



As a Thermal Process Contaminant Acrylamide: Formation Mechanisms and Strategies of Reducing Acrylamide Content in Meat Products

Hülya Serpil Kavuşan¹, Meltem Serdaroğlu^{2*}

¹Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Ege University, 35040 Bornova/Izmir, Turkey
E-mail: hulyaserpilkavusan@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2928-8020>

²Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Ege University, 35040 Bornova/Izmir, Turkey
Corresponding author, E-mail: meltem.serdaroglu@ege.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1589-971X>

ARTICLE INFO

Review Article

Received : 04/04/2018
Accepted : 09/11/2018

Keywords:

Acrylamide
Meat products
Maillard reactions
Heat treatment
Reduction strategies

ABSTRACT

Acrylamide is a carcinogenic and mutagenic compound which is formed by the oxidation of the acrolein compound or the as a result of reactions between reducing sugars and asparagine amino acids. Although acrylamide is mostly seen in carbohydrate-based foods, frying, steaming and baking processes lead to formation of acrylamide also in protein containing meat products with composite structure. Type and the cycle of frying oil, the precursors present in the system, the cooking method, temperature, time and storage can be listed as factors affecting acrylamide formation in meat products. The adverse effects of acrylamide on health create a need for application of acrylamide reduction strategies. These strategies encompass the reduction of the precursor substances, heat treatment time and temperature as much as possible, addition of various cations, enzymes, amino acids and antioxidants to the system and removal of the resulting acrylamide compound from the system. In this review, it was aimed to clarify the factors affecting the formation of acrylamide and strategies for reducing the amount of acrylamide in meat products.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(2): 173-185, 2019

Bir Isıl İşlem Kontaminantı Akrilamid: Oluşum Mekanizmaları ve Et Ürünlerinde Akrilamid Oluşumunun Azaltılmasına Dair Stratejiler

MAKALE BİLGİSİ

Derleme Makale

Geliş : 04/04/2018
Kabul : 09/11/2018

Anahtar Kelimeler:

Akrilamid
Et ürünleri
Maillard reaksiyonları
Isıl işlem
Azaltma stratejileri

ÖZ

Akrilamid, gıdalarda indirgen şekerler ile asparajin aminoasidi arasında gerçekleşen reaksiyonlar sonucu veya akrolein bileşiğinin oksidasyonu ile meydana gelen karsinojen ve mutajenik bir bileşiktir. Çoğunlukla karbonhidrat bazlı gıdalarda görülmesine rağmen protein içerikli kompozit yapıya sahip et ürünlerinde kızartma, buğulama ve fırınlama işlemleri sonucunda yüksek miktarlarda oluşabilmektedir. Et ürünlerinde akrilamid oluşumunu etkileyen faktörler kullanılan yağın çeşidi, yağın kullanım sayısı, sistemde var olan öncül maddeler, pişirme yöntemi, sıcaklık, süre ve depolama olarak sıralandırılabilir. Akrilamidin sağlık üzerine olumsuz etkilerinin bulunması gıdalarda akrilamidin oluşumunun azaltılmasına dair stratejiler uygulanmasına neden olmaktadır. Bu stratejiler; ısıl işlem süresi ve sıcaklığının mümkün olduğunca düşürülmesi, öncül maddelerin miktarının azaltılması, sisteme çeşitli katyonların, enzimlerin, aminoasitlerin ve antioksidanların eklenmesi ve oluşan akrilamid bileşiğinin sistemden uzaklaştırılması gibi önlemleri kapsamaktadır. Bu derlemede et ürünlerinde akrilamid oluşumunu etkileyen faktörlerin ve akrilamid miktarının azaltılmasına dair stratejilerin detaylı olarak açıklanması amaçlanmıştır.



Giriş

Pişirme gıdaların mikrobiyolojik güvenilirliğinin sağlanması ve organoleptik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla fırınlama, ızgara yapma, buğulama ve kızartma uygulamalarını içeren termal işlemleri kapsamaktadır (Capuano ve Fogliano, 2011; Gökmen, 2014). Et ürünlerinde Maillard reaksiyonları (MR) pişirme işlemi sırasında ürünlerde renk, aroma ve lezzet oluşumundan sorumlu reaksiyonlar olup pişirilmiş gıdaların kabul edilebilirliğine Maillard reaksiyonu ürünlerinin (MRÜ)'nin önemli katkıları bulunmaktadır (MacLeod, 1994; Skog, 1998; Somozá, 2005; Moreles ve ark., 2012; Tamanna ve Mahmood, 2015; Khan ve ark., 2015). MRÜ lezzeti geliştirmekle birlikte, heterosiklik amin, polisiklik hidrokarbonlar, furan, furfural, N-alkil, N-nitrozamin ve akrilamid gibi kanserojen ve/veya mutajen birtakım bileşiklerin oluşmasına da neden olmaktadır (Yıldız ve ark., 2010; Delgado-Andrade ve ark., 2014; Gökmen 2015; Tamanna ve Mahmood 2015).

Akrilamid (C_3H_5ON) Maillard reaksiyonlarında esmerleşme aşaması ile paralel olarak oluşan bir bileşiktir. Molekül ağırlığı 71,9 g, kaynama noktası $192,6^{\circ}C$ ve erime noktası $84,5^{\circ}C$ 'dir. Literatürde akrilamid; 2-Propenamid, etilen karboksamid, akrilik amid, vinil amid olarak da adlandırılmaktadır. Akrilamid polar fonksiyonel gruplar içermesi nedeniyle suda, etanolde, metanolde çözünürken, apolar karakter sergileyen heptan ve benzende çözünmemektedir. (McCollister ve ark., 1964; Ötles ve Ötles, 2004; Gölükçü ve Tokgöz, 2005; Krishnakumar ve Visvanathan 2014; Riboldi ve ark., 2014; Khayat ve ark., 2017). Poliakrilamidlerin sentezinde kullanılan monomer akrilamid, ilk kez 1893 yılında Almanya'da Christian Moureau tarafından kimyasal bir bileşik olarak tanımlanmıştır (Kısabay ve ark., 2004; Karagöz, 2009; Arusoğlu, 2015). Kanser Araştırma Merkezi (IARC, 1994) tarafından "2A Grubu (İnsanlar İçin Olası Kanserojen)" grubuna dahil edilen akrilamid, ilk kez 2002 yılında İsveç Ulusal Gıda Dairesi (NFA) ve Stokholm Üniversitesi tarafından gerçekleştirilen çalışmalarla $120^{\circ}C$ üzeri ısı işlem uygulanan gıdalarda gündeme getirilmiştir. (Arvanitoyannis ve Dionisopoulou 2013; Obón-Santacana ve ark., 2016). Karbonhidratça zengin gıdalarda $160^{\circ}C$ ve $180^{\circ}C$ arasında glikoz ve asparajinin etkileşimi ile en yüksek konsantrasyonlarda akrilamid oluşumu gözlenmektedir (Mottram ve ark., 2002; Stadler ve ark., 2002; Tekkeli ve ark., 2012). Karbonhidratça fakir gıdalarda ise, akrilamid oluşumu yağlarda bulunan gliserolün yağın dumanlanma sıcaklığının üzerinde uygulanan ısı işlem ile bozunması sonucunda oluşan 3 karbonlu akrolein adı verilen aldehitin akrilik aside okside olması ve ortamda bulunan azotlu bileşikler ile reaksiyona girmesi ile oluşmaktadır (Taeymans ve Wood, 2004; Liu, ve ark., 2015; Żyzelewicz ve ark., 2017).

Tüketicilerin hızlı yaşam şartlarında tüketim alışkanlıkları değişmekte ve tüketime hazır ürünlere olan eğilim zamanla artış göstermektedir. Dünyada ortalama et ve et ürünleri tüketimi 2015 yılında kişi başına 41,3 kg olup, 2030 yılında 45,3 kg'a artacağı tahmin edilmektedir (Fao, 2017). Literatür verileri incelendiğinde çeşitli et ürünlerinde akrilamid varlığına rastlandığı, özellikle fırınlanmış, kızartılmış, marine edilmiş ve kaplanmış et

ürünlerinde pişirme işleminin gerektirdiği veya lezzeti geliştirmek amacıyla eklenen karbonhidrat kaynakları nedeniyle et ürünlerinde yüksek miktarlarda akrilamid oluşabildiği görülmektedir.

Kaplamalı et ürünleri; hammaddenin yumurta, galeta unu ve çeşitli tahıl unlarıyla kaplanması ve derin yağda kızartma sürecini içermektedir (Debeaufort ve ark., 1998). Kızartma gıdaların yüksek sıcaklıklarda yağ içerisinde pişirilmesi işlemidir. Bu ısı işlem sonucunda üründe lezzet, renk ve çıtır bir doku oluşumu gözlenmektedir (Moreira ve ark., 1999; Moreira ve ark., 2014). Ancak kızartma işleminde kullanılan yağın, oksijen ve ısı ile etkileşimi sonucunda yapısında bozulmalar meydana gelmektedir. Bu durum gıda matrisinin kalite parametrelerinde değişime ve besleyici değerinde kayıplara neden olmaktadır (Paul ve Mittal, 1996; Choo ve ark., 2007).

Kaplama malzemesi olarak kullanılan protein ve karbonhidratlar akrilamid oluşumu için uygun öncül maddeleri içermektedir (Yaylayan ve ark., 2003). Soncu ve ark., (2018) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ortalama akrilamid konsantrasyonları kaplamalı tavuk butlarında $174,30 \mu g/kg$, kaplamalı kanatlarda $20,75 \mu g/kg$, tavuk burgerlerde $58,60 \mu g/kg$ ve nuggetlarda $71,42 \mu g/kg$ olarak tespit edilmiştir. Akrilamid, kanserojenik (Ruden, 2004), anemik (Karagöz, 2009), genotoksik (Ao ve Cao, 2012), ve teratojenik (Friedman, 2015) bir bileşiktir bu nedenle gıdalarla alımının sınırlandırılması konusunda çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Et ürünlerinin de akrilamid kaynağı olabileceği düşünüldüğünde oluşum mekanizmasının incelenmesi, oluşan akrilamid miktarının azaltılması veya engellenmesi sağlık açısından önemlidir.

Et ürünlerinde akrilamid oluşumu ve varlığının incelenmesi ile ilgili çalışmaların sınırlı sayıda olması nedeniyle bu literatür çalışmasında; et ürünlerinde akrilamid oluşum mekanizması, akrilamid oluşumunu etkileyen faktörler ve inhibisyon mekanizmalarının açıklanması amaçlanmaktadır.

Gıdalarda Akrilamid Oluşum Mekanizmaları

Akrilamid işlenmemiş gıdalarda doğal olarak bulunmamasına rağmen gıdalara uygulanan ısı işlemler sonucunda bisküvi, ekmek, turta, kek, kahve, patates ürünleri ve tahıl bazlı çeşitli gıdalarda yüksek miktarlarda oluşabilmektedir (Tekkeli ve ark., 2012; Boyacı Gündüz ve ark., 2017). Gıdalarda akrilamid oluşumundan sorumlu çeşitli yollar bulunmaktadır. Akrilamid oluşumunda en baskın mekanizma indirgen şekerlerin karbonil grupları ile asparajinin amin grubunun reaksiyonu sonucu başlayan MR'dır. Yağların bozunması ile oluşan akrolein bileşiğinin oksidasyonu etkin bir diğer mekanizma olarak gösterilmektedir. Bu iki baskın yol dışında akrilamid oluşumunda daha az etkin rol oynayan yollarda bulunmaktadır (Şekil 1).

Karbonhidratça zengin gıdalar ve protein içeren gıdaların pişirme sırasında maruz kaldığı yüksek sıcaklıklar nedeniyle, indirgen şekerlerin karbonil grupları ile serbest aminoasitlerden özellikle asparajinin amin grubunun reaksiyona girmesi, MR ile akrilamid

oluşumunun ilk aşamasını göstermektedir. Bu reaksiyon sonucunda oluşan Schiff bazı dekarboksilasyona uğrayarak dekarboksile Schiff bazını meydana getirmekte, devamında bu bileşiğin hidrolize olması sonucu öncül bir madde olan 3-aminopropanamid (3-APA) oluşmakta ve yapısından amonyanın ayrılması ile akrilamid oluşmaktadır (Mottram ve ark., 2002; Stadler ve ark., 2002; Yaylayan ve ark., 2003; Arusoğlu, 2015; Gökmen 2015).

İndirgen şeker yokluğunda ise, asparajin, dekarboksilaz aktivite ile biyojen amini olan 3-APA bileşiğine dönüşmekte ve bu bileşiğin deaminasyonu akrilamid oluşumuna sebep olmaktadır (Claus ve ark., 2008.; Yaylayan ve ark., 2003; Zyzak ve ark., 2003; Xu ve ark., 2014). 3-APA bileşiği aynı zamanda asparajin ve pirüvik asidin reaksiyonuyla da oluşabilen bir öncül maddedir (Stadler ve ark., 2004).

Yağca zengin gıda matrislerinde ise;

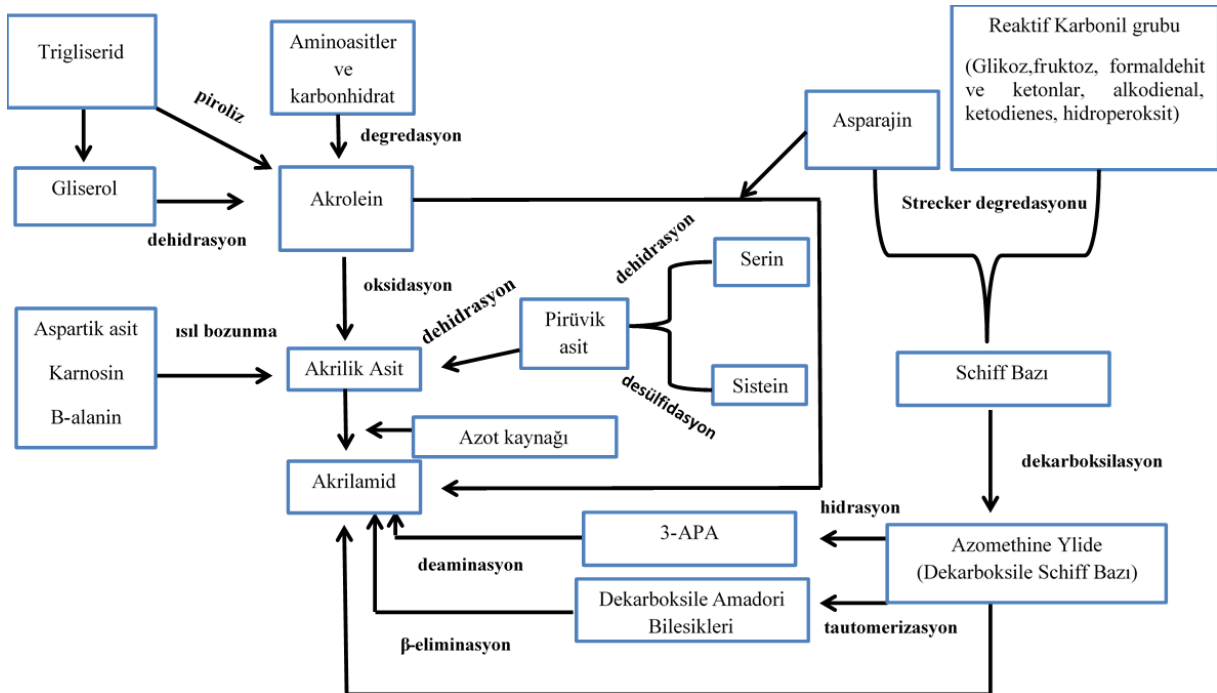
- Gliserolün dehidrasyonu
 - Trigliseridlerin pirolizi
 - Karbonhidrat ve aminoasitlerin ayrışması
- ile meydana gelen akrolein oksidasyonu ile akrilik aside ya da akrilik radikale dönüşmekte ve ortamdaki azot kaynağı bileşiklerle etkileşerek akrilamid oluşumuna neden olmaktadır (Mestdagh ve ark., 2000; Yasuhara ve ark., 2003; Stevens ve Maier, 2008; Taşan, 2008; Gökmen, 2015). Akrolein aynı zamanda asparajin aminoasidi ile reaksiyona girerek akrilik aside oksitlenebilmekte ve akrilamid oluşumuna olanak sağlamaktadır (Ehling ve ark., 2005).

Akrilamid çeşitli minör yollar ile de oluşabilmektedir. Aspartik asit, karnosin ve β -alanin' in ısı ile bozunmasıyla oluşan akrilik asidin amonyak ile reaksiyonu sonucunda minör bir yol ile akrilamid oluşabilmektedir (Sohn ve Ho 1995; Zyzak ve ark., 2003; Yaylayan ve ark., 2005) Akrilamid oluşumunda diğer bir minör yol ise temel bazı organik asitlerin dehidrasyonu veya dekarboksilasyonu

reaksiyonlarını kapsamaktadır. Serin ve sisteinin, dehidrasyonu ve desülfidasyonu sonucu oluşan pirüvik asidin indirgenme ve dehidrasyonu yoluyla akrilik asidi meydana getirmesi ve ortamda azot kaynağı bileşikler varlığında akrilamid bileşiğini oluşturma mekanizması minör etkisi olan yollar içerisinde yer almaktadır (Wnorowski ve Yaylayan, 2003; Yaylayan ve ark., 2005). Tareke ve ark., (2002) tarafından yapılmış bir çalışmada ısıtılmış, proteince zengin gıdalarda akrilamid konsantrasyonunun ortalama 5–50 $\mu\text{g}/\text{kg}$, karbonhidratça zengin gıdalarda ise 150-4000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olduğu bildirilmiştir. Çeşitli gıdalarda tespit edilen akrilamid konsantrasyonları Tablo 1’de görülmektedir.

Et Ürünlerinde Akrilamid Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Tüketim öncesinde çeşitli türlere ait etler mikrobiyolojik güvenirliliğin sağlanması amacıyla kızartma, fırınlama, ızgara, haşlama ve buharda pişirme gibi yöntemlerle pişirilmektedir. Lezzet et ürünlerinin duyuşal olarak kabulü için önemlidir. Bu açıdan etin içerdiği lezzet bileşenleri önem taşımaktadır. Çiğ etin aroması az olup kan benzeri bir lezzete sahiptir. Ancak çiğ etin yapısında bulundurduğu serbest amino asitler, peptidler, indirgen şekerler, vitaminler, nükleotitler ve doymamış yağ asitleri dahil olmak üzere uçucu olmayan lezzet öncülerinin pişirme işlemi ile bozunmaları ve/veya birbirleri ile reaksiyonu et ürünlerinde lezzet oluşumuna katkı sağlamaktadır (Shadidi, 1994). Et ürünlerinde MR ve yağ oksidasyonu lezzet ve aromadan sorumlu olan reaksiyonlardır ve bu reaksiyonlardan MR için gerekli ana karbonhidratlar; riboz, riboz-5-fosfat, glikoz ve glikoz-6-fosfat'dır (Tornberg, 2005; Meinert ve ark., 2009). Bu reaksiyonlar lezzet üzerine etkilerinin yanı sıra akrilamid oluşumunu tetiklemeleri açısından değerlendirilmelidir.



Şekil 1 Gıdalarda akrilamid oluşum mekanizmaları
Figure 1 Mechanisms of acrylamide formation in foods

Tablo 1 Çeşitli gıdalarda tespit edilen akrilamid miktarları
 Table 1 Amounts of acrylamide detected in various foods

Ürün	OAK	Kaynakça
Tulumba	241	
Kadayıf	<10	
Kemalpaşa	512	
Tahin	69	Ölmez ve ark., 2008
Helva	93	
Pilav	<10	
Türk Kahvesi	266	
Kahvaltı mısır gevrekleri (kepekler ve tahıllar)	326	
Kahvaltı mısır gevrekleri (buğday ve çavdar bazlı ürünler)	221	Elias ve ark., 2017
Kahvaltı mısır gevrekleri (mısır, yulaf, hurda, arpa ve pirinç esaslı ürünler)	41	
Patates cipsi	412	Powers ve ark., 2017
Patates kızartması	308	Petersen, 2015
Kurutulmuş meyve dilimleri	83	Hu ve ark., 2017
Kızartılmış ekmek	230	
Baklava	172	Alyousef ve ark., 2016
Fatayer	192	
Bisküvi	1104	Pacetti ve ark., 2015
Tahıl esaslı bebek maması	13,4	
Şeker barları	53,5	Michalak ve ark., 2016
Kek	28,9	

OAK: Ortalama Akrilamid konsantrasyon(ppb)

Tablo 2 Çeşitli et ürünlerinde tespit edilen akrilamid miktarları
 Table 2 Amounts of acrylamide detected in various meat products

Ürün	AK	Kaynakça
Köfte	nd-<68	
Kıyma	(Mak.)	Eerola ve ark., 2007
Tavuk nugget	93	Leung ve ark., 2003
Endonezya tarzı ızgara balık dilimi	247	Delgado ve ark., 2010
Keçi güveci	68	
Köfte	34	Ölmez ve ark., 2008
Tavuk şinitzel	<10	
Hamburger	127	
Hamburger	72	Tateo ve ark., 2007
Tavuk nugget	150	
Ekmek, hamburger, salata, ketçap sosu, domates, peynir, soğan içeren tüm hamburger	17	
Kızartılmış dana kıyma	28	Tareke ve ark., 2002
Kızartılmış tavuk kıyma	39,10	
Kızartılmış vahşi ahtapot	35,46	Qin ve ark., 2017
Kızartılmış çtır croaker balığı	50,35	
Fırınlanmış baharatlı kalamar	273	Altissimi ve ark., 2017
Tavuk sandviç	250	
Adana kebab	63	
Et kuşbaşı	69	
Et döner	82	Kaplan ve ark., 2009
Köfte	28	
Tavuk döner	27	
Tavuk kuşbaşı	22	
Kuzu kebab	256	Chen ve ark., 2008
Jerky	30	
Balık kroket	39	Svensson ve ark., 2003
Derin yağda kızartılmış balık	39	

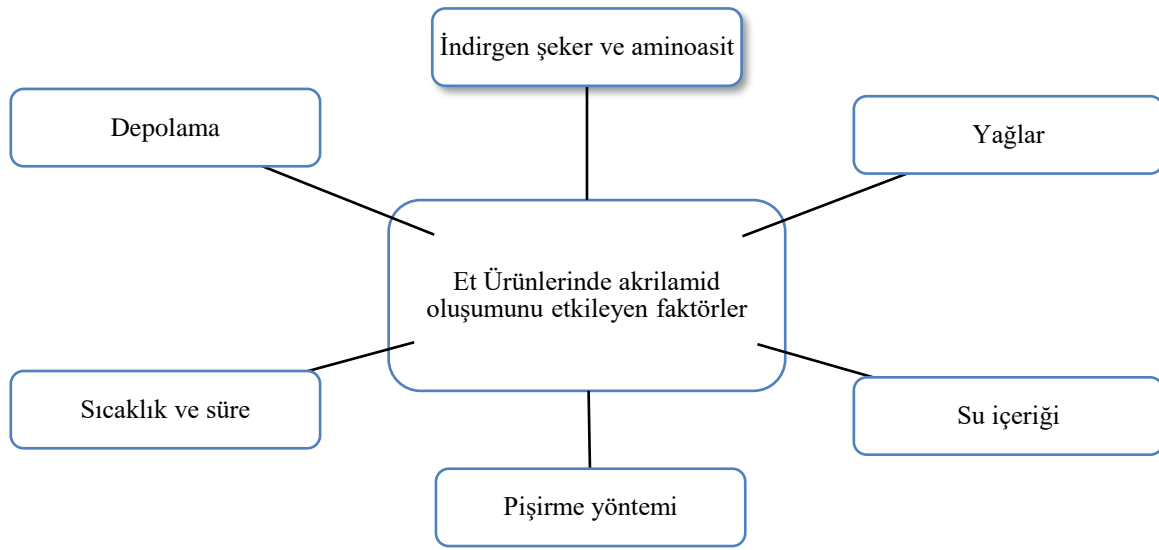
AK: Akrilamid konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Çeşitli et ürünlerinde tespit edilen akrilamid konsantrasyonları Tablo 2'de verilmiştir. Tabloya göre akrilamid yalnızca karbonhidrat bazlı ürünlerde oluşmamaktadır. Protein bazlı et ürünlerinde de önemli ölçüde akrilamid konsantrasyonları tespit edilmiştir. Et ürünlerinde akrilamid konsantrasyonu <10-273 $\mu\text{g}/\text{kg}$

arasında değişiklik göstermektedir (Tablo 2). Konsantrasyonlar arasındaki farklılıklar ürün formülasyonundan ve pişirme koşullarından kaynaklanmaktadır. İçerisinde ekmek, köfte, salata, ketçap sosu, domates, peynir ve soğan içeren hamburger örneklerinin akrilamid konsantrasyonu kızartılmış kıyma

örneklerine göre oldukça yüksek çıkmıştır. Bu yüksekliğin sebebi analizi yapılan hamburger örneğinin içerisinde bulunan diğer katkıların MR öncül maddelerini içermesidir. Pişirme yöntemleri de akrilamid konsantrasyonunu etkileyen faktörlerdendir. Fırınlama, ızgara ve yağda kızartma uygulamaları ile ürünlerde farklı oranlarda akrilamid konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 2). Pişirme işleminden önce etin lezzeti ve kalitesinin artırılması amacıyla marinasyon işlemi uygulanabilmektedir. Marinasyon işleminde kullanılan katkıları akrilamid oluşumu için öncül maddeleri içerebilmektedir. Et ve et ürünlerinde akrilamid oluşumunu etkileyen faktörler Şekil 2’de gösterilmektedir.

Asparajin ve indirgen şeker MR reaksiyonu yolu ile akrilamid oluşumunun göstergesi olan bileşiklerdir ve gıdada miktarları ne kadar az olursa akrilamid oluşumu da o denli az olacaktır (Halford ve ark., 2012; Loaëc ve ark., 2014). Asparajin ortamda bulunan lipid oksidasyonu ürünü aldehitler (Zamora ve Hidalgo, 2008) ve diğer karbonil içeren moleküller (Zamora ve ark., 2011; Hamzalıoğlu ve Gökmen, 2012) ile reaksiyona girerek akrilamid oluşum mekanizmasına katkıda bulunmaktadır. Yalnızca yağ oksidasyonu ürünleri etkisi ile değil aynı zamanda uygun koşullarda proteinlerin oksidasyonu sonucunda da asparajinden akrilamid oluşmaktadır (Daniali ve ark., 2016).



Şekil 2 Et ürünlerinde akrilamid oluşumunu etkileyen faktörler
Figure 2 Factors affecting acrylamide formation in meat products

Paleologos ve Kontominas, (2007) ticari kaplamalı tavuk ürünleri ile yaptığı bir çalışmada yalnızca tavuk but ve göğüs etlerinde ve bu ürünlerin kaplamalı olarak bütün halinde akrilamid içeriklerini incelemiştir. Sonuç olarak but ve göğüs etlerinde sırasıyla 0,053 ve 0,044 mg/kg akrilamid tespit etmişlerdir. Sisteme kaplamanın dahil edilmesiyle bu değerlerin 0,925 ve 0,878 mg/kg'a kadar yükseldiği görülmektedir. Kaplamalarda kullanılan galeta 2,1- 6,7g/100 g indirgen şeker ve 3,2- 25,3 g/100 g serbest asparajin içerebilmektedir (Mesías ve ark., 2016). Etler ise 0,17-10,7 mg/kg' a kadar asparajin içermektedir (Feid ve ark., 1996; Flores ve ark., 2000; Claeys ve ark., 2005). Dolayısıyla kaplamalı ürünlerde akrilamid oluşumunun gözlenmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Barutçu ve ark., (2009) çalışmada, kaplanmış tavuk ürünlerinde, mikrodalga ile kızartma işlemi ve hamurun içerdiği çeşitli tahıl unlarının (soya unu, nohut unu ve pirinç unu) akrilamid oluşumuna etkisini incelemiştir. Farklı unlar kullanıldığı durumda aynı nem içeriğine en geç düşen grup soya unu içeren grup olmuştur. Nohut ununda en yüksek asparajin konsantrasyonu görülmüşüne karşın soya ununda en yüksek akrilamid konsantrasyonları bulunmuştur. Pirinç unu kullanıldığı durumda kontrol grubuna yakın sonuçlar alınmıştır. Bu

durum sonucunda asparajin dışında diğer aminoasitlerinde öncül maddeler olabileceği öngörülmüştür. Aynı zamanda mikrodalga uygulaması ısı işlem süresinin kısalmasına böylelikle akrilamid miktarlarının azalmasına neden olmaktadır.

Capuano ve ark. (2010), %4 ve %16 su içeren yağca zengin gıda sistemlerinde %4 su içeren sistemde merkezin ve dış yüzeyin akrilamid oluşumu için uygun koşullara daha çabuk geldiğini bu nedenle akrilamid konsantrasyonunun daha yüksek gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Pişirme sıcaklığının artırılması ve süresinin uzatılması akrilamid oluşumunu artırıcı etki göstermektedir (Keramat ve ark., 2011). Ghasemian ve ark., (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada sığır etinden üretilen hamburgerler 180 ve 200°C’de 4 ve 6 dakika (dk) ayçiçek yağında kızartılmıştır. Yapılan analiz sonucunda; sıcaklık ve süredeki artışa paralel olarak ürünlerin akrilamid içeriğinde artış gözlemlenmiştir. Bu parametrelerden sıcaklığın tek başına daha baskın bir etkisi olduğu bulunmuştur. Ghasemian ve ark., (2014) sıcaklık, süre, yağ tipi ve et miktarının akrilamid üzerine etkisini anlamak amacıyla burgerlerde yaptıkları başka bir çalışmada 170, 190 ve 210°C sıcaklık; 5, 6 ve 7 dk süre;

30, 60, 85%, et oranı ve 3 çeşit (mısır, kanola ve ayçiçek yağı) yağı değişen parametreler olarak kullanmışlardır. Sıcaklığın artmasının ve et miktarının azalmasının akrilamid oluşumunu artırıcı etki gösterdiğini vurgulamışlardır. Yağ tipinin akrilamid konsantrasyonu üzerindeki etkisini anlamsız bulurken süre artışının minimal bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Gıdaya uygulanan kızartma işlemi, gıdadaki suyun buharlaşması ve gıdanın yüzeyinde sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Bu durumda kızartma işleminin ilk aşamasından itibaren akrilamid oluşumu gözlenmektedir (Gökmen ve ark., 2006).

Yağların doymamışlık derecesi ve yağların kızartma işleminde kullanım sayısı akrilamid oluşumu üzerine etkilidir (Soncu ve ark., 2018).

Chuang ve ark., (2006) tavuk butları ve patates kızartmaları ile yaptıkları bir çalışmada 3 farklı (soya yağı, palm yağı, domuz yağı) yağın ve iki farklı sıcaklığın (160-180°C) etkisini gözlemişlerdir. Sonuçta dış kaplamada akrilamid konsantrasyonları sırasıyla domuz, palm ve soya fasülyesi yağları kullanıldığı durumlarda 22,7-45,2, 48,2-65,3, 55,1-56,7 µg/kg olarak bulunmuştur. Soya fasülyesi yağı doymamışlığının yüksek olması nedeniyle ısı işlemden daha çok etkilenmiş ve akroleine dönüşerek akrilamid oluşumuna katkıda bulunmuştur.

Ma ve ark. (2016), marine edilmiş tavuk pizolalarını soya fasülyesi yağı ve soya fasülyesi yağı- su ile 170°C'de 3,5 dk kızartmışlar ve aynı yağları 6 gün tekrarlı olarak kullanmışlardır. Kızartma işleminde su-yağ karışımı kullanılması, kızartma yağında gelişen oksidasyon reaksiyonlarının azalmasına ve üründe daha düşük akrilamid seviyelerinin görülmesine neden olmuştur. Gün sayısı arttıkça her iki yağda da akrilamid içeriğinde artış görülmekle birlikte en yüksek konsantrasyon yağın tek başına kullanımı ile tespit edilmiştir. Lezzet ve toplam kabul edilebilirlik beğeni skorları artan gün sayısı ile düşme göstermiştir.

Pişirme yöntemi de akrilamid oluşumu üzerine etkili olabilmektedir. Pişirme yönteminin etkisini açıklamak amacıyla Michalak ve ark., (2017) et dolgu ısı işlem görmüş kroketleri satın almışlar ve fırınlama, derin yağda ve tavada kızartma, fırınlama ve mikrodalga işlemlerini uygulamışlardır. Sonuçta fırınlama ile 360 µg/kg, derin yağda kızartma ile 298 µg/kg ve tavada kızartma ile 285µg/kg akrilamid konsantrasyonları görülürken mikrodalga uygulaması pirolizi desteklemesi (Fernandez ve ark., 2011) nedeniyle en yüksek oranda (420 µg/kg) akrilamid oluşumuna neden olmuştur.

Trevisan ve ark. (2016), kızartma, fırınlama, haşlama ve ızgara işlemlerinin sığır eti hamburgerlerinde Maillard reaksiyonu ürünleri oluşumu üzerine etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada 80°C'e kadar MR'nın ilk indikatörü olan furosos bileşiklerinin oluşumu artmıştır. Fırınlama işleminin sıcaklığının 300°C'ye kadar ulaşması akrilamid konsantrasyonunun diğer pişirme yöntemlerine göre daha yüksek görülmesine neden olmuştur.

Birçok et ürünü ön pişirilmiş olarak pazarlanmakta ve bu amaçla depolanabilmektedir. Depolama işleminde üründe gerçekleşen değişiklikler et ürünlerinde akrilamid oluşumunu etkilemektedir.

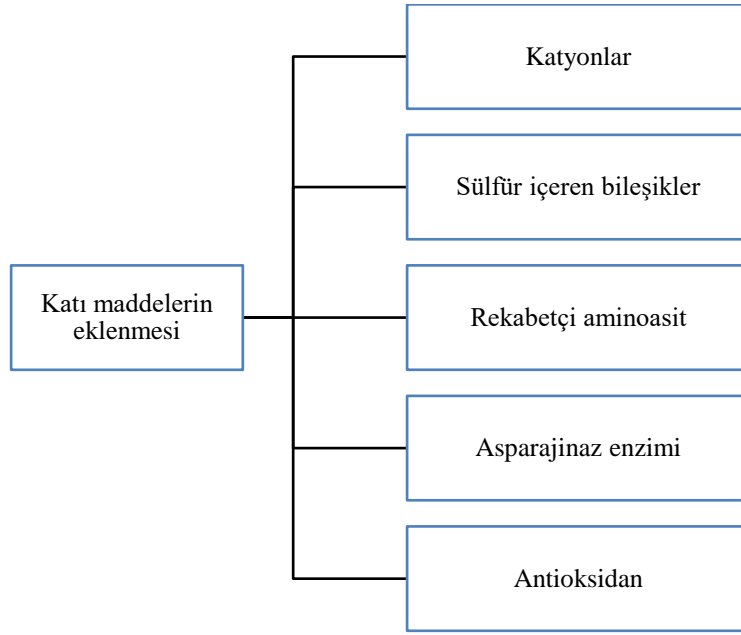
Depolama koşullarının akrilamid oluşumu üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla kaplamalı tavuk ürünlerinde yapılan bir çalışmada örnekler çeşitli oranlarda gaz kompozisyonuna sahip MAP (30% CO₂-70% N₂, 60% CO₂-40% N₂ ve 90% CO₂- 10% N₂) ile ve hava altında paketlenip buzdolabı koşullarında depolanmışlardır. En yüksek akrilamid konsantrasyonları depolamanın 15. ve 19. gününde hava altında ve %60 CO₂-%40 N₂ içeren MAP paketlenmede görülmüştür. Depolama işlemi sonucu lipid oksidasyonunun ve/ya mikrobiyal yükün artırılması, akrilamid oluşumunun da artmasına neden olmaktadır (Paleogolos ve Kontaminos 2007).

Son olarak pH değerlerinde artış protonlanmamış amin gruplarını ve indirgen şekerlerin açık zincir sayılarını artırarak MR için uygun koşulların sağlanmasına neden olmaktadır (Lertittikul ve ark., 2007).

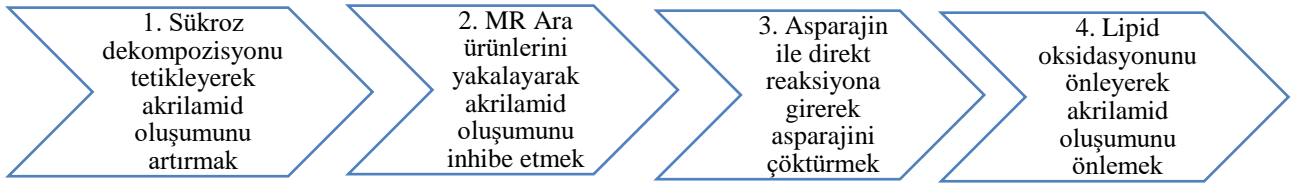
Et ve Et Ürünlerinde Akrilamid Azaltma Yöntemleri

Gıdalarda akrilamid miktarının azaltılması konusunda çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu amaçla kullanılan yöntemler önleyici, koruyucu ve uzaklaştırıcı olarak gruplandırılabilir. Önleyici yöntemler; akrilamid oluşumundan sorumlu olan öncül maddelerin sistemden uzaklaştırılmasını, koruyucu yöntemler sistemde akrilamid oluşumunu engellemek için eklenen katkı maddelerini içermektedir (Şekil 3). Uzaklaştırma yöntemleri ise gıdada oluşmuş olan akrilamidin çeşitli uygulamalarla sistemden elemine edilmesini kapsamaktadır. Lipid türevi aldehitler gibi gıda bileşenleri (Zamora ve Hidalgo, 2008), serbest amino asitler (Muttucumar, 2017), diğer karbonil içeren moleküller, akrilamid oluşturmak üzere asparajin ile reaksiyona girebilmektedirler (Zamora ve ark., 2011; Hamzalıoğlu ve Gökmen, 2012). Bu bileşiklerin miktarlarının azaltılması ya da uygulanacak işlemlerin bu bileşiklerin en düşük miktarda oluşumunu sağlayacak şekilde modifiye edilmesi gerekmektedir. Buğday unu ve çavdar unu sırasıyla ortalama 137 mg/kg ve 521 mg/kg serbest asparajin içermektedir (Amrein ve ark., 2007). Çavdar ve tam buğday unu kullanımı akrilamid oluşumunu buğday ununa kıyasla artırmaktadır (Capuano ve ark., 2009). Kaplamalı et ürünlerinde kaplama formülasyonuna eklenecek olan katkının seçimi sırasında bu konular göz önüne alınarak önüne geçilebilmektedir. Tablo 2'de görüldüğü üzere formülasyonunda karbonhidrat içeren kompozit yapıdaki et ürünlerinde daha yüksek akrilamid konsantrasyonları tespit edilmiştir.

CaCl₂ ve MgCl₂ gibi tuzların Ca ve Mg iyonları; aminler ve bazı Maillard reaksiyonu ürünleri ile kompleks oluşturarak ya da Schiff bazının oluşumunu engelleyerek akrilamid miktarını azaltabilmektedir (Casado ve ark., 2010; Pedreschi ve ark., 2010). Amonyum tuzları, ek bir azot kaynağı gibi davranarak ve şekerlerin yeni reaktif karbonilleri üretmesine neden olarak akrilamid oluşumunu tetiklemektedir (Biedermann-Brem ve ark., 2003; Grob, 2005). Buna karşılık sodyum bikarbonat kullanımı Schiff bazının oluşumunu inhibe edebilmektedir dolayısıyla akrilamid ve HMF gibi toksik bileşiklerin oluşumu engellenmektedir (Aykin ve ark., 2015).



Şekil 3 Akrilamid oluşumunu engellemek için gıdalara eklenen katkı maddeleri
Figure 3 Ingredients added to food to prevent acrylamide formation



Şekil 4 Antioksidanların akrilamid oluşumunu üzerindeki etkileri
Figure 4 The effects of antioxidants on acrylamide formation

Sülfitlerin oluşan akrilamid miktarının azaltılmasında etkili katkı maddelerinden olduğu bildirilmektedir (Casado ve ark., 2010). Reaksiyon mekanizması oldukça karmaşık olmakla birlikte temelde akrilamid oluşum mekanizmasında yer alan ara bileşiklerin inhibisyonunu sağlamaktadır (Yuan ve ark., 2011).

Akrilamidin azaltılmasına yönelik sisteme eklenen diğer katkılardan biri ise amin bakımından zengin aminoasitleri içermektedir. Sisteme eklenen yeni aminoasit ortamda var olan asparajin ile rekabet etmekte ya da eklenen amino asidin nükleofilik grubu akrilamid ile reaksiyona girmektedir. Her iki durumda da akrilamid konsantrasyonunda azalma gözlenmektedir (Salazar ve ark., 2012; Rannou ve ark., 2016). Isıl işlem öncesi glisin eklenmesi sonucu glisinin asparajin ile rekabete girmesi ile akrilamid konsantrasyonu azalmaktadır (Bråthen ve Knutsen, 2005). Sansano ve ark., (2016) amino grubu açısından zengin olan kitosanı model sistemlerde ve kızartılmış sıvı hamur kaplama formülasyonlarında kullanmışlardır. Sonuç olarak kitosanın kızartılmış hamurlar ve model sistemlerde sırasıyla %0,27 ve %1 oranlarında kullanımının en yüksek oranda akrilamid inhibisyonu gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu azalma oranları model sistem için %85 ve hamur formülasyonu için %59 olarak bildirilmiştir.

Asparaginaz, asparajinin yan zincirindeki amid grubunun hidrolize ederek asparajini aspartik asit ve amonyağa dönüştürmektedir (Xu ve ark., 2016). Ancak bu enzimin üretimi karmaşık olup, düşük verimle

üretilmektedir bu nedenle endüstrideki kullanımını sınırlanmaktadır (Palermo ve ark., 2016)

Şeker içermeyen, yağın hakim olduğu sistemlerde yağların degradasyonu ve oksidasyonu sonucu oluşan bileşiklerin karbonillerin ana kaynağı olması nedeniyle akrilamid oluşumundan yağlar sorumludur, bu nedenle antioksidan kullanımı ile akrilamid oluşumu azaltmada etkili olabilmektedir. Antioksidanların akrilamid oluşumu üzerine olumlu ve olumsuz etki mekanizmaları bulunmaktadır (Şekil 4). Bu mekanizmalar; MR ara ürünlerini yakalamaları, asparajin ile direkt reaksiyona girerek asparajini çöktürmeleri ve lipid oksidasyonunu önlemeleri olarak sıralandırılabilir. Bununla birlikte her yüksek aktiviteye sahip antioksidanın başarılı bir inhibitör olabileceği söylenemez. Bazı antioksidanlar sükroz dekompozisyonunu tetiklemekte ve 3-APA bileşiğinin akrilamide dönüşümünü hızlandırmaktadır (Jin ve ark., 2013; Liu ve ark., 2015). Yüksek antioksidan kapasiteye sahip olan zerdaçalın ve sızma zeytinyağı polifenollerinin yapısında bulundurduğu karbonil bileşikleri uygun şartlarda asparajin aminoasidinin amin grubu ile reaksiyona girerek akrilamid oluşmasına neden olmaktadır (Kotsiou ve ark., 2010; Hamzaloğlu ve ark., 2013). Yapılan başka bir çalışmada ete ısıtma öncesi BHT, sesamol ve E vitamini eklediğinde akrilamid oluşumunun arttığı gözlenmiştir (Tareke ve ark., 2003). Düşük antioksidan kapasitesine sahip flavanoidlerden naringenin ve epikateşin, MR ara ürünleri ile elektrofilik aromatik ikame reaksiyonlarına girerek akrilamid

oluşumunu inhibe edebilmektedir (Totlani ve Peterson, 2005).

Zhang ve ark., (2007) bambu yapraklarından elde ettiği antioksidanlardan %32 flavonoid içeriğine sahip grubunun kaplamalı tavuk kanatlarının duyu özelliklerini etkilenmeden en büyük inhibisyon etkisini gösterdiği bildirmişlerdir.

Akrilamid oluşumu üzerinde antioksidanların etkisinin incelendiği bir çalışmada marine edilmiş sığır etlerine çeşitli oranlarda biberiye ve kekik ekstraktları enjekte edilmiş ve ardından 200°C’ de 10 dk kızartma işlemi uygulanmıştır. En yüksek akrilamid konsantrasyonları kontrol gruplarında gözlenmiş olup kullanılan antioksidanlar radikal süpürücü aktiviteleri nedeniyle oksidasyon reaksiyonlarının engelleyerek akrilamid oluşumunu azaltmışlardır. En düşük konsantrasyonlar %2 biberiye ekstraktı ve %1 biberiye ekstraktı + %1 kekik ekstraktı içeren gruplarda tespit edilmiştir ancak yapılan duyu testler sonucunda %2 biberiye ekstraktı içeren grup en düşük duyu skorları alınmasına, %2 biberiye ekstraktı ve %1 biberiye ekstraktı içeren grup en yüksek duyu skorlarına neden olmuştur (Gholami ve ark., 2017).

Sarımsağın akrilamid indirgeme aktivitesi serbest radikal temizleme etkinliğine bağlıdır (Casado ve ark., 2010; Jin ve ark., 2013; Yuan ve ark., 2011). Yeşil çay ekstraktı ise ısı işlem sırasında reaktif karboniller ile kovalent bağlar oluşturarak MR’ ını engellemektedir (Schamberger ve Labuza, 2007; Totlani ve Peterson, 2006; Oral ve Sarıoğlu, 2014).

Kaplamalı et ürünlerinde yeşilçay ekstraktının kullanımının akrilamid oluşumu üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada tavuk but ve kanatları marinasyon işleminden sonra %0, 0,5, 1,5 ve 3 oranlarında yeşil çay ekstraktı içeren kaplama hamurlarına daldırılıp ardından 175°C 8,5 ve 3,5 dk. kızartma işlemine tabi tutulmuşlardır. Kızartma işleminin dışında grupların bir kısmı marinasyon işleminden sonra farklı iki sürede mikrodalga ön pişirme işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu örnekler aynı sıcaklıkta ancak daha kısa sürelerde kızartılmıştır (5,5 ve 2,5 dk). Kızartma işlemi ısı işlem süresince glukoz ve fruktoz konsantrasyonu zamanla azalmıştır. Kaplamadaki asparajin konsantrasyonları incelendiğinde yeşilçay ekstraktı içeren grupların daha düşük düzeylerde asparajin içerdiği gözlenmiştir. Yeşilçay ve mikrodalga işleminin birlikte uygulanması kontrol grubuna göre daha yüksek asparajin konsantrasyonları tespit edilmesine neden olmuştur. Kaplamadaki akrilamid konsantrasyonunun azaltılmasında mikrodalga kanatlarda antioksidan içermediği durumda bile etkili olurken butlarda etkili olamamıştır. Artan oranlarda antioksidan kullanımı akrilamid konsantrasyonlarında azalmaya neden olmuştur (Demirok ve Kolsarıcı, 2014).

Bu çalışma ile aynı oranlarda yeşil çay ekstraktı kullanılan burger ve nuggetlarda yeşilçay ekstraktı ve çeşitli pişirme yöntemlerinin etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kısmi kızartma, buharlı fırında pişirme, mikrodalga çözündürme- derin yağda kızartma, derin yağda kızartma işlemleri uygulanmıştır. Nuggetlarda kontrol grubu ve burgerlerde %1,5 oranında yeşilçay ekstraktı hariç mikrodalga çözündürme- derin yağda kızartma ve kısmi kızartma işlemleri buharlı fırında pişirme işlemine göre daha düşük düzeylerde akrilamid

oluşumuna neden olmuştur. Ancak derin yağda kızartma işlemlerinde görülen düşük akrilamid konsantrasyonlarının sebebi 170-180°C sonrasında akrilamid bileşiğinin bozunması veya etin kendisinde yer alan proteinler ile akrilamidin arasında gerçekleşen reaksiyonlar olarak da düşünülmektedir. Yeşilçay ekstraktı, burgerlerde %1,5 oranından sonra kısmi kızartma ve buharlı fırında pişirme işlemlerinde, nuggetlarda ise dozdan bağımsız olarak tüm ısı işlemlerinde akrilamid azaltıcı etki göstermiştir. Kısmi kızartma işlemi hariç diğer tüm uygulamalarda burgerlerde L* değerleri azalmış a* ve b* değerleri artış göstermiştir. Nuggetlar için ise a* değeri artarken L* ve b* değerleri önemli ölçüde azalmıştır (Soncu ve Kolsarıcı, 2017).

Henüz et ürünlerinde akrilamid azaltma amacıyla kullanım alanı bulunmayan ancak çeşitli mekanizmalarıyla inhibisyon etkisi gösteren uygulamalar bulunmaktadır. Bu uygulamalardan enkapsülasyon işlemi öncül bileşiklerinin hapsedilmesini sağlayıp asparajin ile olan reaksiyonunu önlemektedir (Fiore ve ark., 2012). Formülasyonda kullanılacak yağın enkapsüle edilerek oksidasyonunun ilerlemesi önlenerek akrilamid oluşumunu azaltılabilmektedir (Gökmen ve ark., 2011.)

Radyo frekansı uygulamaları, ısı işlem ile birlikte kullanıldığı durumda ısı işlemin süresini kısaltması nedeni ile akrilamid oluşumunu azaltmak için kullanılabilir bir tekniktir (Anese ve ark., 2008; Palazoğlu ve ark., 2012; Koklamaz ve ark., 2014)

Vakum pişirme işlemi ile ısı işlem sıcaklığının düşürülmesi nedeniyle akrilamidin miktarını azaltmak mümkün olabilmektedir (Granda ve ark., 2004; Anese ve ark., 2014).

Sonuç ve Öneriler

Et ürünlerinde akrilamid miktarını azaltmaya yönelik çalışmaların sayısının sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Yapılan az sayıda çalışma; antioksidan maddelerin ve ısı işlem parametrelerinin akrilamid oluşumu etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Toksik ve karsinogenik etkileri bulunan akrilamid bileşiğinin et ürünlerinde oluşum mekanizmalarının daha net anlaşılabilmesi, konsantrasyonun azaltılması veya akrilamidin sistemden uzaklaştırılması amacıyla et ürünlerinde, farklı teknolojilerin (RF, MD, Vakum) geleneksel pişirme yöntemleriyle kombine edilerek kullanımı, öncül bileşiklerin enkapsülasyonu, rekabetçi aminoasit, farklı etki mekanizmalarına sahip katyonlar, enzim ve çeşitli antioksidan maddelerin kullanımı daha detaylı bir şekilde araştırılmalıdır.

Kaynaklar

- Altissimi MS, Roila R, Branciarı R, Miraglia D, Ranucci D, Framboas M, Haouet N. 2017. Contribution of street food on dietary acrylamide exposure by youth aged nineteen to thirty in Perugia, Italy. *Italian Journal of Food Safety*, 6(3): 103-105. DOI: 10.4081/ijfs.2017.6881.
- Alyousef HA, Wang H, Al-Hajj NQM, Koko, MY. 2016. Determination of acrylamide levels in selected commercial and traditional foods in Syria. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 15(6): 1275-1281. DOI: 10.4314/tjpr.v15i6.21.

- Amrein TM, Andres L, Escher F, Amadó R. 2007. Occurrence of acrylamide in selected foods and mitigation options. *Food Additives and Contaminants*, 24(sup1): 13-25. DOI: 10.1080/02652030701242558.
- Anese M, Nicoli MC, Verardo G, Munari M, Mirolo G, Bortolomeazzi R. 2014. Effect of vacuum roasting on acrylamide formation and reduction in coffee beans. *Food Chemistry*, 145: 168-172. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.08.047.
- Anese M, Sovrano S, Bortolomeazzi R. 2008. Effect of radiofrequency heating on acrylamide formation in bakery products. *European Food Research and Technology*, 226(5): 1197-1203. DOI: 10.1007/s00217-007-0693-x.
- Ao L, Cao J. 2012. Genotoxicity of acrylamide and glycidamide: a review of the studies by HPRT gene and TK gene mutation assays. *Genes and Environment*, 34(1): 1-8. DOI: 10.3123/jemsge.34.1.
- Arusoğlu G. 2015. Akrilamid Oluşumu ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Academic Food Journal/Akademik GIDA*, 13(1): 61-71.
- Arvanitoyannis IS, Dionisopoulou N. 2014. Acrylamide: formation, occurrence in food products, detection methods, and legislation. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(6): 708-733.
- Aykin E, Arslan S, Durak AN, Erbas M. 2016. Effect of bicarbonate salts and sequential using of frying oil on acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural contents in coated fried chicken meat. *International Journal of Food Properties*, 19(1): 222-232. DOI: 10.1080/10942912.2015.1023397.
- Barutcu I, Sahin S, Sumnu G. 2009. Acrylamide formation in different batter formulations during microwave frying. *LWT-Food Science and Technology*, 42(1): 17-22. DOI: 10.1016/j.lwt.2008.07.004.
- Biedermann-Brem S, Noti A, Grob K, Imhof D, Bazzocco D, Pfefferle A. 2003. How Much Reducing Sugar May Potatoes Contain to Avoid Excessive Acrylamide Formation During Roasting and Baking? *European Food Research and Technology*, 217(5): 369–373. DOI: 10.1007/s00217-003-0779-z.
- Boyacı Gündüz CP, Bilgin AK, Cengiz M F. 2017. Acrylamide Contents of Some Commercial Crackers, Biscuits and Baby Biscuits. *Academic Food Journal/Akademik GIDA*, 15(1): 1-7.
- Bråthen E, Kita A, Knutsen SH, Wicklund T. 2005. Addition of glycine reduces the content of acrylamide in cereal and potato products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8): 3259-3264. DOI: 10.1021/jf048082o.
- Capuano E, Fogliano V. 2011. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT-Food Science and Technology*, 44(4):793-810. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.11.002.
- Capuano E, Ferrigno A, Acampa I, Serpen A, Açar ÖÇ, Gökmen V, Fogliano V. 2009. Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies. *Food Research International*, 42(9): 1295-1302. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.03.018.
- Capuano E, Oliviero T, Açar ÖÇ, Gökmen V, Fogliano V. 2010. Lipid oxidation promotes acrylamide formation in fat-rich model systems. *Food Research International*, 43(4): 1021-1026. DOI:10.1016/j.foodres.2010.01.013.
- Casado FJ, Sánchez AH, Montaña A. 2010. Reduction of acrylamide content of ripe olives by selected additives. *Food Chemistry*, 119(1): 161-166. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.06.009.
- Chen F, Yuan Y, Liu J, Zhao G, Hu X. 2008. Survey of acrylamide levels in Chinese foods. *Food Additives and Contaminants*, 1(2): 85-92. DOI: 10.1080/02652030802512461.
- Choo WS, Birch EJ, Dufour JP. 2007. Physicochemical and stability characteristics of flaxseed oils during pan-heating. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(8): 735-740. DOI 10.1007/s11746-007-1096-7.
- Chuang WH, Chiu CP, Chen B H. 2006. Analysis and formation of acrylamide in French fries and chicken legs during frying. *Journal of Food Biochemistry*, 30(5): 497-507. DOI: 10.1111/j.1745-4514.2006.00077.x.
- Claeys WL, De Vleeschouwer K, Hendrickx ME. 2005. Quantifying the formation of carcinogens during food processing: acrylamide. *Trends in Food Science & Technology*, 16(5): 181-193. DOI: 10.1016/j.tifs.2005.01.005.
- Claus A, Carle R, Schieber A. 2008. Acrylamide in cereal products: A review. *Journal of Cereal Science*, 47(2):118-133. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.06.016.
- Daniali G, Jinap S, Hajeb P, Sanny M, Tan CP. 2016. Acrylamide formation in vegetable oils and animal fats during heat treatment. *Food Chemistry*, 212: 244-249. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.05.174.
- Debeaufort F, Quezada-Gallo JA, Voilley A. 1998. Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Critical Reviews in Food Science*, 38(4): 299-313. DOI: 10.1080/10408699891274219.
- Delgado-Andrade C, Morales FJ, Seiquer I, Navarro MP. 2010. Maillard reaction products profile and intake from Spanish typical dishes. *Food research International*, 43(5): 1304-1311. DOI: 10.1016/j.foodres.2010.03.018.
- Delgado-Andrade C. 2014. Maillard reaction products: Some considerations on their health effects. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 52:53–60. DOI:10.1515/cclm-2012-0823.
- Demirok E, Kolsarıcı N. 2014. Effect of green tea extract and microwave pre-cooking on the formation of acrylamide in fried chicken drumsticks and chicken wings. *Food Research International*, 63: 290-298. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.04.003.
- Eerola S, Hollebekkers K, Hallikainen A, Peltonen K. 2007. Acrylamide levels in Finnish foodstuffs analysed with liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(2): 239-247. DOI: 10.1002/mnfr.200600167.
- Ehling S, Hengel M, Shibamoto T. 2005. Formation of acrylamide from lipids. In *Chemistry and safety of acrylamide in food*, Springer, Boston, MA. pp. 223-233. DOI: 10.1007/0-387-24980-X_17.
- Elias, A., Roasto, M., Reinik, M., Nelis, K., Nurk, E., & Elias, T. (2017). Acrylamide in commercial foods and intake by infants in Estonia. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(11):1875-1884. DOI: 10.1080/19440049.2017.1347283.
- FAO. 2017. <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e05b.htm>. Erişim 05/02/2018.
- Feidt C, Petit A, Bruas-Reignier F, Brun-Bellut J. 1996. Release of amino-acids during ageing in bovine meat. *Meat Science*, 44(1–2): 19–25. DOI: 10.1016/S0309-1740(96)00088-5.
- Fernández Y, Arenillas A, Bermúdez J M, Menéndez JA. 2010. Comparative study of conventional and microwave-assisted pyrolysis, steam and dry reforming of glycerol for syngas production, using a carbonaceous catalyst. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 88(2):155-159. DOI: 10.1016/j.jaap.2010.03.009.
- Fiore A, Troise AD, Ataç Mogol B, Roullier V, Gourdon A, El Mafadi Jian S, Hamzaloğlu BA, Gökmen V, Fogliano, V. 2012. Controlling the Maillard reaction by reactant encapsulation: sodium chloride in cookies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(43):10808-10814. DOI: 10.1021/jf3026953.

- Flores M, Moya VJ, Aristoy, MC, Toldra F. 2000. Nitrogen compounds as potential biochemical markers of pork meat quality. *Food Chemistry*, 69, 371–377. DOI:10.1016/S0308-8146(00)00056-X.
- Friedman M. 2015. Acrylamide: inhibition of formation in processed food and mitigation of toxicity in cells, animals, and humans. *Food & function*, 6(6):1752-1772. DOI: 10.1039/C5FO00320B.
- Ghasemian S, Rezaei K, Abedini R, Poorazarang, H, Ghaziani F. 2014. Investigation of different parameters on acrylamide production in the fried beef burger using Taguchi experimental design. *Journal of Food Science and Technology*, 51(3): 440-448. DOI: 10.1007/s13197-011-0514-x.
- Ghasemian S. Rezaei K, Abedini R, Poorazarang H. 2011. Acrylamide formation during the frying of beef burger: Effect of temperature and time. *Chemical Engineering Research Bulletin*, 15(1): 39-44. DOI: 10.3329/ceerb.v15i1.7610.
- Gholami F, Rahman A, Mostaghim T. 2017. Effects of rosemary and thyme extracts on acrylamide formation in fried beef. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 3(4): 352-360.
- Gökmen V, Mogol BA, Lumaga, RB, Fogliano V, Kaplun Z, Shimoni E. 2011. Development of functional bread containing nanoencapsulated omega-3 fatty acids. *Journal of Food Engineering*, 105(4): 585-591. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.03.021.
- Gökmen V, Morales FJ, Ataç B, Serpen A, Arribas-Lorenzo G. 2009. Multiple-stage extraction strategy for the determination of acrylamide in foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(2): 142-147. DOI: 10.1016/j.jfca.2008.09.007.
- Gökmen V, Palazoğlu, TK, Şenyuva HZ. (2006). Relation between the acrylamide formation and time-temperature history of surface and core regions of French fries. *Journal of Food Engineering*, 77(4): 972-976. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.08.030.
- Gökmen V. 2014. A perspective on the evaluation of safety risks in thermal processing of foods with an example for acrylamide formation in biscuits. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 6(3): 319-325. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.11.002.
- Gökmen V. 2015. Acrylamide in food: analysis, content and potential health effects. Ankara. Academic Press. ISBN: 978-0-12-802832-2.
- Gölküçü M, Haluk T. 2005. Gıdalarda akrilamid oluşum mekanizması ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Derim* 22(1): 41-48.
- Granda C, Moreira RG, Tichy SE. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. *Journal of Food Science*, 69(8): E405-E411. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.tb09903.x.
- Granda C, Moreira RG. 2005. Kinetics of acrylamide formation during traditional and vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Process Engineering*, 28(5):478-493. DOI: 10.1111/j.1745-4530.2005.034.x.
- Grob K. 2005. Reduction of exposure to acrylamide: achievements, potential of optimization, and problems encountered from the perspectives of a Swiss enforcement laboratory. *Journal of AOAC International*, 88(1): 253-261.
- Halford NG, Curtis TY, Muttucumaru N, Postles J, Elmor JS, Mottram DS. 2012. The acrylamide problem: a plant and agronomic science issue. *Journal of Experimental Botany*, 63(8): 2841-2851. DOI:10.1093/jxb/ers011.
- Hamzalıoğlu A, Gökmen V. 2012. Role of bioactive carbonyl compounds on the conversion of asparagine into acrylamide during heating. *European Food Research and Technology*, 235(6): 1093-1099. DOI: 10.1007/s00217-012-1839-z.
- Hamzalıoğlu A, Mogol BA, Lumaga RB, Fogliano V, Gökmen V. 2013. Role of curcumin in the conversion of asparagine into acrylamide during heating. *Amino Acids*, 44(6): 1419-1426. DOI: 10.1007/s00726-011-1179-5.
- Hu F, Jin SQ, Zhu BQ, Chen WQ, Wang XY, Liu Z, Luo J W. 2017. Acrylamide in thermal-processed carbohydrate-rich foods from Chinese market. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 10(3): 228-232. DOI: 10.1080/19393210.2017.1329233.
- Jin C, Wu X, Zhang Y. 2013. Relationship between antioxidants and acrylamide formation: A review. *Food Research International*, 51(2): 611-620. DOI :10.1016/j.foodres.2012.12.047.
- Kaplan O, Kaya G, Ozcan C, Ince M, Yaman M. 2009. Acrylamide concentrations in grilled foodstuffs of Turkish kitchen by high performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Microchemical Journal*, 93(2): 173-179. DOI: 10.1016/j.microc.2009.06.006.
- Karagöz A. 2009. Akrilamid ve Gıdalarda Bulunuşu. *TAF Preventive Medicine Bulletin*, 8 (2): 187-192.
- Keramat J, LeBail A, Prost C, Soltanizadeh N. 2011. Acrylamide in foods: chemistry and analysis. A review. *Food and bioprocess technology*, 4(3): 340-363. DOI: 10.1007/s11947-010-0470-x.
- Khan MI, Jo C, Tariq, MR. 2015. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors—A systematic review. *Meat Science*, 110: 278-284. DOI: 10.1016/j.meatsci.2015.08.002.
- Khayat ME, Rahim MBHA, Shukor MY. 2017. Acrylamide toxicity and its biodegradation. *Bioremediation Science and Technology Research*, 5(2):8-12.
- Kısabay A, Korkmaz T, Çakıroğlu E, Selçuki D. 2004. Kısa süreli akrilamid maruziyeti sonucu gelişmiş toksik polinoropati olgusu. *Causa Pedia* 3: 701-702.
- Koklamaz E, Palazoğlu TK, Kocadağlı T, Gökmen V. 2014. Effect of combining conventional frying with radio-frequency post-drying on acrylamide level and quality attributes of potato chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(10): 2002-2008. DOI: 10.1002/jsfa.6516.
- Kotsiou K, Tasioula-Margari M, Kukurová K, Ciesarová Z. 2010. Impact of oregano and virgin olive oil phenolic compounds on acrylamide content in a model system and fresh potatoes. *Food Chemistry*, 123(4): 1149-1155. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.05.078.
- Krishnakumar T, Visvanathan R. 2014. Acrylamide in food products: A review. *Journal of Food Processing & Technology*, 5(7): 2-9 DOI: i:10.4172/2157- 7110.1000344.
- Lertittikul W, Benjakul, S, Tanaka, M. 2007. Characteristics and antioxidative activity of Maillard reaction products from a porcine plasma protein-glucose model system as influenced by pH. *Food Chemistry*, 100: 669–677. DOI: 10.1016/j.foodres.2016.10.037
- Leung, KS, Lin A, Tsang CK, Yeung STK. 2003. Acrylamide in asian foods in Hong Kong. *Food Additives and Contaminants*, 20(12): 1105-1113. DOI: 10.1080/02652030310001620414.
- Liu Y, Wang P, Chen F, Yuan Y, Zhu Y, Yan H, Hu X. 2015. Role of plant polyphenols in acrylamide formation and elimination. *Food Chemistry*, 186: 46-53. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.03.122.
- Loaëc G, Jacolot P, Helou C, Niquet-Léridon C, Tessier FJ. 2014. Acrylamide, 5-hydroxymethylfurfural and Nε-carboxymethyl-lysine in coffee substitutes and instant coffees. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31(4): 593-604. DOI:10.1080/19440049.2014.885661.
- Loaëc G, Niquet-Léridon C, Henry N, Jacolot P, Volpoet G, Goudemand E, ... Desprez B. 2014. Effects of variety, agronomic factors, and drying on the amount of free asparagine and crude protein in chicory. Correlation with the acrylamide formation during roasting. *Food Research International*, 63: 299-305. DOI:10.1016/j.foodres.2014.03.010.

- Ma R, Gao T, Song L, Zhang L, Jiang Y, Li J, ... Zhou G. 2016. Effects of oil-water mixed frying and pure-oil frying on the quality characteristics of soybean oil and chicken chop. *Food Science and Technology (Campinas)*, 36(2): 329-336. DOI: 10.1590/1678-457X.0092.
- Macleod G. 1994 The flavour of beef. In: Shahidi F. (eds) *Flavor of Meat and Meat Products*. Boston, MA. Springer. pp: 4-37. ISBN : 978-1-4615-2177-8.
- McCullister DD, Oyen F, Rowe VK. 1964. Toxicology of acrylamide. *Toxicol Appl Pharmacol*, 6(2):172–81.
- Meinert L, Schäfer A, Bjerregaard C, Aaslyng MD, Bredie WL. 2009. Comparison of glucose, glucose 6-phosphate, ribose, and mannose as flavour precursors in pork; the effect of monosaccharide addition on flavour generation. *Meat Science*, 81(3): 419-425. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.08.018.
- Mesías M, Holgado F, Márquez-Ruiz G, Morales FJ. 2016. An investigation of process contaminants' formation during the deep frying of breadcrumbs using a bread coat model. *Food & Function*, 7(3): 1645-1654. DOI: 10.1039/C6FO00031B.
- Mestdagh F, Meulenaer B, Peteghem C. 2007. Influence of oil degradation on the amounts of acrylamide generated in a model system and in French fries. *Food Chemistry*, 100:1153–1159. DOI: 10.1016/j.meatsci.2008.06.005.
- Michalak J, Gujska E, Czarnowska-Kujawska M, Nowak F. 2017. Effect of different home-cooking methods on acrylamide formation in pre-prepared croquettes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 56, 134-139. DOI: 10.1016/j.jfca.2016.12.006.
- Michalak J, Gujska E, Kuncewicz A. 2013. RP-HPLC-DAD studies on acrylamide in cereal-based baby foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 32(1), 68-73. DOI: 10.1016/j.jfca.2013.08.006.
- Morales F J, Somoza V, Fogliano, V. 2012. Physiological relevance of dietary melanoidins. *Amino Acids*, 42:1097–1109.
- Moreira RG, Castell-Perez ME, Barrufet MA. 1999. *Deep-Fat Frying: Fundamentals and Applications*. Gaithersburg, M. USA. Aspen Publishers. ISBN: 978-0-8342-1321-0.
- Mottram DS, Wedzicha BL, Dodson AT. 2002. Food chemistry: acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419(6906):448-449. DOI: 10.1038/419448a.
- Muttucumaru N, Powers SJ, Elmore JS, Dodson A, Briddon A, Mottram DS, Halford NG. 2017. Acrylamide-forming potential of potatoes grown at different locations, and the ratio of free asparagine to reducing sugars at which free asparagine becomes a limiting factor for acrylamide formation. *Food Chemistry*, 220: 76-86. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.09.199.
- Obón-Santacana M, Lujan-Barroso L, Travis RC, Freisling H, Ferrari P, Severi G, Boeing H,.. 2016. Acrylamide and Glycidamide Hemoglobin Adducts and Epithelial Ovarian Cancer: A Nested Case–Control Study in Nonsmoking Postmenopausal Women from the EPIC Cohort. *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers*, 25(1): 127-134. DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-15-0822.
- Ölmez H, Tuncay F, Özcan, N, Demirel S. 2008. A survey of acrylamide levels in foods from the Turkish market. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(7): 564-568. DOI: 10.1016/j.jfca.2008.04.011.
- Oral RA, Dogan M, Sarioglu K . 2014. Effects of certain polyphenols and extracts on furans and acrylamide formation in model system, and total furans during storage. *Food Chemistry*, 142: 423-429. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.07.077.
- Ötles S, Otles S. 2004. Acrylamide in food: chemical structure of acrylamide. *The Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 3.5: 1-8.
- Pacetti D, Gil E, Frega, NG, Álvarez L, Dueñas, P, Garzón A, Lucci P. 2015. Acrylamide levels in selected Colombian foods. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 8(2): 99-105. DOI: 10.1080/19393210.2014.995236.
- Palazoğlu TK, Coşkun Y, Kocadağlı T, Gökmen V. 2012. Effect of radio frequency postdrying of partially baked cookies on acrylamide content, texture, and color of the final product. *Journal of Food Science*, 77(5): E113-E117. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2012.02664.x.
- Paleologos EK, Kontominas MG. 2007. Effect of processing and storage conditions on the generation of acrylamide in precooked breaded chicken products. *Journal of Food Protection*, 70(2): 466-470. DOI: 10.4315/0362-028X-70.2.466.
- Palermo M, Gökmen V, De Meulenaer B, Ciesarová, Z, Zhang Y, Pedreschi F, Fogliano V. 2016. Acrylamide mitigation strategies: critical appraisal of the FoodDrinkEurope toolbox. *Food & Function*, 7(6): 2516-2525. DOI: 10.1039/C5FO00655D.
- Paul S, Mittal GS. 1996. Dynamics of fat/oil degradation during frying based on optical properties. *Journal of food engineering*, 30(3-4): 389-403. DOI: 10.1016/S0260-8774(96)00020-9.
- Pedreschi, F, Granby K, Risum J. 2010. Acrylamide mitigation in potato chips by using NaCl. *Food and Bioprocess Technology*, 3(6): 917-921. DOI: 10.1007/s11947-010-0349-x.
- Petersen, A. (2015). Scientific Opinion on acrylamide in food. EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), *EFSA Journal*, 13(6):4104.
- Powers SJ, Mottram DS, Curtis A, Halford NG. 2017. Acrylamide levels in potato crisps in Europe from 2002 to 2016. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(12): 2085-2100. DOI: 10.1080/19440049.2017.1379101.
- Qin L, Zhang YY, Xu XB, Wang XS, Liu HW, Zhou, D. Y, Zhu BW, Thornton, M. 2017. Isotope dilution HPLC-MS/MS for simultaneous quantification of acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF) in thermally processed seafood. *Food Chemistry*, 232: 633-638. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.04.069.
- Rannou C, Laroque D, Renault E, Prost C, Sérot T. 2016. Mitigation strategies of acrylamide, furans, heterocyclic amines and browning during the Maillard reaction in foods. *Food Research International*, 90: 154-176. DOI:10.1016/j.foodres.2016.10.037.
- Riboldi BP, Vinhas AM, Moreira JD. 2014. Risks of dietary acrylamide exposure: A systematic review. *Food Chemistry*, 157: 310-322. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.02.046
- Rudén C. 2004. Acrylamide and cancer risk—expert risk assessments and the public debate. *Food and Chemical Toxicology*, 42(3): 335-349. DOI: 10.1016/j.fct.2003.10.017
- Salazar R, Arámbula-Villa G, Vázquez-Landaverde PA, Hidalgo FJ, Zamora R. 2012. Mitigating effect of amaranth (*Amarantus hypochondriacus*) protein on acrylamide formation in foods. *Food Chemistry*, 135(4): 2293-2298. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.06.089.
- Sansano M, Castelló ML, Heredia A, Andrés A. 2016. Protective effect of chitosan on acrylamide formation in model and batter systems. *Food Hydrocolloids*, 60: 1-6. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.03.017.
- Schamberger GP, Labuza TP. 2007. Effect of green tea flavonoids on Maillard browning in UHT milk. *LWT-Food Science and Technology*, 40(8): 1410-1417. DOI: doi.org/10.1016/j.lwt.2006.09.009.
- Shahidi F. 1994. Assessment of lipid oxidation and off-flavour development in meat and meat products. In *Flavor of meat and meat products*. Boston, MA. Springer. pp: 247-266. DOI: 10.1007/978-1-4615-2177-8_14.
- Skog K, Johansson M, Jøgerstad M. 1998. Carcinogenic heterocyclic amines in model systems and cooked foods: a review on formation, occurrence and intake. *J. Food Chem. Toxicol.*, 36: 879 – 896. DOI: 10.1016/S0278-6915(98)00061-1.

- Sohn M, Ho CT. 1995. Ammonia generation during thermal degradation of amino acids. *Journal of agricultural and food chemistry*, 43(12): 3001-3003. DOI: 10.1021/jf00060a001.
- Somoza V. 2005. Five years of research on health risks and benefits of Maillard reaction products: an update. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49(7): 663-672. DOI: 10.1002/mnfr.200500034.
- Soncu ED, Haskaraca G, Kolsarıcı N. 2018. Presence of acrylamide and heterocyclic aromatic amines in breaded chicken meat products and dietary exposure of Turkish population from Ankara based on the food frequency questionnaire study. *European Food Research and Technology*, 244(3): 501-511. DOI: 10.1007/s00217-017-2976-1.
- Soncu ED, Kolsarıcı N. 2017. Microwave thawing and green tea extract efficiency for the formation of acrylamide throughout the production process of chicken burgers and chicken nuggets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(6): 1790-1797. DOI: 10.1002/jsfa.7976.
- Stadler RH, Blank I, Varga N, Robert F, Hau J, Guy PA, Robert MC, Riediker S. 2002. Food chemistry: acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*, 419(6906): 449-450. DOI: 10.1038/419449a.
- Stadler RH, Robert F, Riediker S, Varga N, Davidek T, Devaud S, Goldmann T, Hau J, Blank I. 2004. In-depth mechanistic study on the formation of acrylamide and other vinylogous compounds by the Maillard reaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 5550-5558. DOI: 10.1021/jf0495486.
- Stevens JF, Maier C S. 2008. Acrolein: sources, metabolism, and biomolecular interactions relevant to human health and disease. *Molecular Nutrition & Food Research*, 52(1): 7-25. DOI: 10.1002/mnfr.200700412.
- Svensson K, Abramsson L, Becker W, Glynn A, Hellenäs KE, Lind Y, Rosen J. 2003. Dietary intake of acrylamide in Sweden. *Food and Chemical Toxicology*, 41(11): 1581-1586. DOI: 10.1016/S0278-6915(03)00188-1.
- Taeymans D, Wood J, Ashby P, Blank I, Studer A, Stadler RH, Lindblom M. 2004. A review of acrylamide: an industry perspective on research, analysis, formation, and control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(5): 323-347. DOI: 10.1080/10408690490478082.
- Tamanna N, Mahmood N. 2015. Food processing and maillard reaction products: effect on human health and nutrition. *International Journal of Food Science*, 1-6. DOI: 10.1155/2015/526762.
- Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, Törnqvist M. 2002. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17): 4998-5006. DOI: 10.1021/jf020302f.
- Tareke E. 2003. Identification and origin of potential background carcinogens: Endogenous isoprene and oxiranes, dietary acrylamide (Doctoral dissertation, Department of Environmental Chemistry, Stockholm University, Stockholm).
- Taşan M. 2008. Tahıl kaynaklı ürünlerde akrilamid varlığı. *Türkiye*, 10, 395-398.
- Tateo F, Bononi M, Andreoli G. 2007. Acrylamide levels in cooked rice, tomato sauces and some fast food on the Italian market. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3-4): 232-235. DOI: 10.1016/j.jfca.2006.06.006.
- Tekkeli SEK, Önal C, Önal A. 2012. A review of current methods for the determination of acrylamide in food products. *Food Analytical Methods*, 5(1): 29-39. DOI: 10.1007/s12161-011-9277-2.
- Tornberg E. 2005. Effects of heat on meat proteins—Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70(3): 493-508. DOI: 10.1016/j.meatsci.2004.11.021.
- Totlani VM, Peterson DG. 2005. Reactivity of epicatechin in aqueous glycine and glucose Maillard reaction models: quenching of C2, C3, and C4 sugar fragments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10): 4130-4135. DOI: 10.1021/jf050044x.
- Totlani VM, Peterson DG. 2006. Epicatechin carbonyl-trapping reactions in aqueous Maillard systems: identification and structural elucidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(19): 7311-7318. DOI: 10.1021/jf061244r.
- Trevisan AJB, de Almeida Lima D, Sampaio GR, Soares RAM, Bastos DHM. 2016. Influence of home cooking conditions on Maillard reaction products in beef. *Food Chemistry*, 196: 161-169. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.09.008.
- Xu F, Oruna-Concha MJ, Elmore JS. 2016. The use of asparaginase to reduce acrylamide levels in cooked food. *Food Chemistry*, 210: 163-171. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.04.105.
- Xu Y, Cui B, Ran R, Liu Y, Chen H, Kai G, Shi J. 2014. Risk assessment, formation, and mitigation of dietary acrylamide: current status and future prospects. *Food and Chemical Toxicology*, 69:1-12. DOI: 10.1016/j.fct.2014.03.037.
- Yasuhara A, Tanaka Y, Hengel M, Shibamoto T. 2003. Gas chromatographic investigation of acrylamide formation in browning model systems. *J. Agric. Food Chem.*, 51:3999-4003. DOI: 10.1021/jf0300947.
- Yaylayan V A, Wnorowski A, Perez Locas C. 2003. Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(6): 1753-1757. DOI: 10.1021/jf0261506.
- Yaylayan VA, Locas, CP, Wnorowski A, O'Brien J. 2005. Mechanistic pathways of formation of acrylamide from different amino acids. In *Chemistry and safety of acrylamide in food*. Boston, MA, Springer. pp:191-203. ISBN: 978-0-387-24980-3.
- Yaylayan VA, Wnorowski A, Perez Locas C. 2003. Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(6):1753-1757. DOI: 10.1021/jf0261506.
- Yıldız O, Şahin H, Kara M, Aliyazıcıoğlu R, Tarhan Ö, Kolaylı S. 2010. Maillard reaksiyonları ve reaksiyon ürünlerinin gıdalardaki önemi. *Akademik Gıda*, 8(6):44-51.
- Yuan Y, Shu C, Zhou B, Qi X, Xiang J. 2011. Impact of selected additives on acrylamide formation in asparagine/sugar Maillard model systems. *Food Research International*, 44(1): 449-455. DOI: 10.1016/j.foodres.2010.09.025.
- Yuan Y, Shu C, Zhou B, Qi X, Xiang J. 2011. Impact of selected additives on acrylamide formation in asparagine/sugar Maillard model systems. *Food Research International*, 44(1): 449-455. DOI: 10.1016/j.foodres.2010.09.025.
- Zamora R, Delgado RM, Hidalgo FJ. 2011. Strecker aldehydes and α -keto acids, produced by carbonyl-amine reactions, contribute to the formation of acrylamide. *Food Chemistry*, 128(2): 465-470. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.03.054.
- Zamora R, Hidalgo FJ. 2008. Contribution of lipid oxidation products to acrylamide formation in model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15): 6075-6080. DOI:10.1021/jf073047d.
- Zamora R, Hidalgo FJ. 2008. Contribution of lipid oxidation products to acrylamide formation in model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15): 6075-6080. DOI: 10.1021/jf073047d.
- Zhang Y, Chen J, Zhang X, Wu X, Zhang Y. 2007. Addition of antioxidant of bamboo leaves (AOB) effectively reduces acrylamide formation in potato crisps and French fries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2): 523-528. DOI: 10.1021/jf062568i.

- Zyzak DV, Sanders RA, Stojanovic M, Tallmadge D H, Eberhart BL, Ewald DK, Villagran MD. 200). Acrylamide formation mechanism in heated foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16): 4782-4787. DOI: 10.1021/jf034180i.
- Zyzak DV, Sanders RA, Stojanovic M, Tallmadge DH, Eberhart BL, Ewald DK, Gruber DC, Morsch TR, Strothers MA, Rizzi GP, Villagran MD. 2003. Acrylamide formation mechanism in heated foods, *J. Agric. Food Chem.* 51:4782-4787. DOI: 10.1021/jf034180i.
- Żyżelewicz D, Oracz J, Krysiak W, Budryn G, Nebesny E. 2017. Effects of various roasting conditions on acrylamide, acrolein, and polycyclic aromatic hydrocarbons content in cocoa bean and the derived chocolates. *Drying technology*, 35(3), 363-374. DOI:10.1080/07373937.2016.1175470.