I. H., Williams, A., Kuo, B., Wade, M. G. and Yauk, C. L. 2016. Toxicogenomic assessment of liver responses following subchronic exposure to furan in Fischer F344 rats. *Archives of Toxicology*, 90(6):1351–1367.
- Elmas, A. ve Bayizit, A. A. 2021. Palm yağında 3-MCPD ve glisidol esterleri oluşumuna proses şartlarının etkisi. *Bursa Uludag Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 35(2):333-354.
- Fang, M., Huang, G. J. and Sung, W. C. 2021. Mass transfer and texture characteristics of fish skin during deep-fat frying, electrostatic frying, air frying and vacuum frying. *LWT*, 137:110494.
- Gertz, C. 2014. Fundamentals of the frying process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(6):669–674.
- Goh, K. M., Wong, Y. H., Tan, C. P. and Nyam, K. L. 2021. A summary of 2-, 3-MCPD esters and glycidyl ester occurrence during frying and baking processes. *Current Research in Food Science*, 4:460–469.

- González-Becerra, K., Ramos-Lopez, O., Barrón-Cabrera, E., Riezu-Boj, J. I., Milagro, F. I., Martínez-López, E. and Martínez, J. A. 2019. Fatty acids, epigenetic mechanisms and chronic diseases: A systematic review. *Lipids in Health and Disease*, 18(1):1-18.
- Göncüoğlu, N. and Gökmen, V. 2013. Accumulation of 5-hydroxymethylfurfural in oil during frying of model dough. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(3):413–417.
- Haddarah, A., Naim, E., Dankar, I., Sepulcre, F., Pujolà, M. and Chkeir, M. 2021. The effect of borage, ginger and fennel extracts on acrylamide formation in French fries in deep and electric air frying. *Food Chemistry*, 350:129060–129060.
- Hao, X., Li, J. and Yao, Z. 2016. Changes in PAHs levels in edible oils during deep-frying process. *Food Control*, 66:233–240.
- Hashempour-Baltork, F., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S. and Savage, G. P. 2016. Vegetable oil blending: A review of physicochemical, nutritional and health effects. *Trends in Food Science & Technology*, 57:52–58.
- He, Q.-K., Li, Y.-P., Xu, Z.-R., Wei, W.-B., Qiao, F.-X., Sun, M.-X., Liu, Y.-C., Chen, Y.-Z., Wang, H.-L., Qi, Z.-Q. and Liu, Y. 2023. 3-MCPD exposure enhances ovarian fibrosis and reduces oocyte quality in mice. *Environmental Pollution*, 316:120662.
- He, X., Li, B., Yu, X., Zhuang, Y., Li, C., Dong, L., Zhang, Y. and Wang, S. 2022. Inhibiting effects of ginger and rosemary on the formation of heterocyclic amines, polycyclic aromatic hydrocarbons, and trans fatty acids in fried pork balls. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(23):3767.
- Hogervorst, J. G. F., van den Brandt, P. A., Godschalk, R. W. L., van Schooten, F.-J. and Schouten, L. J. 2016. The influence of single nucleotide polymorphisms on the association between dietary acrylamide intake and endometrial cancer risk. *Scientific Reports*, 6(1):34902.
- Hogervorst, J. G., van den Brandt, P. A., Godschalk, R. W., van Schooten, F. J. and Schouten, L. J. 2017. Interactions between dietary acrylamide intake and genes for ovarian cancer risk. *European Journal of Epidemiology*, 32:431-441.
- Hogervorst, J., Virgolino, A., Halldorsson, T. I., Vinceti, M., Åkesson, A., Leander, K., Nawrot, T., Filippini, T. and Laguzzi, F. 2022. Maternal acrylamide exposure during pregnancy and fetal growth: A systematic review and dose-response meta-analysis of epidemiological studies. *Environmental Research*, 213:113705.
- Hosseini, H., Ghorbani, M., Meshginfar, N. and Mahoonak, A. S. 2016. A Review on frying: procedure, fat, deterioration progress and health hazards. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(4):445–466.
- Islam, M. A., Amin, M. N., Siddiqui, S. A., Hossain, M. P., Sultana, F. and Kabir, M. R. 2019. Trans fatty acids and lipid profile: A serious risk factor to cardiovascular disease, cancer and diabetes. *Diabetes & Metabolic Syndrome*, 13(2):1643–1647.
- Ismail, S. R., Maarof, S. K., Ali, S. S. and Ali, A. 2018. Systematic review of palm oil consumption and the risk of cardiovascular disease. *PLoS One*, 13(2):e0193533.

- Kasapoğlu, E. D. ve Sağlam, A. 2021. Kızartma işleminin kullanılan yağda serbest yağ asitliği ve oksidasyon derecesi üzerine etkileri. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 16(61):1-17.
- Khakbaz Heshmati, M., Jafarzadeh-Moghaddam, M., Pezeshki, A. and Shaddel, R. 2022. The oxidative and thermal stability of optimal synergistic mixture of sesame and grapeseed oils as affected by frying process. *Food Science & Nutrition*, 10(4):1103–1112.
- Kito, K., Ishihara, J., Kotemori, A., Zha, L., Liu, R., Sawada, N., Iwasaki, M., Sobue, T. and Tsugane, S. 2020. Dietary acrylamide intake and the risk of pancreatic cancer: The Japan public health center-based prospective study. *Nutrients*, 12(11):3584.
- Knutsen, H. K., Alexander, J., Barregård, L., Bignami, M., Brüschweiler, B., Ceccatelli, S., Cottrill, B., Dinovi, M., Edler, L., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L., Nebbia, C. S., Oswald, I. P., Petersen, A., Rose, M., Roudot, A. C., Schwerdtle, T., Vleminckx, C. and Wallace, H. 2017. Risks for public health related to the presence of furan and methylfurans in food. *EFSA Journal*, 15(10): e04718.
- Kobets, T., Smith, B. P. C. and Williams, G. M. 2022. Food-borne chemical carcinogens and the evidence for human cancer risk. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(18):2828.
- Kotemori, A., Ishihara, J., Ling Zha, Liu, R., Sawada, N., Iwasaki, M., Sobue, T. and Shoichiro Tsugane, JPHC Study Group, 2018. Dietary acrylamide intake and the risk of endometrial or ovarian cancers in Japanese women. *Cancer Science*, 109(10):3316-3325.
- Lee, J. S., Han, J. W., Jung, M., Lee, K. W. and Chung, M. S. 2020. Effects of thawing and frying methods on the formation of acrylamide and polycyclic aromatic hydrocarbons in chicken meat. *Foods (Basel, Switzerland)*, 9(5):573.
- Liu, P. W., Li, C. I., Huang, K. C., Liu, C. S., Chen, H. L., Lee, C. C., Chiou, Y. Y. and Chen, R. J. 2021. 3-MCPD and glycidol coexposure induces systemic toxicity and synergistic nephrotoxicity via NLRP3 inflammasome activation, necroptosis, and autophagic cell death. *Journal of Hazardous Materials*, 405: 124241.
- Liu, Q., Wu, P., Zhou, P. and Luo, P. 2023. Levels and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils and frying oils by using the margin of exposure (moe) and the Incremental Lifetime Cancer Risk (ILCR) approach in China. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(4):811.
- Liu, R., Sobue, T., Kitamura, T., Kitamura, Y., Ishihara, J., Kotemori, A., Zha, L., Ikeda, S., Sawada, N., Iwasaki, M. and Tsugane, S. 2019. Dietary Acrylamide Intake and Risk of Esophageal, Gastric, and Colorectal Cancer: The Japan Public Health Center-Based Prospective Study. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention : A Publication of the American Association for Cancer Research, Cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, 28(9):1461–1468.
- Liu, Z. M., Tse, L. A., Chen, B., Wu, S., Chan, D., Kowk, T., Woo, J., Xiang, Y. T. and Wong, S. Y. S. 2017. Dietary acrylamide exposure was associated with mild cognition decline among non-smoking Chinese elderly men. *Scientific Reports*, 7(1):1–7.

- Matta, M., Huybrechts, I., Biessy, C., Casagrande, C., Yammine, S., Fournier, A., Olsen, K. S., Lukic, M., Gram, I. T., Ardanaz, E., Sánchez, M. J., Dossus, L., Fortner, R. T., Srour, B., Jannasch, F., Schulze, M. B., Amiano, P., Agudo, A., Colorado-Yohar, S. and Murphy, N. 2021. Dietary intake of trans fatty acids and breast cancer risk in 9 European countries. *BMC Medicine*, 19(1):1–11.
- Mazidi, M., Katsiki, N., Mikhailidis, D. P. and Banach, M. 2018. Link between plasma trans-fatty acid and fatty liver is moderated by adiposity. *International Journal of Cardiology*, 272:316–322.
- Oladejo, A. O., Ma, H., Qu, W., Zhou, C., Wu, B., Uzoejinwa, B. B., Onwude, D. I. and Yang, X. 2018. Application of pretreatment methods on agricultural products prior to frying: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(2):456–466.
- Pelucchi, C., Bosetti, C., Galeone, C. and la Vecchia, C. 2015. Dietary acrylamide and cancer risk: an updated meta-analysis. *International Journal of Cancer*, 136(12):2912–2922.
- Peng, C. Y., Lan, C. H., Lin, P. C. And Kuo, Y. C. 2017. Effects of cooking method, cooking oil, and food type on aldehyde emissions in cooking oil fumes. *Journal of Hazardous Materials*, 324:160-167.
- Ramroudi, F., Yasini Ardakani, S. A., Dehghani-Tafti, A. and Khalili Sadrabad, E. 2022. Investigation of the physicochemical properties of vegetable oils blended with sesame oil and their oxidative stability during frying. *International Journal of Food Science*, 2022:1-8.
- Ren, X., Vilhjálmsdóttir, B. L., Rohde, J. F., Walker, K. C., Runstedt, S. E., Lauritzen, L., Heitmann, B. L. and Specht, I. O. 2021. Systematic Literature Review and Meta-Analysis of the Relationship Between Polyunsaturated and Trans Fatty Acids During Pregnancy and Offspring Weight Development. *Frontiers in Nutrition*, 8:625596.
- Resmi Gazete 2023 Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/05/20120512-5.htm> (Erişim Tarihi: 01.01.2023).
- Sansano, M., Juan-Borrás, M., Escriche, I., Andrés, A. and Heredia, A. 2015. Effect of pretreatments and air-frying, a novel technology, on acrylamide generation in fried potatoes. *Journal of Food Science*, 80(5):1120–1128.
- Sayon-Orea, C., Carlos, S. and Martínez-Gonzalez, M. A. 2015. Does cooking with vegetable oils increase the risk of chronic diseases?: A systematic review. *The British Journal of Nutrition*, 113(2):36–48.
- Schultrich, K., Henderson, C. J., Braeuning, A. and Buhrke, T. 2020. Correlation between 3-MCPD-induced organ toxicity and oxidative stress response in male mice. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 136:110957.
- Senyildiz, M., Alpertunga, B. and Ozden, S. 2017. DNA methylation analysis in rat kidney epithelial cells exposed to 3-MCPD and glycidol. *Drug and Chemical Toxicology*, 40(4):432–439.
- Seok, Y. J., Her, J. Y., Kim, Y. G., Kim, M. Y., Jeong, S. Y., Kim, M. K., Lee, J. Y., Kim, C. il, Yoon, H. J. and Lee, K. G. 2015. Furan in thermally processed foods: A review. *Toxicological Research*, 31(3):241–253.



- Sevim, Ç., Özkaraca, M., Kara, M., Ulaş, N., Mendil, A. S., Margina, D. and Tsatsakis, A. 2021. Apoptosis is induced by sub-acute exposure to 3-MCPD and glycidol on Wistar Albino rat brain cells. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 87:103735.
- Shen, X., Huang, X., Tang, X., Zhan, J. and Liu, S. 2022. The effects of different natural plant extracts on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in roast duck. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(14):2104.
- Szabo, Z., Marosvölgyi, T., Szabo, E., Koczka, V., Verzar, Z., Figler, M. and Decsi, T. 2022. Effects of repeated heating on fatty acid composition of plant-based cooking oils. *Foods*, 11(2):192.
- Veronese, N., Bolzetta, F., Cacco, C., Cester, A., Smith, L., Demurtas, J., Cooper, C., Rizzoli, R., Caruso, M. G., Notarnicola, M., Reginster, J. Y., Maggi, S., Barbagallo, M., Trott, M. and Dominguez, L. J. 2022. Dietary acrylamide and incident osteoporotic fractures: an 8-year prospective cohort study. *Aging Clinical and Experimental Research*, 34(10):2441–2448.
- Voon, P. T., Lee, S. T., Ng, T. K. W., Ng, Y. T., Yong, X. S., Lee, V. K. M. and Ong, A. S. H. 2019. Intake of Palm Olein and Lipid Status in Healthy Adults: A Meta-Analysis. *Advances in Nutrition (Bethesda, Md.)*, 10(4):647–659.
- Wang, B., Wang, X., Yu, L., Liu, W., Song, J., Fan, L., Zhou, M., Yang, M., Ma, J., Cheng, M., Qiu, W., Liang, R., Wang, D., Guo, Y. and Chen, W. 2022. Acrylamide exposure increases cardiovascular risk of general adult population probably by inducing oxidative stress, inflammation, and TGF-β1: A prospective cohort study. *Environment International*, 164:107261.
- Wang, F., Zhao, D., Yang, Y. and Lishi, Z. 2019. Effect of palm oil consumption on plasma lipid concentrations related to cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 28(3):495–506.
- Xin, L., Hu, M., Ma, X., Wu, S., Yoong, J. H., Chen, S., Tarmizi, A. H. A. and Zhang, G. 2022. Selection of 12 vegetable oils influences the prevalence of polycyclic aromatic hydrocarbons, fatty acids, tocol homologs and total polar components during deep frying. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114:104840.
- Yang, K. M., Cheng, M. C., Ye, Z. S., Chu, L. P. and Chen, H. C. 2022. Chemical Properties of Peanut Oil from *Arachis hypogaea* L. “Tainan 14” and Its Oxidized Volatile Formation. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(20):6811.
- Zainal, Z., Khaza'ai, H., Kutty Radhakrishnan, A. and Chang, S. K. 2022. Therapeutic potential of palm oil vitamin E-derived tocotrienols in inflammation and chronic diseases: Evidence from preclinical and clinical studies. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 156: 111175.
- Zhou, M., Shi, G., Deng, Y., Wang, C., Qiao, Y., Xiong, G., Wang, L., Wu, W., Shi, L. and Ding, A. 2022. Study on the physicochemical and flavor characteristics of air frying and deep frying shrimp (crayfish) meat. *Frontiers in Nutrition*, 9:1022590.
- Zhu, Y., Bo, Y. and Liu, Y. 2019. Dietary total fat, fatty acids intake, and risk of cardiovascular disease: a dose-response meta-analysis of cohort studies. *Lipids in Health and Disease*, 18(1):1-14.

Zulkipli, S. H., Balasubramaniam, V., Bakar, N. A. A., Rashed, A. A. and Ismail, S. R. 2019. Effects of palm oil consumption on biomarkers of glucose metabolism: A systematic review. *PloS One*, 14(8):e0220877.