

## Gıdalarda Akrilamid Oluşum Mekanizmaları, Gıdaların Akrilamid İçeriği ve Sağlık Üzerine Etkileri

Nizam Mustafa Nizamlıoğlu<sup>1</sup> , Sebahattin Nas<sup>2</sup> <sup>1</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 70200 Karaman<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 20020 Kınıklı, Denizli

Geliş Tarihi (Received): 21.10.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 23.07.2017

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): [munizam@kmu.edu.tr](mailto:munizam@kmu.edu.tr) (N.M. Nizamlıoğlu)

☎ 0 338 226 22 00 📠 0 338 226 22 14

### ÖZ

Maillard reaksiyonu sonucu oluşan akrilamidin toksik nitelikte bir bileşik olduğu bildirilmektedir. Isı Maillard esmerleşme ürünleri oluşumuna yol açtığı koşullarda ayrıca gıdalarda akrilamid oluşumuna da neden olabilmektedir. Akrilamidin insan vücuduna girişi sindirim yoluyla ve deriden emilimi ile gerçekleşmektedir. Gıdalarda akrilamidin lipit, karbonhidrat veya serbest aminoasitlerin degradasyonu sonucu oluşan akrolein veya akrilik asit yoluyla, malik, laktik ve sitrik asit gibi organik asitlerden su veya karboksil grubu kaybedilmesiyle ve aminoasitlerden doğrudan oluşum mekanizmasıyla ortaya çıkabileceği belirtilmektedir. Yaygın olan görüş ise, gıdalarda akrilamidin bir aminoasit olan asparajin ile basit şekerlerin (indirgen özellikli) reaksiyonu sonucu oluştuğu şeklindedir. Akrilamidin kanserojenik olan monomerik formunun yüksek sıcaklık uygulanmış (120°C üzerinde) gıdalarda oluştuğu belirtilmiştir. Araştırmacılar gıdalardaki akrilamid düzeyinin gıdanın çeşidi ve üretim şekline bağlı olarak farklılık gösterdiği belirtilmektedir. Akrilamidin en fazla bulunduğu gıdalar; patates cipsi, patates kızartması, mısır cipsi, bisküvi, kraker ve tost edilmiş gevrek unlu mamuller, ekmek ve benzeri unlu mamuller, kahvaltılık tahıllar ve kahve gibi ürünlerdir. Bu çalışmada, gıdalarda akrilamid oluşumunun mekanizmaları, oluşumu, farklı gıdaların akrilamid içerikleri ve akrilamidin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri derlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akrilamid, Akrilamid oluşumu, Sağlık

### Mechanisms of Acrylamide Formation in Foods, Acrylamide Content of Foods and Its Effect on Human Health

#### ABSTRACT

Acrylamide formed by the Maillard reaction is reported to be a toxic compound. Under conditions where heat leads to the formation of Maillard browning products, it can also lead to the formation of acrylamide in foods. The introduction of acrylamide into the human body takes place through digestion or absorption through the skin. Acrylamide formation in foods has been reported in three ways, a) with a path where acrylic acid or acrolein is formed as a result of the degradation reactions of lipids, carbohydrates or free amino acids b) with the loss of carboxyl group or water from organic acids such as malic, lactic and citric acids and c) with the direct formation from amino acids. The common opinion is that acrylamide in foods is formed by the reaction of simple (reducing) sugars with asparagine, an amino acid. The monomeric form of acrylamide, which is carcinogenic, has been reported to occur in high temperature treated foods (above 120°C). It is stated by the researchers that the level of acrylamide in foods varies depending on the type and production of the food. Foods that contain the most acrylamide include potato chips, french fries, corn chips, biscuits, crackers and toasted crispy bakery products, bread and other bakery products, breakfast cereals and coffee. In this study, the mechanisms of acrylamide formation in foods, acrylamide content of different foods and the adverse effects of acrylamide on human health were reviewed.

**Keywords:** Acrylamide, Acrylamide formation, Health

## GİRİŞ

Gıda maddelerinde kaliteyi etkileyen temel kimyasal reaksiyonlardan biri olan enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, gıdaların işleme ve saklanmaları aşamalarında meydana gelmektedir [1]. Kuru madde içeriği %65'den fazla olan konsantre ürünler, mikrobiyolojik olarak risk oluşturmamaktadır. Ancak yüksek sıcaklık uygulaması ya da uzun süre depolama sonucunda bu ürünler enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarına maruz kalmakta; kimyasal ve duyu kalite açısından bazı değişiklikler meydana gelebilmektedir [2].

Maillard reaksiyonları; ekmek, kurabiye, kek, et, fındık, badem, çikolata, patlamış mısır, pişmiş et gibi birçok gıdanın lezzetinden kısmen sorumludur. Maillard reaksiyonu sırasında indirgen özellikte birçok bileşiğin oluştuğu, bunların da tat, aroma ve renk değişimine neden olduğu, bazılarının ise toksik, karsinogenik veya mutajenik özellik gösterdiği belirtilmektedir. Maillard reaksiyonu sonucu oluşan akrilamid, hidroksimetil furfural (HMF) ve heterosiklik aminlerin toksik nitelikte bileşikler olduğu bildirilmektedir [2-5]. Hayvanlar üzerine yapılmış çalışmalarda birçok heterosiklik aminin karsinogenik etkiye sahip olduğu, Uluslararası Kanser Araştırma Enstitüsü (IARC)'nin yaptığı açıklamaya göre de bu bileşiklerin insanlarda kanserojen etkiye sahip olabileceği belirtilmiştir [2]. Gıda işlenmesi sırasında oluşan Maillard ürünlerinin istenmeyen ve faydalı etkileri, akrilamid oluşumu ile aynı zamanda oluşabilmektedir. Isı Maillard esmerleşme ürünleri oluşumuna yol açtığı koşullarda ayrıca gıdalarda akrilamid oluşumuna da ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$ ) neden olabilmektedir [6]. EFSA'ya göre, akrilamid maruziyetine katkıda bulunan en önemli gıda grupları kızarmış patates ürünleri, kahve ve tahıl bazlı gıdalardır [7].

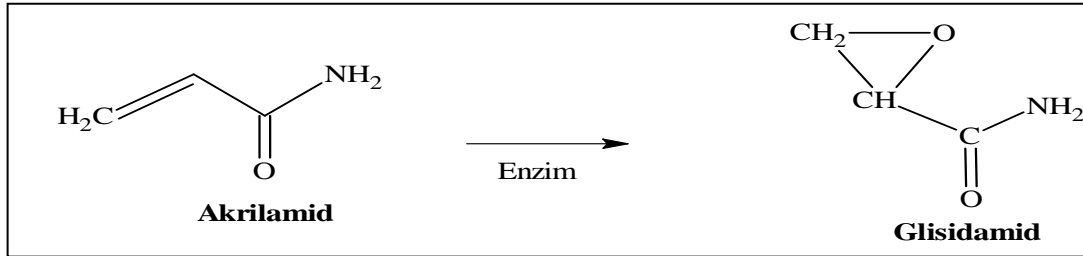
Bu çalışmada, gıdalarda akrilamid oluşumunun mekanizmaları, akrilamid oluşumu üzerine yüksek sıcaklık uygulaması ve gıda bileşenlerinin etkileri, farklı gıdalarda ki akrilamid içerikleri ve akrilamid'in insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerine değinilmiştir.

## AKRİLAMİDİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Akrilamid ( $\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$ , 2-propenamid), yapısında vinil bulunduran, poliakrilamidin suda çözünür monomerlerindedir. Kokusuz, beyaz katı kristaller halinde, suda çözünürlüğü yüksek (204 g/100ml, 25°C'de) ve molekül ağırlığı 71.08 g/mol olan bir kimyasal maddedir [4, 8-12]. Saf hali oda sıcaklığında katıdır (Aktaş 2008). Erime noktası 84.5°C ve kaynama noktası (25 mmHg) 125°C (atmosferik basınçta 192.6°C)'dir [13-15]. Akrilamid, erime noktasına ulaştığında ya da ultraviyole ışığa maruz bırakıldığında hemen polimerleşmeye başlamaktadır [16, 17]. Hem zayıf asidik hem de bazik özellik göstermektedir. Su içerisinde oldukça iyi çözünen [18] (2155 g/L'dir) akrilamid metanol, etanol ve aseton gibi polar organik çözücülerde iyi çözünürken; heksan ve heptan gibi polar olmayan çözücülerde çok az miktarda çözünmektedir [13,19]. Bileşiminde %50.69 karbon, %7.09 hidrojen, %19.71 azot ve %22.51 oksijen elementlerini içerir. Sudaki %50'lik çözeltisinin pH miktarı 5.2-6.0 arasındadır. Yakıcı veya tahriş edici özelliği yoktur [17, 20].

Akrilamid, monomer ve polimer (poliakrilamid) olmak üzere iki farklı formda bulunabilmektedir. Monomer yapıdaki akrilamid toksik özellik göstermekteyken, polimer yapıdaki akrilamidin toksik özellik göstermediği belirtilmiştir [13, 18, 21]. Monomerik yapıdaki akrilamidin hayvanlarda sinir sistemine zarar verdiği ve memeli hayvanlarda kanserojen ve mutajen etki gösterdiği belirtilmektedir [10, 22].

Akrilamidin insan vücuduna girişi sindirim yoluyla ve deriden emilimi ile gerçekleşmektedir. Organizmaya girdiğinde enzimatik reaksiyonlarla glisidamide dönüşmektedir [9, 11]. Akrilamid, vücutta metabolizasyonu esnasında CYP2E1 enzimi aracılığıyla bir epoksit türevi olan glisidamide dönüşmektedir. Glisidamid, akrilamidin zararlarının değerlendirilmesi açısından anahtar bir role sahiptir; çünkü akrilamid, toksik etkilerinin büyük bir kısmını bu madde aracılığıyla göstermektedir [4, 8, 9, 15, 17, 23]. Şekil 1'de glisidamidin yapısı görülmektedir [22].



Şekil 1. Akrilamidin glisidamide dönüşümü

## AKRİLAMİDİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Tareke ve arkadaşları tarafından 2002 yılında akrilamidin ilk defa gıdalarda bulunduğu tespit edilmesi ve potansiyel sağlık etkilerinin ortaya

konulması ile tüm dünyada ilgi uyandırmıştır [24,25]. İsveç Ulusal Gıda Komisyonu NFA (National Food Authority) ve Stockholm Üniversitesi'nin yaptığı araştırmalara göre; akrilamidin monomerik formunun yüksek sıcaklık uygulanmış (120°C) gıdalarda, karbonhidratların ve aminoasitlerin tepkimesi sonucu

oluşturduğu belirtilmiştir. Uzmanlar gıdalardaki akrilamid düzeylerinin gıdanın çeşidi ve üretim şekillerine bağlı olarak farklılık gösterebildiğini bildirmişlerdir [11, 18, 19, 26-28]. İsveçli araştırmacılar tarafından akrilamidin tespiti, dünyanın ilgisini bu konu üzerine çekmiş ve Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı tarafından bazı nörotoksik ve kanserojenik etkiler gösterdiği ispatlanan akrilamid, insanlar için olası kanserojen olarak 2A grubunda sınıflandırılmıştır [12, 20, 29-32]. Akrilamidin bu kategoride yer alması Dünya Sağlık Örgütü başta olmak üzere birçok kuruluşun dikkatini bu konu üzerine çekmiştir. Akrilamidin özellikle günlük diyetin başlıca öğelerini oluşturan karbonhidratça zengin gıdalarda yer alması bu konunun araştırılması gerekliliğini önemli hale getirmiştir [20, 33]. Haziran 2015'te, Avrupa Gıda Güvenliği Ajansı (EFSA) gıdalardaki akrilamid varlığının potansiyel olarak tüm yaş gruplarında belirli kanser türlerini geliştirme riskini artırdığını onaylamıştır. [7, 34, 35].

Akrilamidin etkilerini görebilmek için hayvanlar üzerinde yapılan deneyler, akrilamidin sinir sistemine zarar

verdiğini, yüksek dozlarda ise kaslar ve hormonal bezler üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Hayvanlarda akciğer ve deri kanserine neden olduğu belirlenmiştir [36, 37]. Akrilamidin insanlarda nörolojik bozukluklara da neden olabileceği ileri sürülmektedir. Ancak, gıdalarda bulunan akrilamid miktarının sinir sistemini etkileyecek düzeyde olmadığı belirtilmektedir [38]. Yapılan hayvan denemeleriyle yüksek dozlardaki akrilamidin üreme ve sinir sistemini etkilediği, akrilamidin metabolik ürünü olan glisidamid'in DNA'yı bağlayarak genetik hasara yol açtığı bulunmuştur [8, 15].

Ancak son yıllarda gerçekleştirilen epidemiyolojik ve toksikolojik çalışmalarda, diyetle alınan akrilamid ile değişik kanserler (yemek borusu, mide, kalın bağırsak ve pankreas kanserleri) arasında kayda değer bir ilişki tespit edilmemiştir [10]. İnsanlar için yaşam boyu tüketilen günlük akrilamid miktarının, 1 µg/kg vücut ağırlığı olması durumunda kanser riskinin 1000'de 0.70-4.50 arasında olacağı belirtilmektedir [19, 20]. Bazı ülkelerde akrilamide maruz kalma seviyeleri Tablo 1'de verilmiştir.

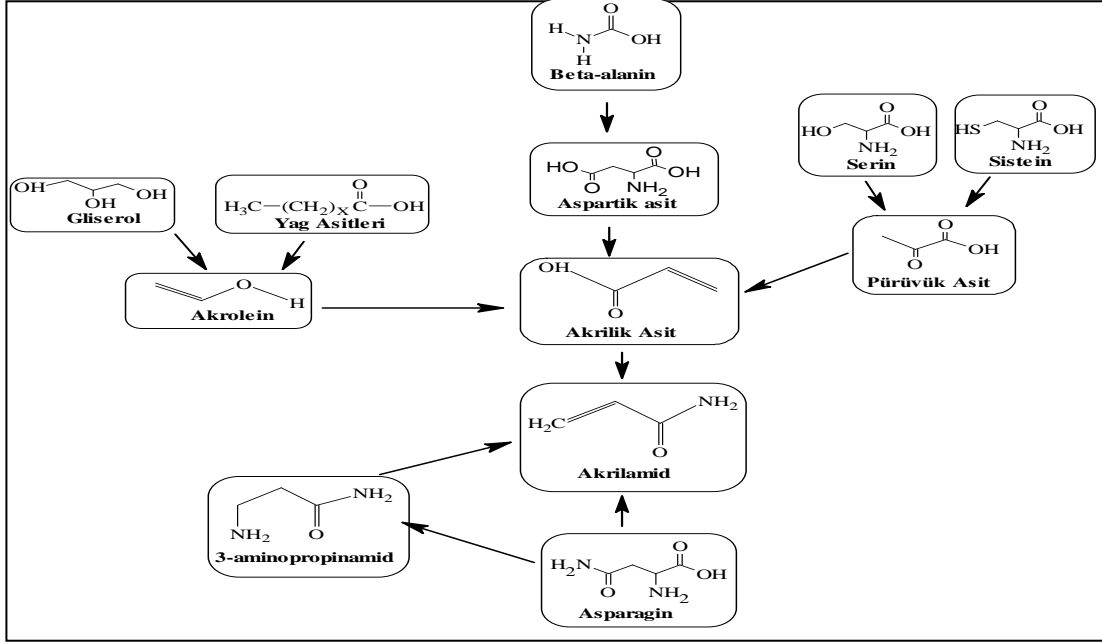
Tablo 1. Bazı ülkelerde akrilamid maruziyet seviyeleri [39]

Ülke	Yaş (yıl)	Ortalama akrilamid maruziyeti (µg/kg günlük vücut ağırlığı)
FAO / WHO	Genel nüfus	0.2-1
	1-3	1.2-2.4
	3-10	0.7-2.05
	11-17	0.43-1.4
EFSA	>18	0.31-1.1
	1-97	0.48
	7-18	0.71
Hollanda	1-6	1.04
	6 ay	0.04
İsveç	7-12 ay	0.5
	6 ay (kız)	0.31
Norveç	6 ay (erkek)	0.29
	12 ay (kız)	0.36
	12 ay (erkek)	0.33
Brezilya	11-17	0.12
Fransa	> 15	0.5
	2-14	1.4
Polonya	1-96	0.43
	1-6	0.75
	7-18	0.62
Almanya	<1	0.16-0.98
	1-7	0.19- 1.79
	7-19	0.12-1.60

## GIDALARDA AKRILAMİD OLUŞUM MEKANİZMALARI

Isıl işlem gören gıdalarda akrilamid oluşumu ile ilgili birçok teori vardır. Bunun nedeni, akrilamidin gıdalarda birden fazla mekanizma sonucunda oluşmasıdır [13, 40]. Gıdalarda akrilamidin, lipid, karbonhidrat veya serbest aminoasitlerin degradasyonu sonucu oluşan akrilein veya akrilik asit yoluyla, malik, laktik ve sitrik

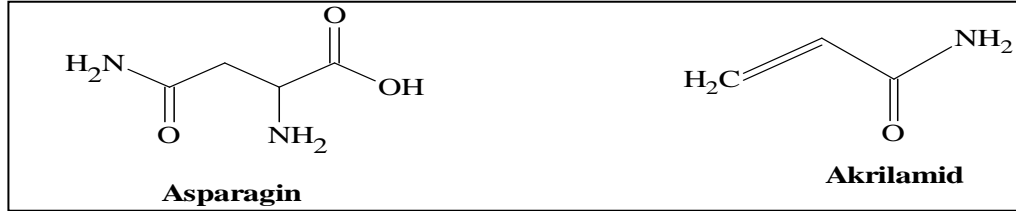
asit gibi organik asitlerden su veya karboksil grubu kaybedilmesiyle ve amino asitlerden doğrudan oluşum mekanizmasıyla ortaya çıkabileceği belirtilmektedir. Yaygın olan görüş ise, gıdalarda akrilamidin bir aminoasit olan asparajin ile basit şekerlerin (indirgen) reaksiyonu sonucu oluştuğu şeklindedir [16, 37, 39, 41-45]. Şekil 2'de akrilamidin gıdalarda oluşum yolları görülmektedir [8, 17].



Şekil 2. Akrlamidin gıdalarda oluşum yolları

Akrlamidin oluşumuyla ilgili genel teori, gıdalarda akrlamid oluşumunun enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu olarak bilinen Maillard reaksiyonu ile yakından ilişkili olduğudur. Akrlamid gıdalarda Maillard reaksiyonunun bir yan reaksiyon ürünü olarak oluşmaktadır. Asparajinin, belirgin miktarda akrlamid oluşmasını sağlayan tek aminoasit olduğuna düşünülmektedir. Akrlamid oluşumunda asparajinin

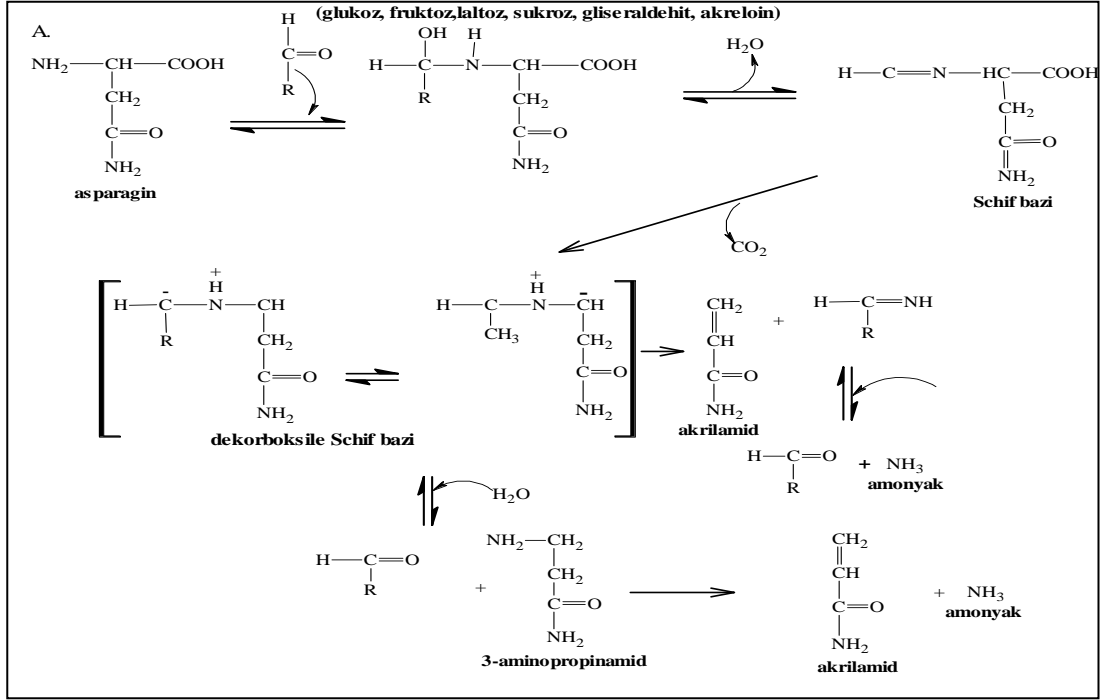
akrlamid molekülünün ana iskeletini oluşturduğu görüşü, akrlamidin ve asparajinin kimyasal formüllerine bakıldığında daha net anlaşılmaktadır. Şekil 3.'de asparajinin ve akrlamidin kimyasal formülleri görülmektedir [13, 46, 47]. Amrein ve ark. [48] patateslerle yaptıkları çalışmada asparajinin amid grubuyla birlikte akrlamid molekülünün omurgasını oluşturduğunu göstermişlerdir.



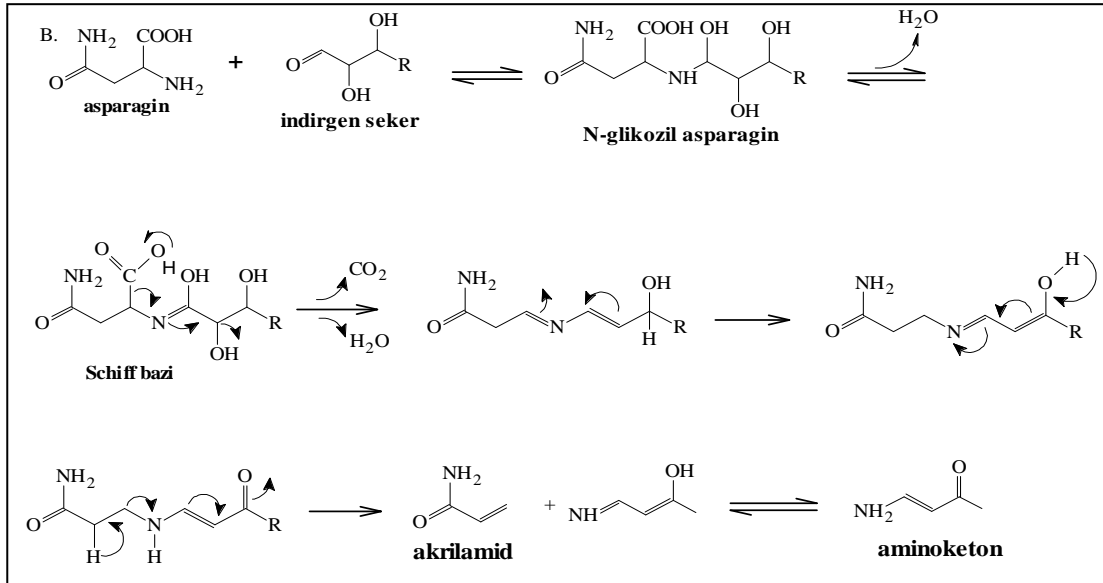
Şekil 3. Asparajin ve akrlamid

Maillard reaksiyonunun başlangıç basamağında indirgen şekerler ile asparajin reaksiyona girerek Schiff bazı ile dengede olan N-glukozilasparajin kompleksini oluşturmaktadır. Bu kompleks ısıtma esnasında yüksek miktarlarda akrlamid oluşturmaktadır. Ayrıca dekarboksile olmuş asparajin (3-aminopropionamide) ısıtıldığında indirgen şeker olmadan akrlamid oluşturabilmektedir. Asparajin ve indirgen şeker arasındaki ilk reaksiyon sonunda Schiff bazı oluşur. Oluşan bu molekül dekarboksilasyon yolu ile dekarboksile Amadori ürününe dönüşür. Bu noktada Amadori ürünü Strecker bozulması ile akrlamid oluşturur [9, 17, 19, 20, 30, 40, 43, 47, 49-52]. Yaylayan ve ark. [53], yaptıkları model çalışmalarda akrlamid oluşumunun asparajinden ve bir reaktif karbonil kaynağından oluştuğunu göstermişler ve bu oluşumda Schiff bazının önemini belirtmişlerdir. Şekil 2.4'de ve Şekil 2.5'de ısıtılmış gıdalarda akrlamid oluşum mekanizmaları görülmektedir [27, 42-44, 48, 54, 55].

Asparajin yalnız ısıtıldığında akrlamid yerine maleimid meydana geldiği bildirilmiştir. Akrlamid oluşumunda 2-deoksiglukoz, 2,3-butandion, oktanal, dekanal gibi karbonil bileşikleri indirgeyici şekerle aynı sonuçları verdiği ve bu karbonil bileşiklerin, Maillard reaksiyonuyla, şekerlerin bozunmasıyla veya lipit peroksidasyonuyla oluştuğu görülmüştür [44]. Tareke ve ark. [33], proteince zengin gıdaların ısıtma işlem sonrasında düşük seviyelerde akrlamid (5-50 ppb) içerdiğini; fakat karbonhidrat içeriği zengin gıdalarda akrlamid seviyesinin çok daha yüksek (150-4000 ppb) değerlerde olduğunu belirtmişlerdir. Çiğ ya da ısıtma uygulanmamış gıdalarda ise akrlamid oluşumunun gerçekleşmemesi karbonhidratça zengin gıdaların pişirilmeleri sırasında bazı reaksiyonların akrlamid oluşumundan sorumlu olduğunu ortaya koymaktadır [13, 56].



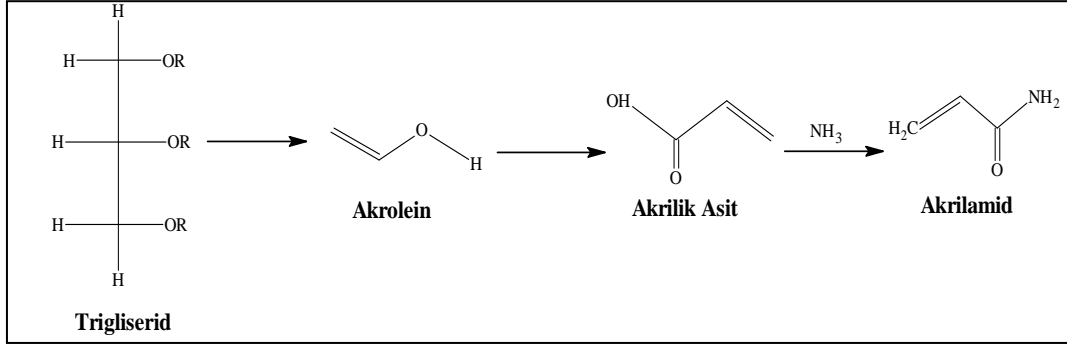
Şekil 4. Asparajın ve karbonhidratların dekarboksile Schiff bazına dönüşümü; Schiff bazının direkt olarak ve/veya 3-aminopropionamide ara maddesi ile akrylamide dönüşümü



Şekil 5. 3-Aminopropionamide ara maddesi oluşmadan akrylamid oluşumu

Zyzak ve ark. [50], asparajının akrylamid oluşumunda öncü bir aminoasit olduğu kanıtına kesin olarak varmışlardır. Patates model sistemi kullanarak yaptıkları çalışmalarda akrylamid karbon atomlarının asparajından kaynaklandığını göstermişler ve akrylamid azotunun asparajine ait nitrojeninden elde etmişlerdir. Ayrıca bu araştırmacılar ısıttıkları glukoz-asparajın model sistemlerinde 3-aminopropionamidin (akrylamid oluşumunun habercisi) varlığını göstermişlerdir. Akrylamid oluşumunu açıklayan diğer bir teoriye göre, akrylamid oluşumunda akroleinin muhtemel öncü madde

olduğu belirtilmektedir. Akrolein lipidlerin transformasyonu, aminoasitlerin ve proteinlerin degradasyonu, karbonhidratların degradasyonu, aminoasitlerle ya da proteinlerle karbonhidratlar arasındaki Maillard reaksiyonuyla oluşabilmektedir [13, 20]. Akrolein akrilik aside yükseltgenmekte, akrilik asit de gıdalardaki azotlu maddelerin sıcaklık etkisiyle bozulması sonucu oluşan amonyak ile reaksiyona girerek akrylamidi oluşturmaktadır [15, 19, 30, 57]. Şekil 6'da trigliseritten akrylamid oluşumu görülmektedir [14, 30, 44, 58, 59].



Şekil 6. Gliserol ve akrolein sayesinde lipidlerden akrilamid oluşumu

Akrilamid oluşumunu açıklayan son teoriye göre, akrilamid azot içeren maddelerden (proteinler, amino asitler) yeniden yapılanma, hidroliz, dekarboksilasyon gibi birçok seri transformasyon sonucunda akrolein olmadan direkt olarak da oluşabilmektedir [8, 13]. Strecker aldehit doğrudan veya akrilik asit mekanizması üzerinden akrilamidi meydana getirmektedir [20].

Pirüvik asit de akrilamid oluşumu ile sonuçlanan reaksiyonlara katılmaktadır. Maddenin amonyak varlığında sırasıyla pirüvik asit, laktik asit, akrilik asit ve akrilamid yönünde değişime uğradığı belirtilmektedir [8, 17].

### ISIL İŞLEM VE GIDA BİLEŞENLERİNİN AKRİLAMİD OLUŞUMUNA ETKİLERİ

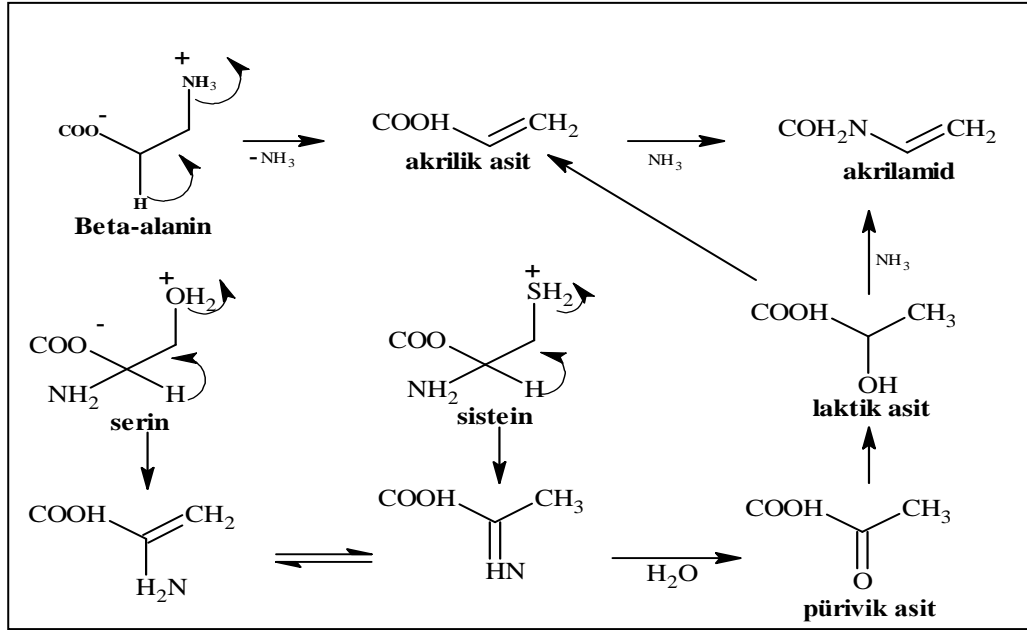
Akrilamid miktarları yüksek sıcaklık uygulanarak ( $120^{\circ}\text{C}$ 'nin üzeri) üretilen ve hazırlanan çeşitli gıdalarda iz miktarlardan  $4000\ \mu\text{g}/\text{kg}$  düzeylerine kadar geniş bir değişim göstermektedir.  $100\text{-}120^{\circ}\text{C}$  üzerinde ısı uygulamasıyla, akrilamidin en yüksek düzeyi karbonhidratça zengin gıdalarda ( $100\text{-}4000\ \mu\text{g}/\text{kg}$ ) ve en düşük düzeyi proteince zengin gıdalarda ( $<100\ \mu\text{g}/\text{kg}$ ) bulunmuştur [14, 15, 19, 40]. Herhangi bir ısı işlem görmemiş gıdalarda akrilamid bulunmamakta veya çok az ( $<10\ \mu\text{g}/\text{kg}$ ) bulunmakta, suda haşlanan veya bol sulu ortamlarda pişirilen gıdalarda ise oldukça düşük düzeylerde ( $<30\ \mu\text{g}/\text{kg}$ ) oluşmaktadır [10, 14]. Akrilamid düzeyleri gıda kategorileri ve aynı şartlarda üretilmiş ürün grupları içinde önemli farklılıklar göstermektedir [14].

Maillard reaksiyonlarında akrilamid üretimi bakımından aminoasitler arasında yapılan benzer bir çalışmada ise aynı şekerle reaksiyona sokulan aminoasitler arasında bir kıyaslama yapılmış ve asparajin kullanıldığında yüksek miktarlarda ( $221\ \text{mg}/\text{mol}$ ) akrilamid oluşurken glutamin ve aspartik asitte az miktarda ( $0.5\ \text{mg}/\text{mol}$ ) akrilamid oluştuğu ortaya çıkmıştır. Sistein, metionin ve glisin gibi aminoasitlerde ise tayin edilebilir miktarlarda akrilamid oluşmamıştır. Böylece akrilamid oluşumundan sorumlu olan tek aminoasidin asparajin olduğu ileri sürülmüştür [9]. Asparajinin tek başına termal olarak akrilamid oluşturabildiği de rapor edilmiş olmakla birlikte, asparajinin akrilamide dönüşebilmesi için indirgen

özellikli şekerlere ihtiyaç duyduğu birçok çalışmayla kanıtlanmıştır [17]. Yapılan çalışmalarda asparajin ile indirgen şekerlerin reaksiyonu sonucu akrilamid oluşumu reaksiyonunda en etkin şekerin fruktoz olduğu bulunmuştur [9, 43]. Aminoasitler ve şekerlerin model sistemleri üzerine yapılan araştırmalar, akrilamidin, asparajin veya  $\beta$ -alanin, aspartik asit gibi doğrudan ya da dolaylı olarak sistein ve serin gibi akrilik asit üretebilen aminoasitlerden üretilebileceğini göstermiştir. Serin ve sistein gibi bazı aminoasitlerin, akrilik asit haline dönüştürülebilir ve amonyakla reaksiyona girdiğinde akrilamid oluşturabilen pirüvik asit ürettiği bulunmuştur [45]. B-alanin, serin ve sistein ikinci akrilamid oluşumu için önerilen mekanizmalar Şekil 7'de görülmektedir [42].

Pişirme süresi ve sıcaklığı ile akrilamid oluşumu arasında doğrusal bir ilişki olmakla birlikte aynı gıda tiplerinin farklı ürünleri veya aynı ürünlerin farklı tarihlerde üretilmiş olanları arasında bile akrilamid içeriği bakımından farklılıklar görülmektedir [17, 27]. Gıdanın özellikle sahip olduğu asparajin ve indirgen şekerler (başlıca fruktoz ve glukoz) yönünden bileşimi, türü, saklama koşulları, dönemsel değişiklikler de akrilamid miktarı üzerine farklılıklara yol açmaktadır [17, 29].

Zhang ve ark. [60], mikrodalga ısıtma sistemlerinde ve asparajin-glukoz, asparajin-fruktoz ve asparajin-sakkaroz model sistemlerinde akrilamid oluşumunu araştırmışlardır. Asparajin-glukoz sisteminde, akrilamid içeriğinin yüksek sıcaklık kısa bir ısıtma süresi ( $>190^{\circ}\text{C}$  $<20$  dakika) ile veya düşük sıcaklık uzun bir ısıtma süresi ile ( $<180^{\circ}\text{C}$  $>30$  dakika) arttığını belirtmişlerdir. Asparajin fruktoz sisteminde, benzer bir sonuç yüksek sıcaklık kısa ısıtma süresi ( $>175^{\circ}\text{C}$   $<20$  dakika) ya da düşük sıcaklıkta uzun bir ısıtma süresi ( $<170^{\circ}\text{C}$  ile birlikte  $>25$  dakika) ile birlikte yapılmıştır. Asparajin-sakkaroz sisteminde, akrilamid miktarı ısıtma sıcaklığı ve ısıtma süresi artışına bağlı olarak artmıştır. Akrilamid'in kolayca asparajin-glukoz ve asparajin-fruktoz sistemlerinde  $180^{\circ}\text{C}$ 'de 5 dakikada oluşabileceğini ifade etmişlerdir. Amrein ve ark. [61], fırın ürünlerinde farklı işlem koşulları altında yaptıkları kavurma deneylerinde, akrilamid oluşumu üzerine sıcaklığın zamandan daha etkili olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 7. β-Alanin, serin ve sistein ile akrilamid oluşumu için önerilen mekanizmalar

### FARKLI GIDALARDAKİ AKRİLAMİD MİKTARLARI

Akrilamid karbonhidratça zengin gıdaların kızartılması, kavrulması ve fırınlanması sırasında yüksek miktarlarda oluşurken; haşlanmaları sırasında oluşmamaktadır [13]. Çiğ ve ısı işlem uygulanmamış gıdalarda akrilamid oluşumu görülmemiştir [14].

Akrilamidin en fazla bulunduğu gıdalar; patates cipsi (50-3700 µg/kg), patates kızartması (<10-2300 µg/kg), mısır cipsi (100-935 µg/kg), bisküvi, kraker ve tost edilmiş gevrek unlu mamuller (<10-3000 µg/kg), ekme ve benzeri unlu mamuller (<10-430 µg/kg), kahvaltılık tahıllar (<10-1000 µg/kg) ve kahvedir (30-1000 µg/kg) [10]. Bu gıdaların dışında; kavrulmuş badem (260 µg/kg), kuşkonmaz (143 µg/kg), ayçiçeği çekirdeği (66 µg/kg), soya fasulyesi (25 µg/kg), fındık ve fındık ezmesi (64-457 µg/kg), kaplamalı yer fıstığı (140 µg/kg) (10), bebek ve küçük çocuklar için üretilen kekler (633 µg/kg) ve tahıl içerikli ürünlerin (131 µg/kg) de akrilamid içerdiği bildirilmektedir [38]. Günlük tüketilen gıdalarda (kavurulmuş çerezler, ekme ve fırıncılık mamulleri, cipsler, kahve, bisküvi, kraker, çikolata, bebek mamaları, patates kızartması, tatlılar, pekmez, ızgara, kebab, döner) akrilamid seviyeleri saptanmıştır. Pirinç pilavı, helva, ızgara, döner gibi gıdalarda (4 µg/kg) düşük seviyede, patates kızartmasında ise yüksek seviyede (3600 µg/kg) akrilamid saptandığı bildirilmiştir [11, 62]. Farklı gıdaların akrilamid içerikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Dünyada yaygın olarak tüketilen gıdaların çoğunluğunun akrilamid düzeyleri belirlenmiş olup, geleneksel gıdaların akrilamid içerikleri konusunda da yayımlanmış bazı çalışmalar mevcuttur. Ancak, ülkemizde geleneksel ürünlerimizin akrilamid içerikleri konusunda sınırlı sayıda araştırma yapılmıştır [10, 63, 64]. Güven [65] İzmir piyasasından temin ettiği Kumru ve Boyoz örneklerinin ortama akrilamid düzeyini sırasıyla 35.11 µg/kg ve 42.48 µg/kg olarak bulmuştur. Başka bir çalışmada ise Alpözen ve Üren [66] İzmir gevreği örneklerinin ortalama akrilamid düzeyini 68.63 µg/kg olarak bulmuşlardır. Diğer geleneksel ürünlerle yapılan

çalışmalarda; farklı sıcaklık ve sürelerde pişirilen dört farklı kurabiye çeşidinde akrilamid seviyeleri 8.5 ng/g ile 335.7 ng/g arasında bulunmuştur ([67]. Farklı kökenlerden gelen kavrulmuş öğütülmüş kahvelerde akrilamid düzeyleri ortalama olarak 19 ng/g tespit edilmiştir [68]. 145, 160 ve 175°C'de konveksiyon ve buhar destekli fırınlarda pişirilen Muffinlerde, 145°C'de 40 dakikalık pişirme süresinde akrilamid oluşumunun tespit limitlerinin altında, maksimum akrilamid konsantrasyonunun ise 160°C'de 50 dakika ve 175°C'de 40 dakika pişirme ile 100 ppb olduğu görülmüştür [69].

Akrilamidin tahıl ve tahıl ürünleri ile patates gibi karbonhidrat bakımından zengin gıdalarda yağda kızartma, fırında pişirme veya kavurma gibi nem miktarının düşük ancak sıcaklığın yüksek olduğu ısı işlemler sırasında oluştuğu dikkate alındığında, kavru olarak üretilen badem ve nohut vb. kuruyemişlerde de akrilamid oluşumu kaçınılmaz görünmektedir. Kavrulmuş gıdaların akrilamid içerikleri üzerine ülkemizde birkaç çalışma yayımlanmıştır. Çalışmalar genellikle patates kızartması üzerine yapılmıştır [10].

Uzmanlar gıdalardaki akrilamid düzeylerinin gıdanın çeşidi ve üretim şekillerine bağlı olarak farklılık gösterebileceğini bildirmişlerdir. [71-73]. Amrein ve ark. [74], Avrupa bademlerinde ABD badem çeşitlerine göre kavurma sırasında önemli ölçüde daha az akrilamid oluştuğunu ifade etmişlerdir. Oda sıcaklığında depolama süresince kavurulmuş bademde akrilamidin azaldığı bildirilmiştir [8]. Lukac ve ark. [71] akrilamid oluşumunun çekirdek sıcaklığı 130°C aşıldığı zaman başladığını ve akrilamid içeriğinin kavurma rengindeki artan koyulukla arttığını ifade etmişlerdir. Daha yüksek bir başlangıç nem içeriğine sahip bademlerin pişirildikten sonra daha az akrilamid içerdiğini belirtmişlerdir. Yates [75] akrilamid içeriğini kavurulmuş tuzlu bademlerde 236 µg/kg, tütülenmiş bademlerde 457 µg/kg, kavurulmuş tuzsuz fıstıkta 28 µg/kg ve McDonalds patates kızartmalarında (7 ABD eyaleti) 155-497 µg/kg olarak rapor etmiştir.

Tablo 2. Farklı gıdaların akrilamid içerikleri ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) [5, 39, 59, 64, 70]

Gıda/Ürünler	Ortalama	Minimum-Maksimum	Örnek Sayısı
Patates cipsi	1312	170-2287	38
Patates kızartması	537	<50-3500	39
Haşlanmış Patates	<30	-	-
Mısır cipsi	218	34-416	7
Patlamış mısır	500	365-715	3
Mısır Gevreği	122	35-478	7
Hamur ürünleri	36	<30-42	2
Fırınlanmış ürünler	112	<50-450	19
Makarna	<30	-	-
Bisküvi	198	<10-648	16
Bebe Bisküvisi	152	32-613	24
Diyabetik bisküvi	270	10-1695	125
Büsküvi/Kurabiye	300	<30-640	11
Tatlı Bisküvi	443	<68-1150	15
Tuzlu Bisküvi	179	13-224	2
Çocuk Bisküvisi	106	5-432	130
Ekmeđ	38	<10-85	22
Tost Ekmeđi	164	41-474	5
Kraker	247	26-587	18
Kahvaltılık tahıllar	298	<30-1346	29
Sütlü ekmeđ	50	<30-162	41
Pide	<10	<10-16	6
Pođaç	120	<10-441	4
Balık ve deniz ürünleri	35	30-39	4
Kümes hayvanları	52	39-64	2
Adana kebab	127	49-250	4
Kuşbaşı	57	52-63	3
Et döner	65	-	3
Çözünür (instant) malt içecekleri	50	<50-70	3
Çikolata tozu	75	<50-100	2
Kakao	<10	-	3
Kahve tozu	200	170-230	3
Çikolata	75	37-100	5
Kavrulmuş Badem	260	207-313	2
Kavrulmuş Fındık	128	<10-421	5
Kavrulmuş Fıstık	66	<10-120	5
Kavrulmuş Leblebi	12	<10-33	4
Fındık ezmesi	53	<10-141	4
Fıstık ezmesi	54	45-63	2
Peksimet	300	<30-1900	5
Pekmez	95	<10-297	4
Tulumba	241	<10-701	5
Kadayıf	<10	<10-23	4
Kemalpaşa tatlısı	512	445-578	2
Tahin	69	<10-145	5
Helva	93	<10-229	7
Çilek reçeli	<10	-	1
Bira	<30	<30	1
Pilav	<10	-	4
Türk kahvesi	266	200-336	4
Kavrulmuş Kahve	221	79-975	3
Zeytin(siyah, salamura)	82	<10-216	8
Kurutulmuş kırmızıbiber	<10	-	1
Havuç suyu	70	1-140	2
Pizza	-	-	10
Tahıl-bazlı (yemeye hazır)	13.4	10.8 -15.7	10
İnstant tahıl-bazlı	34.7	19.2 - 59.9	10
Şeker çubukları	53.5	39.0 - 61.2	10
Kekler	28.9	13.3 - 49.5	10
Toz bebek gıdaları	36	<24.88-174	7

Ölmez ve ark. [64], Türk pazarından temin ettikleri gıdalarda akrilamid seviyelerini araştırmışlardır. İşlenmiş gıdalara ek olarak, özellikle, geleneksel Türk tatlıları, akrilamid içeriği için analiz edilmiştir. Toplam 311 örnek

GC-MS yöntemi ile analiz edilmiştir. İşlenmiş gıdaların akrilamid içeriğinin farklı besin grupları arasında, markalar arasında ve aynı markalar içinde bile büyük bir farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir.



## SONUÇ

120°C ve üzerindeki sıcaklıklarda işlenen gıdalarda maillard tepkimesi sonucunda kanserojenik bir madde olan akrilamid oluşabilmektedir. Akrilamid oluşumu ile ilgili yurt dışında pek çok çalışma yapılmıştır. Ülkemizde ise yüksek sıcaklıklarda ısıtım işlemi uygulanan gıdalarda (kızartılan, kavruan, pişirilen vs.) akrilamid araştırmaları yok denecek kadar az düzeydedir. Var olan çalışmalar ise daha çok akrilamidin yüksek miktarda oluştuğu patates kızartması üzerine yoğunlaşmıştır. Yüksek sıcaklıklarda üretilen veya tüketilen gıdalarla ilgili Akrilamid oluşum koşulları ve miktarları üzerinde çalışmaların yapılmasının önemli olduğu gereği ortadadır. Yapılacak olan çalışmaların hem sağlık açısından hem de üretim kalitesinin standardının oluşturulması açısından önemli olacaktır. Ülkemizde yüksek sıcaklık uygulanarak üretilen, örneğin kuru yemişler gibi pek çok ürünün üretim koşulları akrilamid içeriği de dikkate alınarak ortaya konmamıştır. Akrilamid gibi sağlık açısından riskli bileşenlerin oluşumunu önlenmesi üzerine yapılacak olan çalışmalar (ısıtım işleminin standardize edilmesi ve akrilamid önleyici yöntemler) hem sağlık açısından yüksek sıcaklık uygulanarak üretilen veya tüketilen gıdaları daha güvenilir hale getirecek ve hem de üretim yöntemlerinin de belli bir standart kazanmasını sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Pinelo, M., Rubilar, M., Sinero, J., Nunez, M.J. (2004). Extraction of antioxidant phenolics from almond hulls (*Prunus amygdalus*) and pine sawdust (*Pinus pinaster*). *Food Chemistry*, 85(2), 267-273.
- [2] Özhan, N.B. (2008). Depolama Süresince Keçiboynuzu Pekmezinde Enzimatik Olmayan Esmerleşme Reaksiyonlarının Kinetiği. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- [3] Burdurlu, H.S., Karadeniz, F. (2002). Gıdalarda Maillard reaksiyonu. *Gıda*, 27(2), 77-83.
- [4] Özcan, N., Ölmez, H. (2009). Akrilamid Analizi İçin Standart Metodların Geliştirilmesi. Tubitak Proje No: 104O212, Ankara.
- [5] Michalak, J., Gujska, E., Kunciewicz, A. (2013). RP-HPLC-DAD studies on acrylamide in cereal-based baby foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 32(1), 68-73.
- [6] Friedman, M. (2005). Biological Effects of Maillard Browning Products That May Affect Acrylamide Safety in Food, Biological Effects of Maillard Products", (eds: M. Friedman and D. Mottram). *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*. California: Springer, 135-156.
- [7] Mesías, M., Holgado, F., Márquez-Ruiz, G., Morales, F.J. (2017). Impact of the characteristics of fresh potatoes available in-retail on exposure to acrylamide: Case study for French fries. *Food Control*, 73, 1407-1414.
- [8] Eriksson, S. (2005). Acrylamide in food products: Identification, formation and analytical methodology. Ph.D Thesis. Institutionen för Miljökemi Stockholms Universitet, Stockholm, Sweden.
- [9] Aktaş, R.K. (2008). Peksimet Ekmeklerinde HPLC-MS Yöntemi ile Akrilamid Tayini. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
- [10] Sayaslan, A., Kaya, C., Yıldız, M., Oğuz, A. (2008). Kavruarak Üretilen Mısır, Buğday ve Nohut Çerezlerinin Akrilamid İçeriklerinin Belirlenmesi. T.C. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu, Tokat.
- [11] Karagöz, A. (2009). Akrilamid ve gıdalarda bulunuşu. *TAF Prev Med Bull*, 8(2), 187-192.
- [12] Hu, Q., Xu, X., Fu, Y., Li, Y. (2015). Rapid methods for detecting acrylamide in thermally processed foods: A review. *Food Control*, 56, 135-146.
- [13] Karakul, D. (2006). Patateslerde Ön Islatma İşleminin Kızartılmış Üründe Akrilamid Oluşumuna Etkisi Üzerinde Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- [14] Taşan, M. (2008). Tahıl kaynaklı ürünlere akrilamid varlığı. *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, 21-23 Mayıs, Erzurum.
- [15] Alpözen, E., Güven, G. (2010). Gıdalarımızdaki kanserojen: Akrilamid. *Analiz* 35, 2(5), 10-13.
- [16] Gölükcü, M., Tokgöz, H. (2005). Gıdalarda akrilamid oluşum mekanizması ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, Derim, 41-48.
- [17] Can, N.Ö. (2007). Akrilamidin Gıda Maddelerinde Oluşumuna Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi ve Miktarlarının Tayini. Doktora Tezi. Anadolu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Analitik Kimya Anabilim Dalı, Eskişehir.
- [18] Tuta, S. (2009). Dondurulmuş Patates Dilimlerine Uygulanan Mikroalga ile Ön-Çözdürme İşleminin Parmak Patatesin Akrilamid İçeriği ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.
- [19] Özkaynak, E. (2006). Çeşitli Pişirme Tekniklerinin Sigara Böreğindeki Akrilamid Oluşumu Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- [20] Küçük, Z. (2009). Farklı Tahıllardan Üretilen Malt Unlarının akrilamid Düzeylerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Çanakkale.
- [21] Lasekan, O., Kassim, A. (2011). Investigation of the roasting conditions with minimal acrylamide generation in tropical almond (*Terminalia catappa*) nuts by response surface methodology. *Food Chemistry*, 125(2), 713-718.
- [22] Tornqvist, M. (2005). Acrylamide in Food: The Discovery and its Implications (eds: M. Friedman and D. Mottram). *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*, California: Springer.
- [23] Motarjemi, Y., Stadler, R.H., Studer, A., Damiano, V. (2009). Application of The HACCP Approach For The Management of Processing Contaminants, (ed: R.H. Stadler and D.R. Lineback), *Process-Induced Food Toxicants, Occurrence, Formation, Mitigation, and Health Risks*, New Jersey: 565-620.

- [24] Petersen, B.J., Tran, N. (2005). Exposure to Acrylamide, (eds: M. Friedman and D. Mottram). *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*, California: Springer.
- [25] Boyacı, C.P., Cengiz, M.F. (2012). Gıdalarda akrilamid risk değerlendirme çalışmaları. *Gıda*, 37(5), 287-294.
- [26] Tamer, C.E., Karaman, B. (2006). Gıdalarda akrilamid oluşumu ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Gıda*, 31(4), 195-199.
- [27] Mills, C., Mottram, D.S., Wedzicha, B.L. (2009). *Acrylamide. Process-Induced Food Toxicants, Occurrence, Formation, Mitigation, and Health Risks*, John Wiley & Sons, Inc. p:23-50, Canada.
- [28] Sansano, M., Castelló, M.L., Heredia, A., Andrés, A. (2017). Acrylamide formation and quality properties of chitosan based batter formulations. *Food Hydrocolloids*, 66, 1-7.
- [29] Palazoğlu, K., Gökmen, V. (2009). Mikrodalgalı Çözdürme Önisi ile Kızartma Sırasında Parmak Patateslerde Oluşan Akrilamid Miktarının Azaltılması, TÜBİTAK Proje No: 1080003 Mersin.
- [30] Gökmen, V., Acar, J., Akbudak, B., Turan, Z.M. (2006). Kontrollü Atmosferde Depolama Ve Işınlama Uygulamalarının Patateslerde Akrilamid Oluşum Riski Üzerine Etkileri, TÜBİTAK Proje No: TOVAG 3248, Ankara.
- [31] Cheng, J., Chen, X., Zhao, S., Zhang, Y. (2015). Antioxidant-capacity-based models for the prediction of acrylamide reduction by flavonoids. *Food Chemistry*, 168, 90-99.
- [32] Naous, G.E.Z., Merhi, A., Abboud, M.I., Mroueh, M., Taleb, R.I. (2018). Carcinogenic and neurotoxic risks of acrylamide consumed through caffeinated beverages among the Lebanese population. *Chemosphere*, 208, 352-357.
- [33] Tareke, E.; Rydberg, P.; Karisson, P.; Eriksson, S.; Tömqvist, M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuff. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17), 4998-5006.
- [34] Mesias, M., Delgado-Andrade, C., Holgado, F., Morales, F.J. (2018). Acrylamide content in French fries prepared in households: A pilot study in Spanish homes. *Food Chemistry*, 260, 44-52.
- [35] Pérez-Navado, F., Cabrera-Bañegil, M., Repilado, E., Martillanes, S., Martín-Vertedor, D. (2018). Effect of different baking treatments on the acrylamide formation and phenolic compounds in Californian-style black olives. *Food Control*, 94, 22-29.
- [36] Doğan, İ.S., Meral, R. (2006). Gıdalarda akrilamid ve önemi. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs, Bolu.
- [37] Hsu, H.T., Chen, M.J., Tseng, T.P., Cheng, L.H., Huang, L.J., Yeh, T.S. (2016). Kinetics for the distribution of acrylamide in french fries, fried oil and vapour during frying of potatoes. *Food Chemistry*, 211, 669-678.
- [38] Burdurlu, H.S., Karadeniz, F. (2006). Gıdalarda akrilamid oluşumu ve önemi. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs, Bolu.
- [39] Cengiz, M. F., Gündüz, C.P.B. (2013). Acrylamide exposure among Turkish toddlers from selected cereal-based baby food samples. *Food and Chemical Toxicology*, 60, 514-519.
- [40] Köksel, H. (2009). Malt Üretiminde Akrilamid Oluşumunun Sınırlandırılması, TÜBİTAK Proje No: TOVAG 108 O 185, Ankara.
- [41] Anonim. (2002). Health Implications of Acrylamide in Food. Food Safety Consultations, Report of a Joint FAO/WHO Consultation WHO Headquarter, Geneva, Switzerland.
- [42] Blank, I., Robert, F., Goldmann, T., Pollien, P., Varga, N., Devaud, S., Saucy, F., Huynh-Ba T., Stadler, R.H. (2005). Mechanisms of Acrylamide Formation, Maillard induced transformation of asparagine, (eds: M. Friedman and D. Mottram), *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*, California: Springer, pp. 171-190.
- [43] Gökmen, V., Şenyuva, H.Z. (2008). Acrylamide in Heated Foods, (eds: J. Gilbert and H.Z. Şenyuva), *Bioactive Compounds in Foods*, Oxford: Blackwell Publishing, 254-29.
- [44] 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.
- [45] Daniali, G., Jinap, S., Sanny, M., Tan, C.P. (2018). Effect of amino acids and frequency of reuse frying oils at different temperature on acrylamide formation in palm olein and soy bean oils via modeling system. *Food Chemistry*, 245, 1-6.
- [46] Amrein, T.M. (2005). Systematic Studies on Process Optimization to Minimize Acrylamide Content in Food. Ph.D. Thesis, *Swiss Federal Institute of Technology*, Zurich.
- [47] Gökmen, V. (2010). Gıdalarda Akrilamid. II", *Gıda Güvenliği Kongresi*, İstanbul, 9-10 Aralık, İstanbul.
- [48] Amrein, T.M., Bachmann, S., Noti, A., Biedennann, M., Barbosa, M.F., Biedermann-Brem, S., Grob, K., Keiser, A., Realini, P., Escher, F., Amado, R. (2003). Potential of acrylamide formation, sugars, and free asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(18), 5556-5560.
- [49] Mottram, D.S., Wedzicha, B.L., Dodson, A.T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction, *Nature*, 341, 448-449.
- [50] Zyzak, D.V., Sanders, R.A., Stojanovic, M., Tallmadge, D.H., Eberhart, B.L., Ewald, D.K., Gruber, D.C., Morsch, T.R., Strothers, M.A., Rizzi, G.P., Villagran, M.D. (2003). Acrylamide formation mechanism in heated foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16), 4782-4787.
- [51] Stadler, R.H., 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(17), 5550-5558.
- [52] Mottram, D.S., Low, M.Y., Elmore, J.S. (2006). The Maillard reaction and its role in the formation of acrylamide and other potentially hazardous compounds in foods, (K. Skog and J. Alexander). *Acrylamide and Other Hazardous Compounds in Heat-Treated Foods*, Boca Raton: CRC, 3-19.
- [53] Yaylayan, V., Wnorowski, A., Locas, C. (2003). Why asparagine needs carbohydrates to generate

- acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(6), 1753-1757.
- [54] Wedzicha, B.L., Mottram, D.S., Elmore, J.S., Koutsidis, G., Dodson, A.T. (2005). Kinetic Models as a Route to Control Acrylamide Formation in Food, (M. Friedman and D. Mottram), *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*, California: Springer, 235-254.
- [55] Capuano, E., Oliviero, T., Açar, Ö., Gökmen, V., Fogliano, V. (2010). Lipid oxidation promotes acrylamide formation in fat-rich model systems. *Food Research International*, 43(4), 1021-1026.
- [56] Salazar, R., Arámbula-Villa, G., Vázquez-Landaverde, P.A., Hidalgo, F.J., Zamora, R. (2012). Mitigating effect of amaranth (*Amarantus hypochondriacus*) protein on acrylamide formation in foods. *Food Chemistry*, 135(4), 2293-2298.
- [57] Friedman, M., Levin, C.E. (2008). Review of methods for the reduction of dietary content and toxicity of acrylamid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15), 6113-6140.
- [58] 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.
- [59] Süvari, M. (2015). Farklı kavurma sıcaklıklarının bazı kuruyemişlerde akrilamid oluşumuna etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- [60] Zhang, Y., Fang, H., Zhang, Y. (2008). Study on formation of acrylamide in asparagine-sugar microwave heating systems using UPLC-MS/MS analytical method. *Food Chemistry*, 108(2), 542-550.
- [61] Amrein, T. M., Andres, L., Schönbachler, B., Conde-Petit, B., Escher, F., Amado, R. (2005). Acrylamide in almond products. *European Food Research and Technology*, 221, 14-18.
- [62] Shibamoto, T. (2009). *Acrolein*, (ed: R.H. Stadler and D.R. Lineback), Process-Induced Food Toxicants, Occurrence, Formation, Mitigation, and Health Risks, New Jersey: 51-74.
- [63] Şenyuva H.Z., Gökmen V. (2007). Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction, *Food Chemistry*, 103(1), 196-203.
- [64] 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.
- [65] Güven, G. (2010). Kumru ve Boyozda Akrilamid Düzeylerinin Belirlenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- [66] Alpözen, E., Üren, A. (2013). Determination of acrylamide levels of "İzmir gevregi" and effects of cooking parameters on acrylamide formation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(30), 7212-7218.
- [67] Gökmen, V., Açar, Ö.Ç., Arribas-Lorenzo, G., Morales, F.J. (2008). Investigating the correlation between acrylamide content and browning ratio of model cookies. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 380-385.
- [68] Şenyuva, H.Z., Gökmen, V. (2005). Study of acrylamide in coffee using an improved liquid chromatography mass spectrometry method: Investigation of colour changes and acrylamide formation in coffee during roasting. *Food Additives and Contaminants*, 22(3), 214-220.
- [69] Sakin-Yilmazer, M., Kemerli, T., Isleroglu, H., Ozdestan, O., Guven, G., Uren, A., Kaymak-Ertekin, F. (2013). Baking kinetics of muffins in convection and steam assisted hybrid ovens (baking kinetics of muffin). *Journal of Food Engineering*, 119(3), 483-489.
- [70] Arusoğlu, G. (2015). Akrilamid oluşumu ve insan sağlığına etkileri. *Akademik Gıda*, 13(1), 61-71.
- [71] Thomas, M.A., Luca, A., Barbara, S., Beatrice, C.P., Felix, E., Renato, A. (2005). Acrylamide in almond products, *European Food Research and Technology*, 221(1-2), 14-18.
- [72] Lukac, H., Amrein, T.M., Perren, R., Conde-Petit, B., Amado, R., Escher, F. (2007). Influence of roasting conditions on the acrylamide content and the color of roasted almonds, *Journal of Food Science*, 72(1), 33-38.
- [73] Lasekan, O., Kassim, A. (2010). Analysis of volatile flavour compounds and acrylamide in roasted Malaysian tropical almond (*Terminalia catappa*) nuts using supercritical fluid extraction, *Food and Chemical Toxicology*, 48(8), 2212-2216.
- [74] Amrein, T.M., Lukac, H., Andres, L., Perren, R., Escher, F., Amadò, R. (2005b). Acrylamide in roasted almonds and hazelnuts, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7819-25.
- [75] Yates, L. (2012). Roasted or raw? "Nuts Conference", Australian Almond Conference.