



ACIBADEM MEHMET ALİ AYDINLAR ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI PİŞİRME YÖNTEMLERİ İLE ELDE EDİLEN  
PATATES KIZARTMALARINDA AKRİLAMİD OLUŞUMUNA  
TAŞKÖPRÜ SARIMSAĞININ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

SİMGE SİPAHİ  
DOKTORA TEZİ

BESLENME VE DİYETETİK ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN

Doç. Dr. Duygu Sağlam

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Murat Baş

İSTANBUL-2024





ACIBADEM MEHMET ALİ AYDINLAR ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI PİŞİRME YÖNTEMLERİ İLE ELDE EDİLEN  
PATATES KIZARTMALARINDA AKRİLAMİD OLUŞUMUNA  
TAŞKÖPRÜ SARIMSAĞININ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

SİMGE SİPAHİ  
DOKTORA TEZİ

BESLENME VE DİYETETİK ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN  
Doç. Dr. Duygu Sağlam

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI  
Prof. Dr. Murat Baş

İSTANBUL-2024

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

15.11.2024

Simge Sipahi

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Eğitim ve akademik hayatımda olduğu gibi, tezimin her aşamasında da anlayışla ve güler yüzle gönülden rehberlik eden değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Duygu Sağlam'a, lisans eğitimimden bu yana desteğini benden hiç esirgemeyen, önderliğinde akademik yolculuğumu sürdürmekten onur duyduğum saygıdeğer hocam, Sayın Prof. Dr. Murat Baş'a, değerli perspektifi ile çalışmanın kurgulanması ve gerçekleştirilmesindeki tüm destekleri için Sayın Prof. Dr. Özge Can'a, tüm çalışma sürecimde her türlü kıymetli katkıyı canı gönülden sunan, önemli destekleriyle çalışmanın iyileştirilmesinde ve yürütülmesindeki desteği ve yol göstericiliği için Sayın Doç. Dr. Timur Hakan Barak'a çok teşekkür ederim.

Birlikte çalıştığımız tez süreçlerimizde karşılaştığımız iyi ve kötü tüm basamaklarda içtenlikle sağladığı tüm destekleri için değerli mesai arkadaşım Arş. Gör. Alp Erol'a, yardıma ihtiyacım olan her anımda anlayışla yanımda olarak beni güçlendiren tüm mesai arkadaşlarım ve hocalarıma sevgi ve saygılarımı sunarım.

Tüm yaşamım boyunca, her denememde ve başarmamda yanımda olan, en büyük güç kaynağım, gülen yüzüm ve şansım olan annem Sema Sipahi'ye, anıları ve özlemiyle her zaman kalbimde bana güç vermeye devam edecek, olduğum kişiyi şekillendirmemde en büyük paya sahip babam Mustafa Sipahi'ye sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Karşılaştığım tüm basamaklarda bana olan inancımı bir an olsun eksik etmeyen, her zaman güç ve ilham veren Erdem Uygur'a ve tüm yakınlarıma en içten duygularıyla teşekkür ederim.

“TDK-2023-94” proje kodu ile tez projemi destekleyen ve tüm hususlarda bana yardımcı olan Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığına teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
KISALTMA VE SİMGELER LİSTESİ .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	1
ABSTRACT .....	2
1 GİRİŞ VE AMAÇ.....	3
2 GENEL BİLGİLER .....	5
2.1 Akrilamidin Tanımı ve Gıdalarda Oluşumu.....	5
2.2 Akrilamidin Diyetle Maruziyet Düzeyi.....	8
2.3 Akrilamidin Vücuttaki Metabolizması .....	9
2.4 Akrilamid ve Sağlık Üzerindeki Etkileri .....	10
2.4.1 Genotoksisite ve kanserojenlik.....	11
2.4.2 Nörotoksisite .....	13
2.4.3 Hepatotoksisite.....	14
2.4.4 Kardiyovasküler toksisite .....	15
2.4.5 Üreme ve gelişimsel toksisite .....	15
2.5 Gıdalarda Akrilamid Analiz Yöntemleri .....	17
2.6 Akrilamid İçeren Gıdalar .....	17
2.6.1 Patates kızartması .....	20
2.7 Gıdalarda Akrilamid Maruziyetini Azaltma Stratejileri.....	24
2.7.1 Sarımsak.....	26
3 GEREÇ VE YÖNTEM .....	28
3.1 Araştırmanın Amacı ve Hipotezi.....	28
3.2 Çalışma Materyalleri ve Kimyasalların Temini .....	28
3.3 Kullanılan Alet ve Cihazlar .....	29
3.4 Yöntem.....	29
3.4.1 Sarımsak ekstraktının hazırlanması.....	30
3.4.2 Sarımsak ekstraktında total fenolik bileşik tayini (TPC).....	31
3.4.3 HPTLC ile sarımsak ekstraktında klorojenik asidin belirlenmesi .....	32
3.4.4 Sarımsak ekstraktının antioksidan aktivitesinin değerlendirilmesi.....	32
3.4.5 Kızartma deneyleri.....	33

3.4.6	Akrilamidin ekstraksiyonu .....	35
3.4.7	Akrilamidin HPLC ile analizi .....	36
3.4.8	İstatiksel analiz .....	36
4	BULGULAR .....	37
4.1	Sarımsak Ekstraktlarının Total Fenolik Bileşik Tayini.....	37
4.2	Sarımsak Ekstraktlarının Antioksidan Aktivitesinin Tayini .....	37
4.3	Klorojenik Asit Bileşiminin HPTLC Analizi .....	37
4.4	Akrilamid Tayini .....	40
4.4.1	Farklı pişirme yöntemlerinde akrilamid oluşumu .....	41
4.4.2	Sarımsak müdahalesinde akrilamid oluşumu .....	43
5	TARTIŞMA.....	44
5.1	Sarımsak Ekstraktlarının Total Fenolik Bileşikleri .....	44
5.2	Sarımsak Numunelerinin Antioksidan Aktiviteleri.....	44
5.3	Sarımsak Numunelerinin Klorojenik Asit İçerikleri .....	45
5.4	Akrilamid Miktarı .....	46
5.4.1	Kızartma yönteminin akrilamid oluşumu üzerindeki etkisi .....	46
5.4.2	Sarımsak müdahalesinin akrilamid oluşumu üzerindeki etkisi.....	48
6	SONUÇ .....	54
7	KAYNAKLAR.....	56
8	ÖZGEÇMİŞ .....	66

## KISALTMA VE SİMGELER LİSTESİ

<b>AA</b>	Akrilamid
<b>3-APA</b>	3-Aminopropionamid
<b>AUC</b>	Eğri Altındaki Alan
<b>BHT</b>	Butil Hidroksi Toluen
<b>BHTE</b>	Butil Hidroksi Tolüen Eşdeğeri
<b>DADS</b>	Dialil Disülfid
<b>DAS</b>	Dialil Sülfid
<b>DATS</b>	Dialil Trisülfid
<b>DE</b>	Kuru Ekstrakt
<b>DPPH</b>	2,2-Difenil-1-Pikrilhidrazil
<b>EFSA</b>	Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
<b>FCR</b>	Folin-Ciocalteu
<b>GA</b>	Glisidamid
<b>GAE</b>	Gallik Asit Eşdeğeri
<b>GC-MS</b>	Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometrisi
<b>GST</b>	Glutasyon-S-transferaz
<b>5-HMF</b>	5-Hidroksimetilfurfural
<b>HMF</b>	Hidroksimetilfurfural
<b>HPLC</b>	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
<b>HPTLC</b>	Yüksek Performanslı İnce Tabaka Kromatografisi
<b>IARC</b>	Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı
<b>IUPAC</b>	Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği
<b>JECFA</b>	Gıda Katkı Maddeleri Ortak Uzmanlar Komitesi
<b>kg</b>	Kilogram
<b>°C</b>	Santigrat Derece
<b>LC-MS</b>	Sıvı Kromatografisi-Kütle Spektrometrisi
<b>µg</b>	Mikrogram
<b>mL</b>	Mililitre
<b>NOAEL</b>	Hiçbir Olumsuz Etkinin Görülmediği Düzey
<b>SD</b>	Standart Sapma

**SNFA**  
**TPC**

İsveç Ulusal Gıda Ajansı  
Total Fenolik Bileşik



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Maillard reaksiyonu yolağı ile akrilamid oluşumu .....	6
Şekil 2. Akrolein aracılı akrilamid oluşum yolağı .....	7
Şekil 3. Akrilamid ile ilişkilendirilen toksik etkiler .....	11
Şekil 4. Derin yağda kızartma işleminde gerçekleşen değişiklikler .....	22
Şekil 5. Air-fryer pişirme aletinin çalışma prensibi ve önemli bölmeleri.....	24
Şekil 6. Çalışma planı .....	30
Şekil 7. Sarımsak ekstraktının hazırlanması .....	31
Şekil 8. Patates kızartmalarının ön hazırlık, kızartma ve gruplandırma basamakları	35
Şekil 9. Sarımsak ekstraktı ve klorojenik asit standardının plak üzerindeki görselleştirmesi .....	38
Şekil 10. Klorojenik asit ve aynı Rf değerine sahip bantların 200-450 nm aralığındaki UV spektrumları.....	39
Şekil 11. Standart örneğin HPTLC kromatogramı (Ölçüm: 366 nm).....	39
Şekil 12. Sarımsak ekstraktının HPTLC kromatogramı (Ölçüm: 366 nm).....	40
Şekil 13. Akrilamidin çalışma grafiğı ve doğru denklemi .....	40
Şekil 14. Akrilamid standardının HPLC kromatogramı (Ölçüm: 202 nm).....	41
Şekil 15. Örnek numunenin HPLC kromatogramı (Ölçüm: 202 nm).....	41
Şekil 16. Müdahale grubu ve kontrol grubu patates kızartmalarının görsel temsili ..	43

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Bazı gıda gruplarındaki akrilamid içerikleri.....	18
Tablo 2. Sarımsak örneklerinde total fenolik bileşik içeriği.....	37
Tablo 3. Sarımsak örneklerinde DPPH radikal süpürme aktivitesi.....	37
Tablo 4. Sarımsak örneklerinde klorojenik asit miktarının HPTLC ile tayini.....	38
Tablo 5. Farklı pişirme yöntemlerinde elde edilen patates kızartmalarında oluşan akrilamid miktarları.....	42



## ÖZET

### Farklı Pişirme Yöntemleri ile Elde Edilen Patates Kızartmalarında Akrilamid Oluşumuna Taşköprü Sarımsağının Etkilerinin Araştırılması

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi, kızarmış patates ürünlerini akrilamidin en büyük diyet kaynağı olarak tanımlamaktadır. Sarımsak tozunun akrilamid oluşumunu azaltabileceği öne sürülmüş olsa da, sarımsak ekstraktının etkisine yönelik literatürde veri bulunmamaktadır. Bu çalışmada sarımsak ekstraktı maruziyetinin, yaygın hanehalkı pişirme teknikleri olan tavada kızartma, air-fryer'da kızartma ve fırında kızartma işlemleriyle elde edilen patates kızartmalarındaki akrilamid oluşumuna etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Araştırmanın birinci aşamasında, sarımsağın antioksidan profili, toplam fenolik içeriği ve klorojenik asit içeriği analiz edilmiştir. Ardından sarımsak ekstraktını takiben, tavada kızartma, air-fryer'da kızartma ve fırında kızartma yöntemleri kullanılarak patates kızartmaları elde edilmiştir. Son ürünlerde oluşan akrilamid miktarı HPLC ile analiz edilerek, aynı tekniklerle elde edilen ancak sarımsak ekstraktı maruziyeti olmayan kontrol gruplarıyla karşılaştırılmıştır. Sarımsak müdahalesi olan air-fryer'da kızartılmış patateslerde ( $311,95 \pm 0,5 \mu\text{g/kg}$  akrilamid) ve fırında kızartılmış patateslerde ( $270,32 \pm 23,4 \mu\text{g/kg}$  akrilamid), kontrol gruplarıyla kıyaslandığında daha yüksek miktarda akrilamid oluşumu belirlenmiştir ( $p < 0,005$ ). Diğer yöntemlere kıyasla daha az miktarda akrilamid oluşumu gözlemlenen air-fryer'ın ( $p < 0.01$ ) daha sağlıklı bir kızartma alternatifi olabileceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen bulgular, pişirme teknikleri arasında anlamlı farklılıklar olsa da, sarımsak ekstraktının patates kızartmalarında akrilamid gelişimini artırabileceğini göstermiştir. Sarımsak ekstraktının akrilamid oluşumuna katkıda bulunabileceğini destekleyen sonuçlar, antioksidanlar ve akrilamid oluşumu arasındaki çelişkili ilişkiyi destekler niteliktedir. Bu çalışma, evdeki uygulamalarda farklı akrilamid oluşum seviyelerine dair yeni bakış açıları sunmaktadır. Ev ortamlarında sarımsak kullanımı ile akrilamid oluşumu arasındaki etkileşimin tam olarak anlaşılabilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

**Anahtar Sözcükler:** Akrilamid, Antioksidan, HPLC, Patates kızartması, Sarımsak

## ABSTRACT

### **Investigation of the Effects of Taşköprü Garlic on Acrylamide Formation in French Fries Obtained by Different Cooking Methods**

The European Food Safety Authority identifies fried potato products as the largest dietary source of acrylamide. Although it has been suggested that garlic powder may reduce acrylamide formation, there is no literature data on the effect of garlic extract. This study aimed to investigate the effect of garlic extract exposure on acrylamide formation in French fries obtained by common household cooking techniques such as pan-frying, air-frying and oven-frying. Initially, the antioxidant profile, total phenolic content and chlorogenic acid content of garlic were analyzed. Afterward, French fries were obtained by pan-frying, air-frying and oven-frying following garlic extract. The amount of acrylamide formed in the final products was analyzed by HPLC and compared with control groups obtained by the same techniques but not exposed to garlic extract. Higher amounts of acrylamide formation were determined in air-fryer fried ( $311,95 \pm 0,5 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) and oven-fried potatoes ( $270,32 \pm 23,4 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) treated with garlic compared to the control groups ( $p < 0,005$ ). Air-fryer, which was observed to form less acrylamide compared to other methods ( $p < 0,01$ ), may offer a healthier frying alternative. The findings showed that garlic extract may increase acrylamide formation in French fries, although there were significant differences between cooking techniques. The results supporting that garlic extract may contribute to acrylamide formation support the contradictory relationship between antioxidants and acrylamide formation. This study provides new perspectives on different levels of acrylamide formation in household practices. Further research is needed to fully understand the interaction between garlic use and acrylamide formation in home environments.

**Keywords:** Acrylamide, French fries, Garlic, Antioxidant, HPLC

# 1 GİRİŞ VE AMAÇ

Binlerce yıldır, mikrobiyolojik güvenlik, besin kalitesi, renk, doku ve tat gibi arzu edilen duyuşal özellikleri sağlamak amacıyla insanlar yiyeceklerini sıcaklığı kullanarak pişirmektedirler. Ancak artı özelliklerinin yanı sıra, değişen gıda işleme yöntemlerinde çeşitli istenmeyen kimyasalların da oluştuğu gözlenmektedir. Gıdaların ısıtılmasıyla oluşan “ısı ile oluşan toksik maddeler” yani ısııl işlem kontaminantlarından biri akrilamidir (AA) (1).

Yüksek sıcaklıkta pişirme, kızartma gibi işlemler esnasında oluşmuş olan akrilamidin gıdalarda keşfi 2002 yılının Nisan ayında İsveç Ulusal Gıda Ajansı (SNFA) tarafından yapılmıştır. Bu keşfi takiben, özellikle patates ve tahıl ürünleri gibi nişastalı gıdalarda olmak üzere, yüksek sıcaklıkla müdahale edilen pek çok gıdada akrilamidin varlığı saptanmıştır (1). Gıdalarda varlığının saptanmasından önce ana maruziyetinin toprak iyileştirmede, atık su arıtımında, kozmetikte, kağıt ve tekstil ürünlerinde kullanılan poliakrilamidde endüstriyel bir malzeme olarak kullanılması nedeniyle mesleki maruziyet olduğu düşünülürken, ikincil maruziyet kaynağını da sigara oluşturmaktaydı. Sigara başına 1.1-2.3 µg içeriğiyle tütün kullanımı sonucu maruziyet, önemli bir maruziyet yolunu oluşturmaktadır (2).

Akrilamid, Gıda Katkı Maddeleri Ortak Uzmanlar Komitesi (JECFA), tarafından nörotoksik, genotoksik, kanserojen ve üremede potansiyel olarak toksik kabul edilmektedir (3,4). Isıl işlem gören ürünlerin yaklaşık %40'ında bulunduğu düşünölen akrilamidin önemli bir maruziyet yolu beslenmedir (5). Günlük beslenme ve özellikle hane uygulamaları, akrilamide maruziyette çok önemli bir yere sahiptir (6). Günlük beslenme dikkate alındığında, hem Türk toplumunda hem de Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından, en yüksek akrilamid miktarına sahip ve sağlık riski oluşturabilecek başlıca kaynağın patates kızartması olduğu belirtilmektedir (3,7). Yüksek miktarda akrilamid içeriyor olmasına karşın, patates kızartması dünya genelinde yaygınlıkla tüketilmeye devam edilmektedir; ancak geleneksel yöntemler olan derin yağda kızartma ve tavada kızartma yöntemlerine alternatif olarak fırında

kızartma, air-fryer'da kızartma gibi alternatifler günden güne popülerleşmektedir (8,9).

Sağlık üzerindeki etkileri sonucu alımının azaltılmasını amaçlayan, akrilamid oluşumunu azaltmayı amaçlayan pek çok yaklaşım bulunmaktadır (10). Bu yaklaşımlardan son yıllarda en ön plana çıkan, antioksidan ilavesidir (11). Antioksidanların akrilamid oluşumunu azaltmada etkili olabileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur; dolayısıyla bitkilerde doğal olarak bulunan antioksidanların kullanılmasının gıdalardaki akrilamid oluşumunun azaltılmasında bir çözüm imkanı oluşturabileceği düşünülmektedir (11–14). Ancak antioksidanların akrilamid oluşumu ve gıdalardaki akrilamid miktarı üzerindeki etki mekanizması yeterince aydınlatılmamıştır. Bu amaçla incelenebilecek antioksidan bitkilerden biri de sarımsaktır.

Bu çalışmanın amacı, diyetle birincil akrilamid kaynağı gösterilen patates kızartmalarında akrilamid maruziyetinde geri planda bırakılan hane mutfak uygulamalarında en önde gelen teknikler (tavada kızartma, fırında kızartma ve air-fryer'da kızartma) kullanılarak hem işbu teknikler arası farklılıkları gözlemlemek, hem de özellikle öne çıkan bir antioksidan olan sarımsağın, domestik uygulamalarda uygulanabilirliği kolay bir yöntem olarak sulu ekstraktına maruz bırakılmasının patates kızartmalarında akrilamid (AA) oluşumu üzerindeki etkisini araştırmaktır.

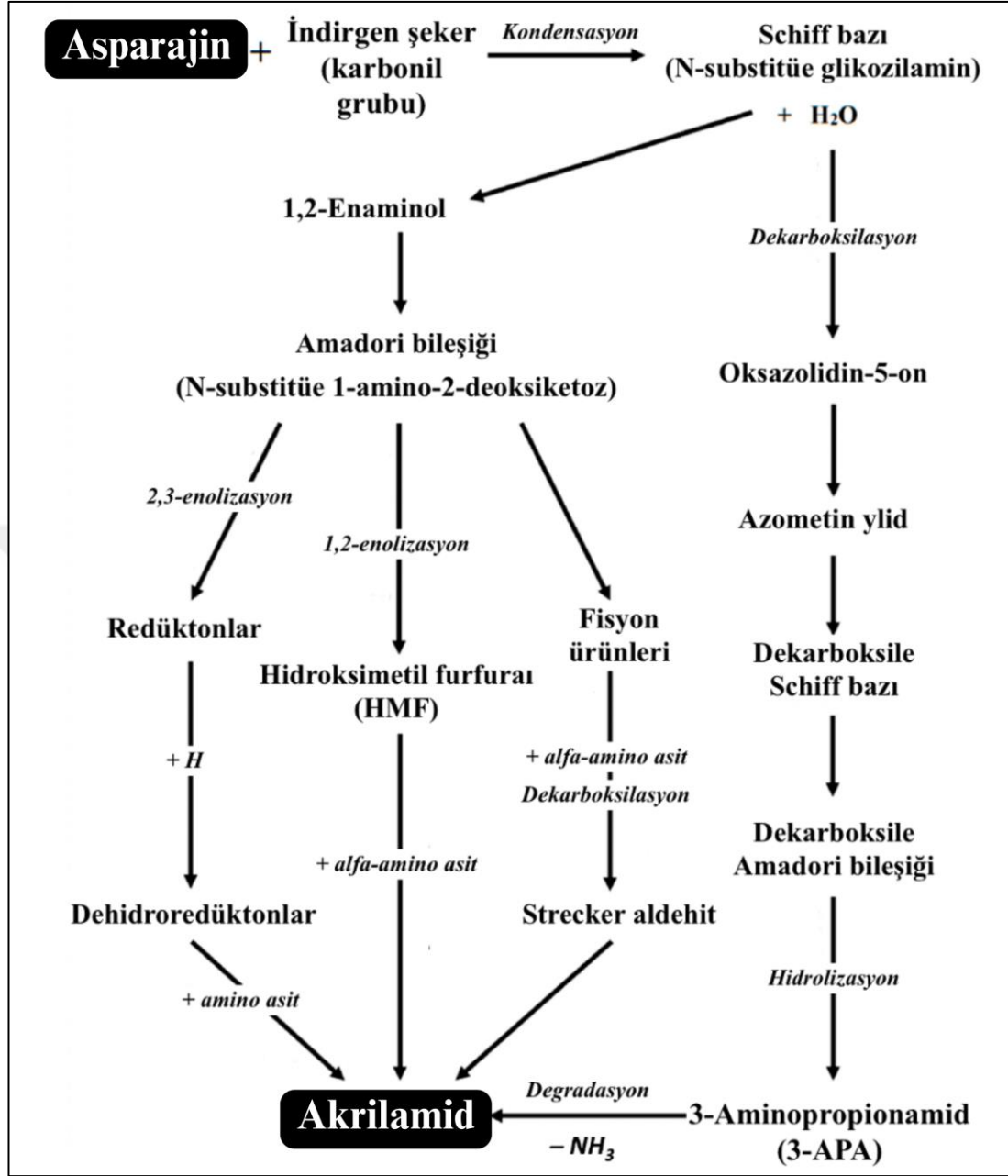
## 2 GENEL BİLGİLER

### 2.1 Akrilamidin Tanımı ve Gıdalarda Oluşumu

Akrilamid ( $C_3H_5NO$ ) (Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) adlandırmasıyla 2-propenamide), 71.08 kDa'lık düşük moleküler ağırlığa sahip, renksiz, kokusuz, kristale benzer bir yapıya sahip bir bileşiktir (2). Akrlamidin ilk keşfi Maillard reaksiyonunun bir ürünü olarak dikkat çekmesi sonucu gerçekleşmiştir (15). Tamamen aydınlatılmamış olan akrilamid oluşum yollarından en çok üzerinde durulan iki hipotez Maillard reaksiyonu ve Akrolein yolağıdır. Fransız kimyager Louis Camille Maillard tarafından 1912 yılında tanımlanan Maillard reaksiyonu, fırınlanma veya kızartma gibi kuru ısıyla müdahale edilmiş gıdalarda kahverengileşme, kabuk oluşumu ve ayırt edici lezzetli tat oluşumu sonuç çıktılarını içeren, enzimatik olmayan reaksiyonlar dizisidir. Maillard reaksiyonunun bir parçası olarak serbest asparajin ve glukoz ve fruktoz başta olmak üzere indirgen şekerlerden akrilamid eldesi gıdalardaki akrilamid oluşumunun ana yolağı kabul edilmektedir (16).

İlk evrede: asparajin reaktif karbonil grupları kullanarak yoğunlaşarak Schiff bazlarını oluştururlar. Bu kararsız Schiff bazları, asidik pH'ta Amadori yeniden düzenlenmesine girerek Amadori bileşiği oluştururlar. Takiben, Amadori bileşiği enolizasyona uğrayarak redükthanlar ve deoksizonlar oluştur ve nihayetinde yiyeceğe kahverengi renk ve aroma veren melanoidin bileşiklerine dönüşür. Dikarbonilli bileşikler, Strecker aldehidi üretmek için dekarboksilasyona uğrar ve bu süreç, yiyeceklerde akrilamid oluşumunu destekler; bu mekanizma "Strecker bozulması (degradasyonu)" olarak bilinmektedir. Başka bir yol ise Schiff bazı'nun Azometin ylidine dekarboksilasyon sürecini içerir. Dekarboksile olmuş ürün, hidrolizasyona uğrayarak 3-Aminopropionamid oluşturur ve bu da daha sonra bozularak akrilamid meydana getirir (17).

Akrilamidin Maillard reaksiyonu yolağı ile oluşum süreci Şekil 1'de gösterilmektedir.

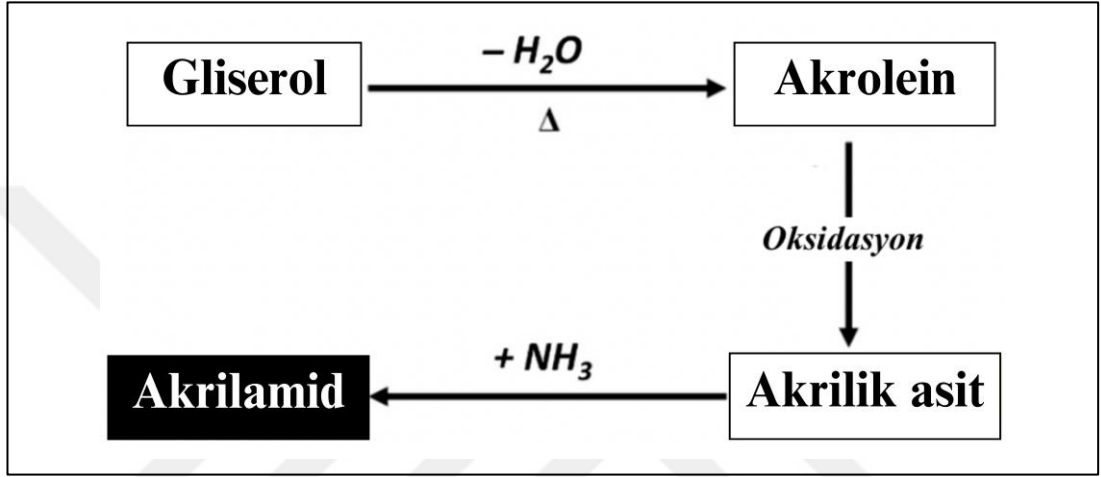


Şekil 1. Maillard reaksiyonu yoluyla akrilamid oluşumu

Akrilamid oluşumuna neden olmasının yanında, Maillard reaksiyonunun bazı ürünleri *in vitro* ve hayvan çalışmalarında antioksidan özellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Batı tarzı beslenmeye sahip bir bireyin günde 1-10 gram Maillard reaksiyonu ürünü tükettiği tahmin edilmektedir (18).

Akrilamid eldesinde kabul edilmiş bir diğer yolak ise yağların dumanlanma noktasının üzerinde sıcaklıklarda ısıtılması sonucu oluşan akrolein öncülünün

yolağıdır. Kimyasal adıyla 2-propenal olarak bilinen kanserojen akrolein, yüksek sıcaklıklarda gliserolün degradasyonu sonucu ortaya çıkmaktadır ve okside olarak akrilik asidi oluşturmakta iken, amino grup kaynağı olarak kullanılan asparajinin varlığında, akrilik asidin amonyak ile reaksiyona girmesi sonucunda akrilamid oluşmaktadır (16,19). Akrolein aracılığı ile akrilamid oluşum mekanizması Şekil 2’de özetlenmektedir.



Şekil 2. Akrolein aracılı akrilamid oluşum yolağı

Genellikle yağlar veya özellikle doymamış yağlar oldukça yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında ve hoş olmayan bir duman yaymaya başladığında, gliserol dehidrasyona uğrar, bu da akrolein ve dolayısıyla akrilamid oluşumuna yol açar. Akrilamid sadece karbonhidratlardan Maillard reaksiyonu yoluyla oluşmakla kalmaz, aynı zamanda akrolein yolu üzerinden lipitler gibi diğer makromoleküllerden, pirüvik asit yolu aracılığıyla serin ve sistein gibi proteinojenik amino asitlerden ve akrilamid üretebilen aspartik asit, beta-alanin ve karnosin gibi maddelerden de oluşabilmektedir (17,20). Ayrıca, Lee ve diğerleri tarafından bildirildiği üzere, et ürünlerinde de akrolein yolu aracılığıyla, yüksek sıcaklıklara maruz kalındığında, lipidlerin bozunması sonucu akrolein üretimi ve bu akroleinin oksidasyonu ile akrilamid içeriğinin oluştuğu tespit edilmiştir (17,21).

Akrilamid oluşumuna yol açan sayılmış yolaklar arasında ana yolak olarak Maillard reaksiyonu kabul edilmektedir. Maillard reaksiyonu, reaksiyon süresi ve

sıcaklığı (120°C' nin üstündeki kızartma, fırınlama vb), gıdanın kompozisyonu, pH, su aktivitesi, öncüllerin (amino asit ve indirgen şekerin) türü ve konsantrasyonu, metallerin varlığı gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir (16).

## 2.2 Akrlamidin Diyetle Maruziyet Düzeyi

Gıdalardaki akrilamid risklerini tahmin etmede önemli bir nokta maruz kalma düzeyinin değerlendirilmesidir (bir kirlenici maddeye maruz kalmanın büyüklüğü ve sıklığının yanı sıra maruz kalan popülasyonun özelliklerini de tahmin etme veya ölçme süreci); bu değerlendirme, dolaylı olarak risk yönetimi tedbirlerine (örn. Maruziyeti azaltma stratejileri) yönelik bilgi sağlamaktadır. Bu tahminler, sağlık temelli kılavuz değerleri ile kıyaslanabilmekte veya kılavuz değeri saptamak için kullanılmaktadır (6). Maruziyet tahminleri özellikle sık tüketilen ancak az miktarda akrilamid içeren ürünler ile daha nadir tüketilmesine rağmen yüksek miktarda akrilamid içeren ürünlerin kıyaslanmasında ve en çok maruz kalan örneklerin belirlenerek maruziyetin azaltılmasına yönelik alınacak aksiyonların etkinliğini arttırmak için yol planı çizilmesinde yardımcı olmaktadır.

Bireylerin diyetle AA alım düzeyleri kullandıkları tarifler, porsiyon ölçüleri ve tüketim sıklıkları gibi alt faktörlere bağlı olarak beslenme alışkanlıklarıyla ilişkilidir (22). Bu düzeyler, zaman içinde toplumlar arasında değişebilmektedir. 2006'da yayınlanan ve 17 ülkeyi (Avustralya, Belçika, Kanada, Çin, Hong Kong, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Fransa, Almanya, Hollanda, Yeni Zelanda, Norveç, İsveç, İsviçre, Birleşik Arap Emirlikleri, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri) kapsayan Gıda Katkı Maddeleri Ortak Uzmanlar Komitesi (JECFA) raporunda, tahmini AA alımı ortalamalarının 0,3 µg/kg vücut ağırlığı/gün (Çin, Hong Kong) ile 2,0 µg/kg vücut ağırlığı/gün (Birleşik Arap Emirlikleri'nde 12 yaşından küçük çocuklar) arasında değiştiği hesaplanmıştır (4). Çocuklardaki alım değerlerinin yetişkinlerin iki ila üç katına çıkabildiği gözlenmiştir (3).

JECFA, toplum geneli için diyetle akrilamid maruziyet tahmini için 1 µg/kg vücut ağırlığı değerini paylaşırken, daha yüksek tüketim düzeyindeki bireyler için 4 µg/kg

vücut ağırlığı değeri belirtilmektedir (3,4). Türk toplumunun akrilamid alım düzeyini tahmin amacıyla yürütülen bir çalışmada bireylerin vücut ağırlığına göre diyet akrilamid maruziyet düzeylerinin akrilamid kaynaklarını az tüketen ve her gün günlük olarak tüketen gruplar için sırasıyla 0,85 ve 2,81 µg/kg vücut ağırlığı/gün olduğu saptanmıştır (7).

### 2.3 Akrilamidin Vücuttaki Metabolizması

Son dönemde ilgileri daha fazla üstüne toplayan bir alan, akrilamid maruziyeti ve etkilerinin araştırılmasında üzerinde durulması gereken önemli bir nokta olan akrilamid ve öncüllerinin sindirim kanalındaki akıbetidir. Tüketilen yiyecek, ağızda başlayıp, mide ve bağırsaklarda devam eden sindirim sürecinin her basamağında, tüketilen yiyecek değişen pH düzeyleri ve enzim aktivitelerine bağlı olarak yapısal ve kimyasal değişikliklere uğramaktadır. Akrilamidin ve öncüllerinin sindirim sürecinde aldıkları etkiler *in vitro* çalışmalarda halen aydınlatılmaya devam etmektedir. Oral alımı takiben akrilamid, türe ve gıda matrisine bağımlı oranda olacak şekilde, gastrointestinal kanaldan emilmektedir. Miller ve diğerleri, Fisher-344 sıçanlarına gavaj yoluyla 10 mg/kg vücut ağırlığı olacak şekilde akrilamid uyguladıktan sonra akrilamidin yaklaşık %90'ının dokulardan, vücut sıvılarından, idrardan ve dışkıdan geri kazanıldığını gözlemlemişlerdir (23). Akrilamidin insan metabolizmasındaki postabsorptif akıbeti, kalitatif açıdan, sıçanlardakine benzerlik taşımaktadır (1).

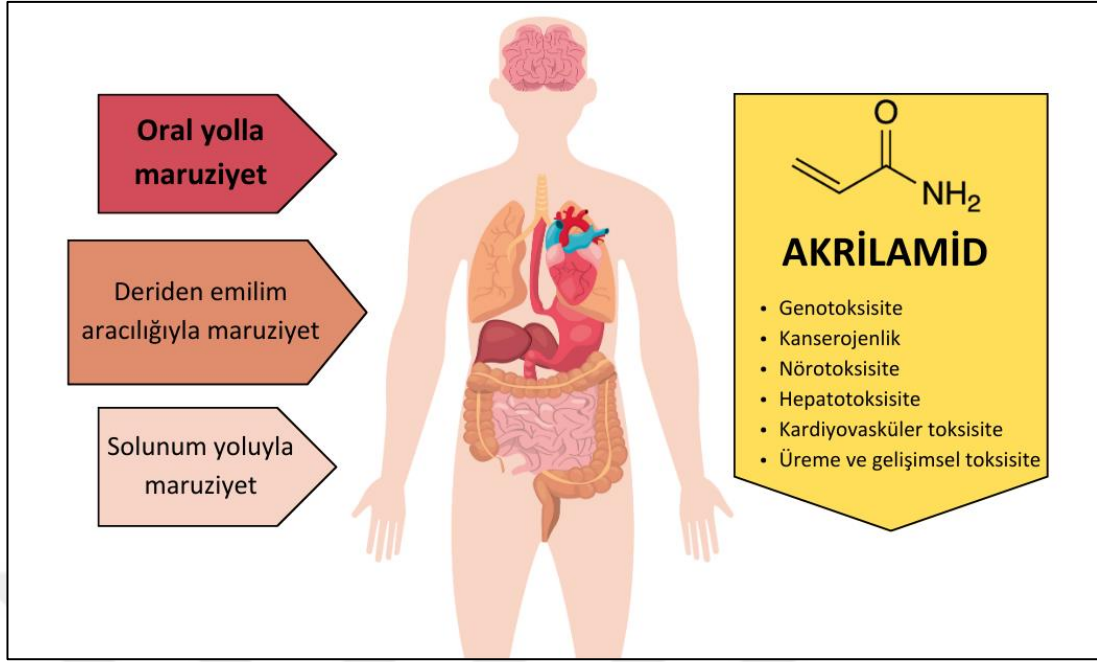
Akrilamidin sindirim kanalındaki varlığı bölgesel olmak üzere nicel olarak da değişikliğe uğramaktadır. Patates kızartması ve cips örneklerinden elde edilen akrilamid konsantrasyonunun miktarının gastrik fazın sonunda ciddi oranda arttığı gözlenmiştir. Bu etkiyle ilişkili olarak gastrik pH'ın Maillard reaksiyonu ara ürünlerinin akrilamide dönüşümünü kolaylaştırıcı etkisi üzerinde durulmaktadır, ancak bu dönüşüm gıda matrisi ve ilişkili olarak gastrik sindirim süresi ile de ilişkilendirilmektedir. Gastrik sindirimde artan akrilamid miktarı, duodenal fazın sonunda, farklı gıda örneklerinde değişen düzeylerde olmak üzere, ciddi oranda azalmaktadır. Bu azalmanın ise gıda proteinlerinin hidrolizi sonucu oluşan peptitler ve amino asitlerin akrilamidle olan interaksiyonundan ileri geldiği düşünülmektedir.

Özellikle diğer amino asitlere kıyasla daha yüksek oranda nükleofilik sülfhidril grubuna sahip sisteinin ve sistein içeren glutatyonun özellikle etkili olduğu yönünde bulgular mevcuttur (24).

Sindirimi takiben akrilamid, glutatyon-S-transferaz (GST) tarafından N-asetil-S-(3-amino-3-oksopropil) sistein'e konjügasyonu veya sitokrom P450 enzim kompleksi tarafından glisidamide (GA) katalizi olmak üzere iki ayrı yolu izleyebilmektedir (1). Organizmada temel olarak takip edilen yolak, sitokrom P450 2E1enzimi aracılığıyla, reaktif epoksit metabolit glisidamid oluşturan katabolik yolaktır. Hem akrilamid hem de glisidamid genotoksik etki gösterirken, yalnızca akrilamide kıyasla daha reaktif olan glisidamid *in vivo* ortamda protein ve DNA katımları oluşturur (25,26). Ana detoksifikasyon yolu olarak, akrilamid ve glisidamid glutatyon ile konjüge olarak merkaptürik asit türevleri olarak idrarla atılır (23). AA ve glisidamiden elde edilen merkaptürik asitler başlıca metabolitleri temsil etmekte olup, bunların idrarla atılım düzeyleri AA maruziyetinin biyobelirteçlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ek olarak, AA ve glisidamid DNA ve hemoglobindeki amino asitler ile addükt oluşturabilmektedir; bu istenmeyen eklentiler de AA maruziyetinin önemli bir biyobelirtecidir. AA'nın bir gıda kontaminantı olarak önemi, 2002 yılında gerçekleştirilen bir araştırmada sıçanların kızarmış yemle beslenmesinin hemoglobine bağlanma seviyesinde büyük bir artış gösterdiğinin gözlemlenmesiyle ortaya çıkmıştır (1).

#### **2.4 Akrilamid ve Sağlık Üzerindeki Etkileri**

JECFA, akrilamidi nörotoksik, genotoksik, kanserojen ve üremede potansiyel olarak toksik kabul etmektedir. Bu etkilerine ek olarak hepatotoksisite ve kardiyovasküler toksisite de akrilamidle ilgili araştırılan etkiler arasında yer almaktadır. Akrilamidin bu etkileri Şekil 3'te özetlenmektedir. JECFA'nın akrilamid için belirlediği (sıçan örneklerin sinir hücrelerinde elektron mikroskopuyla saptanan kanserojen olmayan morfolojik değişimlerin gözlemlendiği) hiçbir olumsuz etkinin görülmediği düzey (NOAEL) değeri 200 µg/kg vücut ağırlığı/gün'dür (4).



Şekil 3. Akrlamid ile ilişkilendirilen toksik etkiler

#### 2.4.1 Genotoksisite ve kanserojenlik

1994 yılında, International Agency for Research on Cancer IARC, kemirgenlerde pozitif biyolojik deney sonuçlarına ve GA'nın genotoksik etkisine dayalı diğer kanıtlara dayanarak AA'yı insanlar için Grup 2A olası kanserojen olarak sınıflandırmıştır (27). Ancak akrilamidin kanserojen profilinin altındaki mekanizmalar tam olarak aydınlatılmamıştır. Deneysel çalışmalarda özellikle akrilamidin ana metaboliti olan genotoksik glisidamidin DNA ve proteinlere olan yüksek reaktivite özelliği üzerinde durulmaktadır (28). Yapılan bir araştırmada, 19 kanser türüne karşılık gelen yaklaşık 1600 insan tümör genomunun üçte birinde glisidamid ile ilişkili bir mutasyon imzası bulunmuştur (29).

Akrilamid maruziyetini takiben DNA ve hemoglobin ile kovalent katımların oluşumu, kemirgenlerin somatik hücrelerinde kromozomal sapmaların indüklenmesi, *in vitro* kültür ve germ hücrelerinde kromatik mutasyonlar ve kromozomal anormallikler ve fare hücre hatlarında hücre transformasyonlarının indüklenmesi kanserojen etkiyi göstermektedir (30). Küçük ve hidrofilik yapısı nedeniyle akrilamid, vücutta dokular arasında pasif difüzyonla kolayca yayılmaktadır. Bu nedenle

karsinogenez açısından tüm dokular risk altındadır (2). Kemirgenler üzerinde yapılan önemli laboratuvar deneyleri, AA'nın kanserojen olduğunu, akciğerlerde, ciltte, beyinde, meme bezinde, tiroid bezinde ve uterusu tümörlere neden olduğunu göstermiştir (27). *In vitro* ve hayvan çalışmalarında kanserojen etkisi gösterilmesine rağmen, yüksek miktarda akrilamid maruziyetinin çeşitli kanser çeşitlerinin insidansı ile ilişkisine yönelik tutarsız sonuçlar bulunmaktadır (28).

Akrilamid, elektrofilik yapısı sayesinde nükleik asitlerdeki nükleofilik hedeflerle etkileşime girebilmektedir. DNA ile yavaş bir şekilde reaksiyona girerek yalnızca uzamış reaksiyon sürelerinde etkileşime giren akrilamidin aksine, daha yüksek elektrofil profil sergileyen glisidamid daha reaktif davranmaktadır. Bu nedenle AA'in hayvan deneklerdeki ve memeli hücrelerinde genotoksik etkilerinin olduğu ana yolağın glisidamidin metabolik oluşumu olduğu öne sürülmektedir. Akrilamidin özellikle oluşturduğu reaktif oksijen türleri ile hücresel bileşenlere saldırdığı ve oksidatif DNA hasarını indüklediği gösterilmiştir. Oluşan oksidatif stres DNA'nın çift sarmalında kırılmaya neden olarak DNA hasarına yol açmaktadır (3,28). Glisidamidin neden olduğu DNA hasarı AA'in indüklediği karsinogeneze yol açan kritik başlatıcı etki kabul edilse de, glisidamiden türetilen DNA katımlarının seviyesi, organ özgüllüğü açısından tümörlerin lokalizasyonunu ve insidansını tahmin etmekte yetersiz kalmaktadır. Hormonal yollar gibi akrilamidin genotoksik olmayan etki biçimleri, akrilamid kaynaklı genotoksiteden bağımsız olarak hücre dönüşümünü veya çoğalmasını ve apoptozu yönlendiren kanserojen etkinin altında yatan mekanizmalar olarak da önerilmektedir (28).

Akrilamid maruziyeti ve insan örneklerdeki kanser gelişimi ilişkisini inceleyen bir sistematik derlemenin kapsamında çalışmaların çoğunluğunda, diyet akrilamid alımı ile çeşitli kanser çeşitleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmadığı, ancak birkaç çalışmada böbrek, endometriyal ve yumurtalık kanserleri için artmış risk bildirildiği belirtilmektedir. Fakat bu kanser çeşitleri için maruziyet değerlendirmesinin yetersiz olması ve bunun da potansiyel olarak yanlış sınıflandırmaya veya maruziyetin hafife alınmasına yol açabileceğine yönelik uyarı paylaşılmaktadır (31). Yakın tarihte gerçekleştirilen bir diğer meta-analizde ise diyet

akrilamid maruziyetinin jinekolojik kanser hariç kanser çeşitlerinin insidansı ile ilişkisi incelenmiştir: sonuç olarak, yüksek oranda akrilamid içeren besinlere maruz kalmanın, bölgeye özgü kanser riskinin artmasıyla ilişkili olmadığı görülmüştür (28). AA'nin neden olduğu kanser riski açısından değerlendirildiğinde özellikle mesleki maruziyetin en büyük etken olduğu belirtilmektedir (27).

#### 2.4.2 Nörotoksisite

Akrilamidin hayvan modellerinde ve insan çalışmalarında nörodejenerasyon ve nöropatiyi indüklediği gözlenmiştir (32). Sıçanlar ve fareler üzerinde yapılan çalışmalardan yola çıkaran, nörotoksisite için NOAEL değeri 0.2-10 mg/kg vücut ağırlığı/gün olarak bildirilmiştir (27). Akrilamidin, özellikle ciltten emilim ve periferik nöropati yoluyla insanlarda olumsuz nörotoksik etkilere neden olabileceği düşünülmektedir. Hem merkezi hem de periferik sinir sistemlerini etkileyerek, iskelet kaslarında zayıflık, periferik ve merkezi sinir sistemlerinde akson bozulması, distal ödem, kilo kaybı ve ataksi gibi genel semptomlarla kendini göstermektedir (17). Membran füzyon sürecinde önemli rolleri olan proteinlerin sistein kalıntılarındaki sülfidril gruplarına akrilamidin bağlanması sinir terminal dejenerasyonuna ve aksonal transportun inhibisyonuna neden olmaktadır (33). Beyin, çift bağlar içerdiği ve tiyollere karşı oldukça reaktif olduğu için akrilamidin etkilerine karşı özellikle hassastır ve bu da sinir hasarı nedeniyle ellerde ve ayaklarda güçsüzlük veya ağrı ile karakterize periferik nöropatiye yol açmaktadır (17). Bu durumun temel olarak serbest radikaller ve reaktif oksijen türleri tarafından indüklenen oksidatif stres, akrilamide karşı tipik bir yanıt olup, kalsiyum dishomeostazi ile birlikte akrilamid kaynaklı mitokondriyal işlev bozukluğu ile ilişkili olabilmektedir. Akrilamid kaynaklı nörotoksisitede ana sorumlular aksonal dejenerasyon, nöronal eksiklikler ve DNA-protein addüktlerinin oluşumu ile apoptoz, otofaji ve inflamasyonu içeren çoklu nöral yollar olarak belirtilmektedir (34). Çinli Tütün kullanmayan ileri yaşlı erkek popülasyonunda yürütülen epidemiyolojik çalışmada akrilamid maruziyeti orta düzey kognitif azalma ve bilişsel işlevlerde zayıflama riskinde artışla ilişkilendirilmiştir (35).

Akrilamidin nörotoksik etkilerinin, jel kromatografisi veya atık su yönetimi gibi mesleki ortamlarda yüksek maruziyet seviyelerine sahip insanlarda sıklıkla gözlemlendiği üzerinde durulmaktadır; bu nedenle birçok araştırmacı, insanların günlük beslenmesinde nispeten düşük akrilamid seviyelerine maruz kalmasının klinik nöropatiye yol açmayacağına inanırken, bazı nörotoksikologlar kümülatif nörotoksikite potansiyeli konusunda endişe duymaktadır. Birkaç çalışmada, düşük ve yüksek akrilamid dozlarında aynı nörotoksik etkilerin gözlemlenebileceği, düşük dozların yalnızca daha uzun maruziyetler gerektirdiği gösterilmiştir (33). Bu nedenle insanlarda diyet yoluyla AA maruziyetinin uzun süreli kümülatif etkilerinin araştırılmasına yönelik ihtiyaç mevcuttur.

### **2.4.3 Hepatotoksisite**

Akrilamidin ana metabolizması karaciğerde gerçekleşmektedir (36). Karaciğer reaktif oksijen türlerinin hasarına özel olarak daha duyarlı bir organdır. Reaktif oksijen türlerinin hasarına özel olarak daha duyarlı bir organ olan karaciğer bölgesindeki aşırı miktardaki reaktif oksijen türleri genellikle süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz enzimleri ve GSH gibi enzim olmayan moleküller tarafından temizlenmektedir. Ancak bu enzim ve enzim olmayan antioksidan moleküllerin sayısının ciddi oranda tükenmesi durumunda aşırı miktardaki reaktif oksijen türleri zamanla temizlenememekte ve oksidatif strese neden olmaktadır. Hayvan modellerinde yapılan çalışmalarda akrilamid maruziyetinin belirtilen antioksidan savunma sistemini anlamlı ölçüde azalttığını göstermektedir (37). Artan oksidatif strese bağlı olarak da hayvan modellerinde karaciğer hasarı gözlemlenmiştir (36). Sıçanlarda yüksek dozda akrilamid müdahalesinin (25 mg/kg) karaciğer GSH düzeylerinde ve total antioksidan düzeylerinde azalmayla sonuçlandığını, ayrıca karaciğer enzimleri, süperoksit dismutaz ve katalaz aktivitelerinde azalma ile malonaldehit düzeylerinde artışla sonuçlandığı bildirilmektedir (1). Özellikle akrilamide kıyasla glisidamidin GSH düzeyini 1,5 kat daha fazla azalttığını, böylece karaciğer toksisiteleri değerlendirildiğinde glisidamidin akrilamidden daha toksik olduğu söylenebilmektedir (38). Sıçanlarda kronik düşük doz (0,2 mg/kg vücut ağırlığı) akrilamid maruziyetinin metabolik düzeyde toksik etki oluşturmadığı ancak

karaciğerde oksidatif hasara neden olarak lipid metabolizmasını bozduğu gözlemlenmiştir (39). Akrilamidin insanlardaki hepatotoksik etkisine yönelik ise kanıt düzeyi yüksek yeterince veri bulunmamaktadır (36).

#### **2.4.4 Kardiyovasküler toksisite**

Akrilamid kanda bir ksenobiyotik olarak ilerleyerek lipid peroksidasyonu yoluyla eritrositlerde oksidatif stresi indüklemektedir. Oluşturduğu oksidatif stres tablosunun yanında, kalp fonksiyon bozukluğuna ve malformasyonuna neden olarak, kardiyomiyosit sayısını azaltmakta ve proliferasyon kapasitelerini düşürmektedir. Gözlemlenen etkiler olarak kalp hacminde azalma, ilişkili olarak bozulan fonksiyon ve morfogenezi üzerinde durulmaktadır (17,40). Sıçanlarla yürütülen bir çalışmada serum ALT ve AST düzeylerinin akrilamid alımıyla ilişkilendirilmesi üzerinden kardiyometabolik etkileri incelenmiştir; oksidatif stres belirteci olan ALT ve AST'nin akrilamid maruziyeti arttıkça artan düzeyleri, kardiyometabolik çıktılarında oksidatif stresin etkisini vurgulamaktadır. Bunun yanında artan akrilamid dozuyla paralel şekilde serum glukoz konsantrasyonunun ve trigliserit düzeyinin de arttığı bir diğer çıktıdır (41). Çin'de yetişkin bireylerden oluşan geniş bir kohort çalışmasında, üriner AA metabolitlerinin AA maruziyetini yansıtarak, artmış kardiyovasküler hastalıkla ilişkilendirilmiştir. Bu etki, artmış oksidatif stres, inflamasyon ve dönüştürücü büyüme faktörü-beta-1 (TGF- $\beta$ 1) düzeyine atfedilmiştir (42). Sıçanlarda yüksek dozda akrilamid müdahalesi (25 mg/kg) sonucunda serum total kolesterol, trigliserit ve LDL kolesterol düzeylerinin yükseldiği, HDL kolesterol düzeyinin azaldığı bildirilmektedir (36). Ancak akrilamidin kardiyovasküler hastalıklarla ilişkisi yönünde çeşitli sonuçlar bulunmakta olup, kanıt düzeyi yüksek bir sonuç bulunmamaktadır (42).

#### **2.4.5 Üreme ve gelişimsel toksisite**

AA'nın üreme ve gelişimsel toksisitesi çoğunlukla laboratuvar hayvanları üzerinde yürütülen çalışmalarda gözlemlenmiştir. Kemirgenlere ekzojen AA enjeksiyonundan sonra çiftleşmenin bozulması, doğurganlık oranlarının azalması, fetüslerin artan rezorpsiyonları, gebe dişilerde yavru sayısının azalması bildirilmiştir

(43). Bu etkiler gen tahribatıyla, sülfidril gruplarının alkilasyonu, glutatyonun indirgenmesiyle ve DNA hasarlarıyla ilişkilidir (27). Ancak, insanlar için üreme ve gelişimsel toksisitenin potansiyel etkilerine dair daha az kanıt bulunmaktadır.

Düşük moleküler ağırlığa sahip bir bileşik olması nedeniyle suda kolaylıkla çözünebilen akrilamid, insan ve hayvan örneklerinde kolaylıkla plasenta ve anne sütüne geçebilmektedir; böylelikle prenatal ve postnatal gelişimi etkileyebilmektedir (16).

Gebelik sırasında maternal akrilamid maruziyeti ile gebelik yaşına göre küçük doğum riski, doğum ağırlığı, doğum baş çevresi ve doğum uzunluğu ile değerlendirilen fetal büyüme arasındaki ilişkiyi değerlendiren bir meta-analize göre, gebelik sırasında maternal akrilamid maruziyetinde artış ile sayılan doğum sonuçları arasında bir ilişki olduğunu gösterilmiştir. Dolayısıyla gebelik sırasında maternal akrilamid maruziyetinin fetal büyüme üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmakta, gebelik süresince annenin akrilamide maruziyeti sonucu doğum sonrası ve ileriki yaşam gelişimi ve sağlığı üzerinde olumsuz etkiler gözlenebileceği göz önünde bulundurulmalıdır (44).

Akrilamidin insan spermi üzerindeki etkileri yeterince aydınlatılamamıştır. Hayvan çalışmalarında akrilamid maruziyetinin anormal sperm ve düşük sperm sayısına neden olduğu bildirilmiştir. AA'in oksidatif stres mekanizmaları yoluyla erkek üreme sisteminde toksisiteye neden olduğu düşünülmektedir. Akrilamide maruziyet sonucu testis tübüllerinin normal yapısını değiştirerek konjesyona, interstisyel ödeme, spermatogenik hücrelerin dejenerasyonuna, anormal spermatid dev hücrelerinin oluşumuna, nekroza ve apoptoza yol açmaktadır. Ayrıca malondialdehit, nitrik oksit, süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon gibi önemli biyobelirteçlerin dengesini bozmaktadır. AA'in mitokondriyal fonksiyon, antioksidan enzimler, ATP üretimi ve sperm membran bütünlüğü üzerindeki olumsuz bir etkisi sonucunda sperm kalitesi düşmektedir. Ayrıca testosteron biyosentezi ile ilişkili steroidojenik genlerin ekspresyonuna müdahale etmektedir (45,46).

## 2.5 Gıdalarda Akrilamid Analiz Yöntemleri

Diyetle alımın önemli bir maruziyet yolağını oluşturması ve insan sağlığına önemli bir tehdit riski yaratabilmesi nedeniyle gıdalardaki varlığının ve miktarının saptanması önemli bir rol taşımaktadır. Gıda ürünlerinde akrilamid saptanması için kullanılan pek çok çeşitli yöntem bulunmaktadır. Bugüne kadar, akrilamidin analizini ele alan gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) ve sıvı kromatografisi-kütle spektrometrisi (LC-MS), biyosensörler ve mikroçip elektroforezi gibi çeşitli analitik yöntemler denenmiştir. Ancak duyarlı ve hassas olmalarına rağmen alternatif uygulamalara da yönelinmekte olup, yüksek hassasiyet ve seçiciliği, türevleştirmeye ihtiyaç duyulmaması, doğruluk, daha düşük maliyeti ile yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ve diyot dizisi dedektörlü HPLC-DAD analitik laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (3,47,48). HPLC ayrımı genellikle ters faz kolonları ile veya iyon değişim kromatografisi ile gerçekleştirilen HPLC ayrımında tanımlama ve miktar tayini öncelikli olarak MS/MS modunda gerçekleşmektedir. Son dönemlerde ultra performanslı sıvı kromatografisi (UPLC) kullanımı da giderek daha popüler hale gelmiştir (3).

## 2.6 Akrilamid İçeren Gıdalar

Akrilamid, ısıl işlem gören ürünlerin yaklaşık %40'unda bulunmaktadır. Bu yaygın mevcudiyet de, tüketim miktarı ve gıdadaki içeriğine göre değişiklikler olsa dahi, beslenmenin önemli bir maruziyet yolu olduğunu vurgulamaktadır (5). Avrupa Komisyonu 2007 yılında Avrupa Birliği üye ülkelerinin yüksek düzeyde akrilamid içeriğine sahip gıda maddelerini ve diyet akrilamid maruziyetini izlemeleri gerektiği yönünde önerilerde bulunmuştur. Literatür incelendiğinde, patates kızartması, patates cipsi, ekmek, bisküvi, kahvaltılık gevrekler, bebek maması ve kahve ürünlerinin tüketimiyle ilişkili hem akrilamid düzeyleri hem de oluşturdukları maruziyet hakkında birçok çalışma bulmak mümkündür (49). Çeşitli besin grupları ve içermekte oldukları akrilamid miktarları Tablo 1'de gösterilmektedir (1).

Tablo 1. Bazı gıda gruplarındaki akrilamid içerikleri

Gıda Grubu	Gıda grubundaki ürün	Minimum akrilamid, µg/kg	Maksimum akrilamid, µg/kg
Patatesler	Patates cipsi	117	3,770
	Patates kızartması	59	5,200
	Çiğ patates	<10	<50
Tahıl ürünleri	Mısır cipsi	120	220
	Fırın mamülleri ve bisküviler	18	3,324
	Zencefilli kurabiye	<20	7,834
	Ekmek	<10	130
	Tost ekmeği	25	1,430
	Kahvaltılık gevrek	11	1,057
Pilav ve erişte	Kızarmış erişte	3	581
	Kızarmış pirinç	<3	67
	Pirinç patlakları, ızgara veya kızartma	17	500
Sebze ve meyveler	Konserve siyah zeytin	123	1,925
	Kuru erik suyu	53	267
	Kızarmış sebzeler	34	34
Sert kabuklu yemişler	Sert kabuklu yemişler	28	339
Balık ve et	Balık ve deniz ürünleri, panelenmiş	<2	39
	Et ve tavuk ürünleri, panelenmiş	<10	64
Kakaolu ürünler	Çikolata ürünleri	<2	826
	Kakao tozu	<10	909
Kahve	Kavrulmuş kahve	45	975
	Kahve ikamesi	116	5,399
	Kahve özütü, tozu	195	4,948

Akrilamid maruziyetini sınırlamak amacıyla Avrupa Komisyonu özellikle yüksek miktarda maruziyet sağlayan gıdalar özelinde akrilamid referans (“benchmark”) değerleri belirlemişlerdir: ekmek 50-100 µg/kg, kahvaltılık gevrek 150-300 µg/kg, bisküvi ve gofretler 350 µg/kg, krakerler (patates bazlılar hariç) 400 µg/kg, crisp-bread 350 µg/kg, zencefilli kurabiye 800 µg/kg, kavrulmuş kahve 400 µg/kg, hazır (çözünür) kahve 850 µg/kg, kahve alternatifleri 500-4000 µg/kg, bisküvi ve kuru bisküviler (bebek ve çocuklar için) 150 µg/kg (49). Yine aynı komisyon tarafından, 2007-2012

EFSA izlem verilerine dayalı olarak 2013 yılında 1.000 µg/kg olarak belirlenen patates cipsine dair akrilamid referans sınır düzeyi, halk sağlığını korumak ve gıda sektöründeki şirketlerin uyması gereken tutarlı ve zorunlu önlemlerin olmaması nedeniyle, yine aynı komisyon tarafından 2017 yılında 750 µg/kg'a düşürmeye karar verilmiştir. İlerleyen yıllarda bu değerin daha da azaltılabileceği düşünülmektedir. Bu düzenleme, tüm gıda sektörünün akrilamid içeriğini referans değerinden daha düşük olacak şekilde olabilen en düşük düzeye indirilmesini öngörmektedir (50).

Global maruziyetine yönelik sınırlamalar getirilen gıda ürünlerinin yanında, Türk toplumunun maruziyetine yönelik bilgi edinmek amacıyla toplumun yaygınlıkla tükettiği, yöresel besinlerin de analiz edildiği çeşitli Türkiye'ye özgü gıdaların akrilamid miktarları Başaran ve Faiz tarafından araştırılmıştır. Araştırma sonucunda incelenen 20 yöresel üründen et ürünlerinde akrilamid miktarı 12,7-299 µg/kg, ekmeklerde 11,8-69,3 µg/kg, 11,8-179 µg/kg simitlerde, 11,7-85,0 µg/kg fırınlanmış tatlılarda ve 32,3-527 µg/kg derin yağda kızartılmış tatlılarda saptanmıştır. Çevresel ve diyet kontaminantlarına yetişkinlere kıyasla daha duyarlı olan bebeklerin maruziyetini incelemek amacıyla yürütülen bir çalışmada, bebek mamalarında akrilamid düzeyi <LOQ-578 µg/kg aralığında, bebek bisküvilerinde ise 12,3-1.270 µg/kg aralığında ölçülmüştür. 0-5, 6-12 ve >12 aylık çocukların tükettiği bebek mamalarındaki ortalama akrilamid düzeyi ise sırasıyla 45,1, 62,5 ve 88,6 µg/kg olarak belirlenmiştir. Bebek bisküvilerinin ortalama akrilamid düzeyi 233 µg/kg olarak bulunurken; bebek mamalarında ve bisküvilerde 1 porsiyon/ölçekteki ortalama akrilamid düzeyi sırasıyla 0,30 µg/30 mL ve 4,72 µg/20 g olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler göz önünde bulundurulduğunda hem bebek mamalarında hem de bebek bisküvilerinde Avrupa Komisyonu tarafından belirlenen gösterge değerlerde, hem de diğer çalışmalara kıyasla nispeten daha yüksek akrilamid düzeyi tespit edilmiştir (49).

Literatürde farklı ülkelerin günlük beslenme modellerinin oluşturduğu akrilamid maruziyetine yönelik çeşitli çalışmalar bulunurken, Türk toplumunun diyetle akrilamid maruziyetine yönelik çok sınırlı veri bulunmaktadır. Türk toplumunun genel akrilamid alımını saptamak amacıyla gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise toplumun akrilamid maruziyeti 2019 yılında yürütülen Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması

verilerinden ekmek, patates kızartması, demlenmiş siyah çay ve türk kahvesi verileri alınarak, tatlı, geleneksel yiyecekler, cips, simit ve kahvaltılık gevrek değerlerinin porsiyon içeriklerinin eklenmesiyle hesaplanmıştır. Türk toplumunun bu besinleri tüketmesine ilişkin iki farklı senaryo (iyi ve kötü senaryo) belirlenmiş olup, iyi senaryoda ekmek, demlenmiş siyah çay ve Türk kahvesi tüketim miktarları değiştirilmeyerek, haftada bir kez patates kızartması, tatlılar, geleneksel yiyecekler, cips, simit ve kahvaltılık tahıl tüketildiği varsayılmıştır. Kötü senaryoda ise tüm besin gruplarının her gün tüketildiği varsayılmıştır. Bireylerin vücut ağırlığına göre diyet akrilamid maruziyet düzeylerinin iyi ve kötü senaryolar için sırasıyla 0,85 ve 2,81 µg/kg vücut ağırlığı/gün olduğu saptanmıştır. İyi senaryoda en yüksek günlük akrilamid maruziyeti demlenmiş siyah çaydan (%29) kaynaklanırken, kötü senaryoda en yüksek günlük akrilamid maruziyetinin kaynağı patates kızartması (%50) olarak gözlenmiştir. Besinlerin hiçbirinin kanserojen sağlık riski oluşturacak düzeyde akrilamid içermediği bulunsada dahi, yalnızca patates kızartması için yüksek miktarda tüketen bireylerde olası bir sağlık riski oluşabileceğine değinilmiştir. Özellikle günlük tüketime denk düşen kötü senaryoda önemli düzeyde nörotoksik ve kanserojen risk taşıdığı belirlenmiştir (7).

### **2.6.1 Patates kızartması**

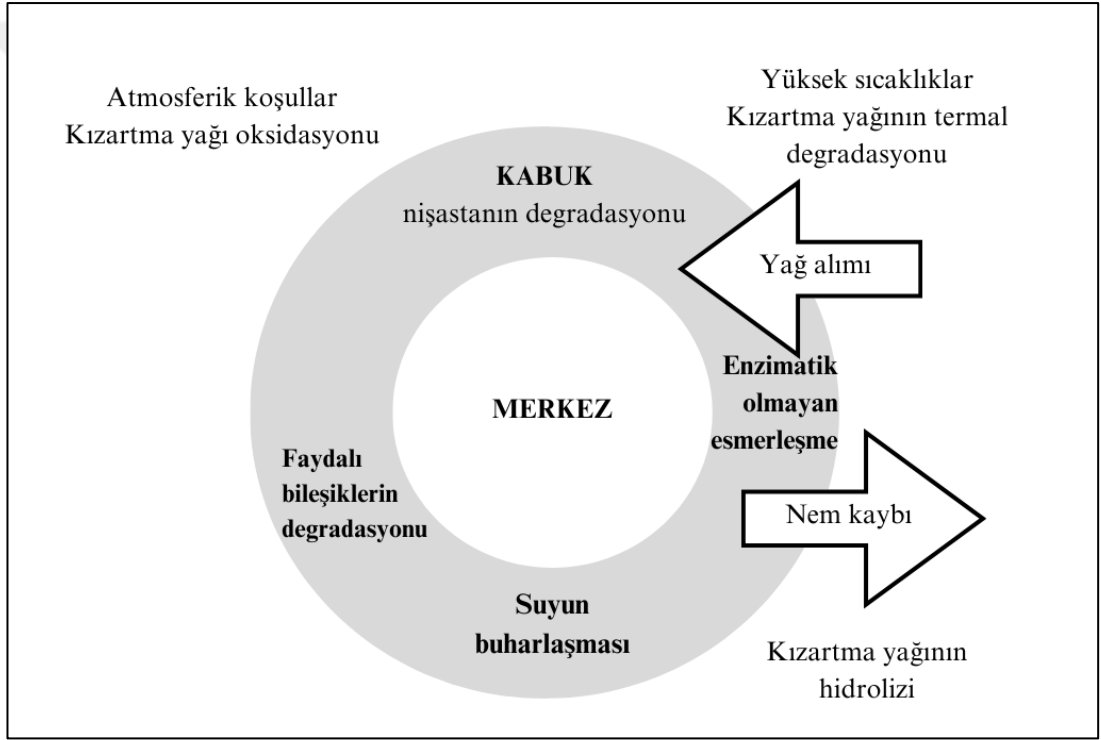
Türk toplumunda diyetin akrilamid kaynakları arasında hem bileşen hem de taşıdığı risk olarak en önde gelen patates kızartması, EFSA tarafından da diyetle en yüksek miktarda akrilamid içeren kaynak olarak tanımlanmaktadır (3,7). Patates, 7000 yıldan uzun zamandır Peru'dan başlayarak dünyada yaygın olarak tüketilmektedir. Üretimine sürdürülebilirlik açısından uygunluğu, üretiminde verimli enerji kullanım imkanı, buğday ve pirinçten sonra diyetle en çok tüketilen üçüncü ürün olmasını sağlamıştır. İçeriği son derece değişken olan patatesin genellikle %60-80'i nişasta ve nişastanın %70-80'i amilopektin olacak şekilde, %20 oranında kuru madde içerdiği kabul edilmektedir. Ancak bu oranlar genotipe ve yetiştirme koşullarına göre değişebilmektedir. Genellikle baharda ekilen ve sonbaharda hasat edilen patatesler, uygun koşullara sahip olan 6-10°C sıcaklıkta iyi havalandırılmış, karanlık, nemli bir ortamda yıl boyunca saklanarak tüketilmektedir. Daha düşük sıcaklıklarda saklanan

patateslerde indirgen şeker miktarı artmaktadır; bu da akrilamid oluşumunun artmasına neden olabilecek bir faktördür (51). Patates, içerdiği göreceli olarak yüksek glukoz, fruktoz, sükroz ve asparajin içeriği nedeniyle, Maillard reaksiyonu aracılığıyla akrilamid oluşumuna uygun bir ortam sağlamaktadır. Patates kızartmalarında akrilamid oluşumunda asparajinin varlığı elzem olsa da, akrilamid oluşum miktarını belirleyen ana etken indirgen şeker içeriğidir (52). Çeşit, öncül miktarı, ürün şekli ve büyüklüğü, ön müdahale, kızartma süresi ve sıcaklığı ve son ürünün nem miktarı gibi çeşitli faktörlerin akrilamid oluşumu üzerinde etkisi çalışılmıştır. Patatesin genotipi, serbest amino asit havuzunu ve indirgen şeker bileşimini etkilemesi nedeniyle önemlidir. Ek olarak yetiştirilen toprak, gübre, yetiştirme koşulları da öncül bileşeni üzerinde etkilidir (53).

Diyette en önde gelen akrilamid kaynağı olan patates kızartması eldesinde kullanılan en yaygın yöntem yağda kızartmadır. Hazırlama kolaylığı, çabukluğu ve ekonomik maliyeti ile gıda hazırlamada evlerde, restoranlarda ve gıda endüstrisinde en sık tercih edilen tekniklerden biri kızartmadır (54). Kızartma, üründe art arda gerçekleşen fiziksel ve kimyasal değişikliklere yol açan, sıcak yağa batırılmış gıdada gözlemlenen hızlı ısı ve kütle transferini içeren bir dehidrasyon işlemi olarak tanımlanabilmektedir (8,9). Kızartma işlemi, suyun kaynama sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda, genellikle 150-200°C'de, sıcak yenilebilir yağ ile gerçekleştirilmektedir. Kızartma yağı, tekstür ve aroma sağlamada etkili bir araçtır. Kızartmada gerçekleşen ana fizyokimyasal reaksiyonlar: nişastanın jelatinizasyonu, proteinlerin denatürasyonu, kabuk oluşumu, aromatisasyon ve Maillard reaksiyonu aracılığıyla oluşan renk değişimi, kahverengileşme/esmerleşmedir. Maillard reaksiyonu ile oluşan akrilamid sonucunda kahverengileşme gözlemlenmektedir (55).

Kızartmada iki ana teknik bulunmaktadır: derin yağda kızartma ve tavada kızartma. Derin yağda kızartmada ısı öncelikle yağ aracılığıyla gıdanın dışına konveksiyon aracılığıyla aktarılmakta, ardından sürekli olarak yüzeyden içeriye doğru kondüksiyon aracılığıyla taşınmaktadır (54). Yağın gıdanın içine girişinin yanında gıdanın içindeki suda sürekli olarak buhar formunda dışarı çıkmakta olup, nem kaybı, yağ alımı ve beraberinde aroma, altın renk ve çıtırılık gibi arzu edilen duyu özellikler

sağlanmaktadır (55). Tüm yüzeylerin eşit ısı müdahalesi görmesi nedeniyle tek tip renk ve görüntü elde edilmektedir (54). Derin yağda kızartmada genellikle yüksek kızartma sıcaklıkları kullanılmakta olup, genellikle kısa kızartma süreleri yeterli olmaktadır. Kızarmış ürünün yüksek miktardaki yağ içeriği ve düşük su içeriği ile mikroorganizmaların büyüme ve çoğalmasına uygun olmayan bir ortam sağlanmaktadır; böylece diğer pişirme yöntemlerine kıyasla mikroorganizmalardan korunma anlamında daha iyi koşullar sağlamaktadır (56). Derin yağda kızartma işleminde gerçekleşen değişiklikler ve bu değişikliklerde etkili olan ana faktörler Şekil 4'te özetlenmektedir (57).



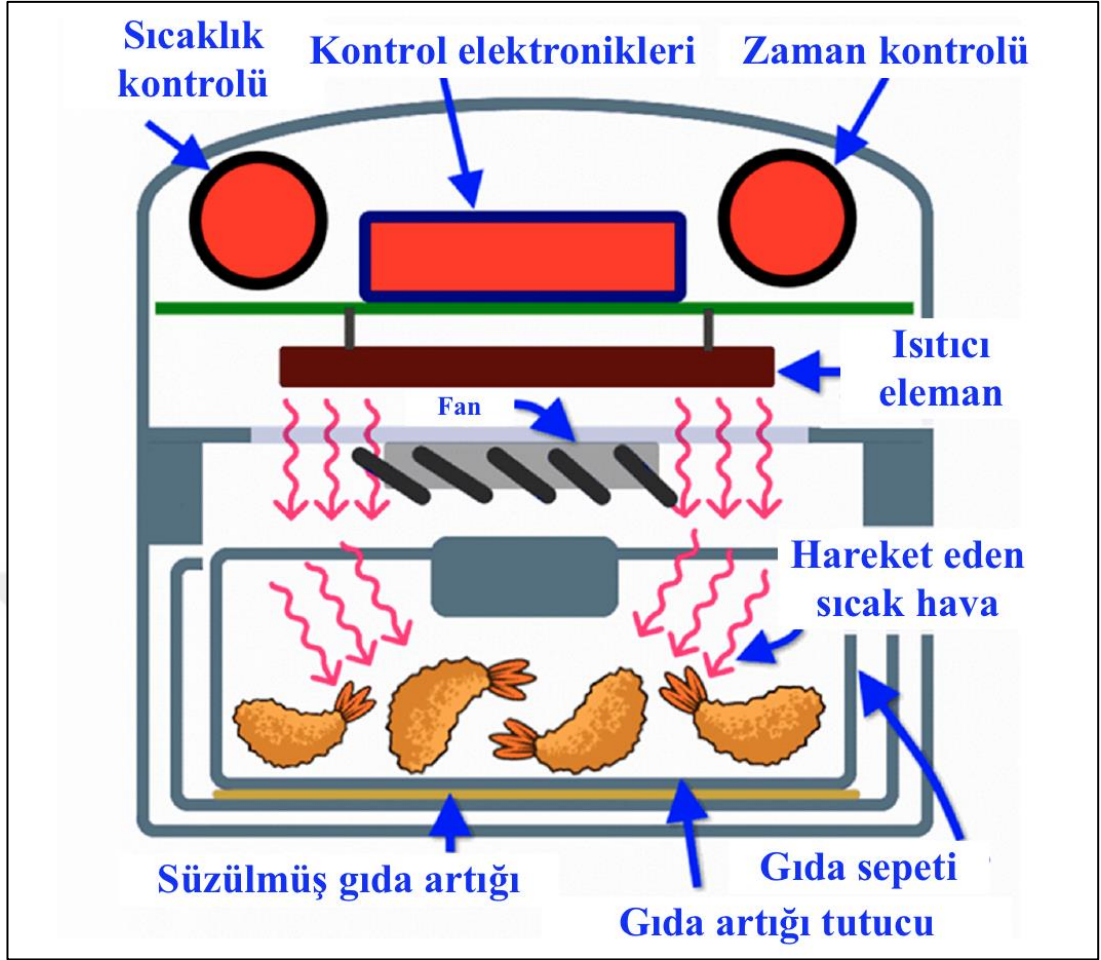
Şekil 4. Derin yağda kızartma işleminde gerçekleşen değişiklikler

Kızartmada tercih edilen bir diğer yaygın teknik ise tavada kızartma, yani sığ kızartma (“shallow frying”), bir temas kızartması (“contact frying”) olarak kabul edilmektedir. Isı geçişi yalnızca derin olmayan, göreceli daha az miktardaki yağ tabakasının yanında, tavanın sıcak yüzeyinden de gerçekleşmektedir (54,57). Daha az miktarda yağ kullanılıyor olması, bu yöntemin kullanım nedenlerinden birini oluşturmaktadır. Patates kızartmasında ilk iki yönteme kıyasla daha az popüler olan bir diğer yöntem ise fırında kızartmadır. Fırında kızartmada, pişirme süresini

kısaltmak ve yüzeyin kurummasını önlemek için zorlamalı konveksiyon işlemi fırın haznesinde buhar enjeksiyonuyla (buhar destekli pişirme) birleştirilebilmektedir (58). Fırında kızartma yönteminde, sıcak hava konveksiyonu kullanılırken, sekonder olarak fırın duvarlarından gelen radyasyon ve fırın tepsisinden gelen bir miktar kondüksiyon kullanılmaktadır (9).

Patates kızartması, içerdiği yüksek miktarda akrilamide rağmen dünya genelinde tüketiciler, restoranlar ve endüstriler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Patates kızartmasının olası zararları ile popüleritesi arasındaki dengesizlik, araştırmacıları, esas olarak alternatif kızartma yöntemleri uygulayarak, gıda işleme sırasında yağ içeriğini ve yeni oluşan zararlı ürünleri azaltma açısından kızarmış ürünleri iyileştirmeye yönelik çalışmalara yöneltmektedir (8,9). Yağ içeriğinin azaltılmasının yanında ürünün duyu özelliklerini koruyarak daha sağlıklı bir bileşim oluşturmak, endüstrinin önemli bir ortak amacıdır (57).

Çalışma prensibi gereği, göreceli olarak çok az miktarda yağa ihtiyaç duyuyor olması, yeni bir pişirme cihazı olmasına rağmen, air-fryer'ların popülerleşmesini sağlamıştır. Air-fryer, sıcak havada asılı duran yağ damlacıklarının dağılımını kullanarak bir gıda ürününü pişirmektedir. Air-fryer bölmesinin içinde yağ damlacıklarını içeren havanın gıdaya direkt teması ile gıda ısınmakta, su buharlaşmakta ve kademeli olarak dış yüzeyde kabuk oluşmaktadır. Hava üfleme hızının yüksek olması ve havayı haznenin içine hareket ettirmek için sirkülasyon fanının yardımı sayesinde, tüm süreç geleneksel kızartma yöntemlerinden önemli ölçüde daha kısadır. Bu kızartma çeşidinin temel amacı, sıcak hava akımının içindeki gıda ile yağ damlacıkları arasında tek tip bir temas sağlamak ve bu sayede etkili bir pişirme elde etmek için gereken toplam yağ miktarını azaltmaktır. Bu nedenle air-fryer, son ürünlerde yağ ve kalori içeriğinde önemli ölçüde azalma sağlayabilmektedir (56). Air-fryer'da kızartılmış patates kızartmasının, derin yağda kızartmaya kıyasla yaklaşık %48 daha az nem içerdiği, fark edilir derecede daha az renk değişimine uğradığı ve yüzey hasarının azalması daha iyi bir çıtırlık sağlandığı gözlemlenmiştir (59). Air-fryer'ın çalışma prensibi ve bölmeleri Şekil 5'te gösterilmektedir (56).



Şekil 5. Air-fryer pişirme aletinin çalışma prensibi ve önemli bölmeleri

## 2.7 Gıdalarda Akrilamid Maruziyetini Azaltma Stratejileri

Akrilamide maruz kalmada önemli bir rol oynadığı bilinen hane mutfak uygulamalarına hak ettiği önem verilmemektedir. Akrilamid maruziyetinin yönetilmesinde potansiyel bir bölge de uygulamaların ve ürünlerinin daha iyi kavrandığı hane halkı uygulamaları olup, tüketicilerin bu uygulamalarda takip edebileceği iyi uygulamalara dair artacak bilgi düzeyleri önemli bir strateji sunabilmektedir (6). Akrilamid alımının neredeyse yarısının hane uygulamaları, toplu beslenme servisleri ve restoranlardan kaynaklanmaktadır. Bu kaynaklar arasında patates kızartmasındaki akrilamid miktarındaki geniş varyans ve yüksek akrilamid içerikleri özellikle kızartmanın kontrolünde bir standardın sürdürülmemesi ve pişirme işlemini gerçekleştiren kişinin davranışlarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Hanehalkı uygulamalarından elde edilen akrilamid içeriği çok değişebilmekte olup, genellikle EFSA'nın belirttiği değerin iki katına çıkabilmektedir (60). Hem hane hem de toplu yemek hizmeti veren ortamlarında patates kızartmalarındaki yüksek miktardaki akrilamid içeriği ve bu içerik düzeyindeki geniş aralığın başlıca nedenleri, standartlaştırılmamış gıda işleme prosedürleri ve kızartma sıcaklığı ve süresi üzerinde düzenlenmiş bir kontrolün olmaması (yetersiz kızartma ekipmanından kaynaklanmaktadır) gibi görünmektedir (61). Yine de, tüketiciler patates kızartmalarının akrilamid içeriği hakkında bilinçlendirildiklerinde, daha düşük miktarda akrilamid içeren alternatifleri seçme eğilimindedir (62). Bu nedenle, hanelerde akrilamid tüketim düzeyinin değerlendirilmesi ve risk azaltan stratejisi şeklinde iki yönlü bir iş ortaya çıkmaktadır.

Literatürde akrilamid oluşumunu azaltmaya yönelik pek çok yaklaşım bulunmaktadır (10). Konuyla ilgili yayınlanmış sistematik derlemelere göre, en ön plana çıkan yöntemler: gıdanın içeriğinde değişiklik, işleme teknikleri ve ısıl işlemdaki yenilikler, Maillard reaksiyonunun inhibisyonu, gıda katkı maddeleri ve enzim ilavesi, fenolik ve antioksidan bileşiklerin uygulanması, blanch pişirme ("blanching") ve fermentasyon şeklindedir (2,63–65). Bunlara ek olarak, özellikle pişirme sürecindeki pişirme sıcaklığı, pişirme süresi, pH, yüzey/alan oranı, nem oranı, pişirme yöntemi, gübre kullanımı, hasat ve depolama koşulları pek çok faktörün de son ürünlerdeki akrilamid miktarı üzerinde ciddi bir etkiye neden olabileceği gözlemlenmiştir (17). Gıdalardaki akrilamid seviyelerini azaltmak için incelenen çeşitli teknikler arasında en popüler ve umut vadeden çözümlerden biri inhibitörlerin kullanımınıdır. Antioksidanların, özellikle inhibitör olarak sınıflandırılanların varlığının, Maillard reaksiyonunun ara ürünleriyle reaksiyona girerek akrilamid oluşum miktarını sınırlayabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, bitkilerde doğal olarak bulunan antioksidanların kullanılmasının gıdalardaki akrilamid üretimini azaltmak için faydalı bir taktik olabileceği düşünülmektedir (11–14). Ancak antioksidanların olası etkisinin altında yatan kesin mekanizma konusunda literatürde bir boşluk vardır. Akrilamid oluşumuna etkisini incelemek amacıyla incelenebilecek antioksidan kaynaklarından biri de sarımsaktır.

### 2.7.1 Sarımsak

Sarımsak (*Allium sativum* L.), birçok tarifte yaygın olarak kullanılan, çeşitli ulusların ekonomileri için önemli bir üründür (66). Yaygın olarak kullanılan sarımsak çeşitleri arasında çiğ sarımsak, pişmiş sarımsak, sarımsak tozu, olgunlaştırılmış sarımsak ve sarımsak takviyeleri bulunmaktadır (67). Sarımsak, soğan, arpacık soğanı, frenk soğanı ve pırasayı içeren *Allium* cinsine ait yumrulu bir bitkidir (68). Yılda bir kez hasat edilen bir ürün olan sarımsakların ana kalite özelliği, dişlerde karmaşık biyokimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan belirgin aromadır (69). Sarımsak, M.Ö. 1500'den itibaren Çin, Mısır, Yunanistan ve Hindistan gibi eski medeniyetlerde tıbbi ve tedavi amaçlı kullanılmıştır. Klasik kültürlerde, sarımsağın hastalıkları önleme ve tedavi etme amacıyla faydalı olduğuna inanılmıştır. Anormal doku büyümeleri, kalp-damar hastalıkları, böcek ve parazit kaynaklı hastalıklar sarımsakla tedavi edilmiştir. Çin tıbbında ishal, solucan enfeksiyonları, depresyon ve baş ağrıları için kullanılmıştır. Antik Hindistan'da kalp hastalıkları, artrit, parazit enfeksiyonları ve cüzzam tedavisinde önerilmiştir. 20. yüzyılın başlarında, sarımsak Fransa ve Portekiz'den Amerika'ya getirilmiş ve astım ile akciğer hastalıklarında balgam söktürücü olarak kullanılmıştır. 1970'lerde, sarımsakta bulunan bir metabolit olan S-metilsistein sülfoksit (SMCS)'in tavşanlarda kan kolesterolünü düşürdüğü ve aterosklerozun şiddetini azalttığı keşfedilmiştir. O zamandan bu yana sarımsak, anti-trombotik, hipolipidemik ve anti-hipertansif özelliklere sahip olarak tanımlanmaktadır. Kanseri ve diğer hastalıklara karşı koruma sağladığına dair bazı çalışmalar umut verici olsa da, sonuçlar tutarsızdır (68).

Sarımsak %60-65 oranında su, %28-30 oranında karbonhidrat, %2.3 oranında organosülfür bileşikler, %2-6 oranında protein, %1.2 oranında aminoasit, %1.5 oranında lif, yağ asitleri, fenoller ve eser elementleri içermektedir. Ancak bu içerik, farklı çeşitler, yetiştirilen toprağın özellikleri ve geniş kapsamlı olacak şekilde iklim ve hava koşullarıyla ilişkilendirilmektedir (70). Sarımsak içerdiği organosülfür bileşikler ve fenolik bileşikler sayesinde güçlü antioksidan özellikler göstermektedir (70,71). Sıklıkla tüketilen çoğu sebzededen daha yüksek miktarlarda olacak şekilde gallik asit, klorojenik asit, ferulik asit, p-hidroksibenzoik asit, kafeik asit gibi yirmiden

fazla fenolik bileşiğe sahiptir (72,73). Çiğ sarımsak acı bir tada sahip olup, sarımsak soğanı güçlü bir aroma yaymaktadır. Çiğ sebze olarak veya yağ, ekstrakt veya toz olarak işlem gördükten sonra tüketilmektedir; tüm bu ürünleri arasında kimyasal içerikleri ve sergiledikleri biyoaktif içerikleri açısından farklılıklar taşımaktadır. Sarımsağın farklı formları değişen aktif bileşenlere sahiptir. Bütün çiğ sarımsak, gamma-glutamil-S-alil-L-sisteinler içermektedir. Bu bileşik, hidroliz ve oksidasyon ile organosülfür bir bileşik olan alliin oluşturmaktadır. Çiğ sarımsak çiğnendiğinde veya ezildiğinde, hücre duvarında bulunan alliinaz enzimi aktifleşerek alliin'i allisin'e dönüştürmektedir (67).

Allisin'in biyolojik olarak aktif bir bileşik olarak önemi, tiyol içeren proteinin düşük ve yüksek moleküler ağırlığıyla yüksek reaktivitesi, antioksidan aktivitesi ve yüksek geçirgenliği nedeniyle erişilebilirliğinden kaynaklanmaktadır (69). Ancak, sarımsak ezildikten sonra 10 dakika içinde bekletilmesi durumunda, allisin hızla dialil sülfür (DAS), dialil disülfür (DADS) ve dialil trisülfür (DATS) gibi kükürt bileşiklerine ayrılmaktadır. Pişirme veya ısıtma, sarımsakta bulunan bazı biyoaktif bileşenleri azaltabilmektedir. Alliinaz enzimi, ısıya maruz kaldığında inaktive olmaktadır. Sarımsağın mikrodalga fırında ısıtılması, DNA addüktlerinin oluşumunu azaltma yeteneğini engelleyebilmektedir. DNA addüktleri de, mutasyonlara yol açarak kansere neden olabilecek yapısal değişikliklere neden olabilmektedir (67).

Sarımsak, içerdiği antioksidan kapasite sayesinde ısıl işlem kontaminantlarının oluşumunda da etkili olabileceğine yönelik gözlemler bulunmaktadır. Yang ve diğerleri, sarımsağın sosislerde oluşan diğer kanserojen ve/veya mutajenik Maillard reaksiyonu ürünleri heterosiklik aminlerin inhibisyonunda etkili olabileceğini gözlemlemişlerdir (74). Sarımsaktan elde edilen tozun akrilamid oluşumundaki etkileri çokça araştırılmış olmasına rağmen, domestik koşullara daha uygun olan sarımsak ekstraktının uygulanması aydınlatılmayı bekleyen bir alandır (75,76). Bu nedenle de, sulu sarımsak ekstraktı gibi formların da akrilamid oluşumuna etkisine yönelik daha çok çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

### 3 GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1 Araştırmanın Amacı ve Hipotezi

Bu araştırmanın amacı patatese uygulanan farklı pişirme yöntemlerinin ve sulu sarımsak ekstraktına maruz bırakılan patatesin akrilamid oluşum miktarı üzerine etkisinin saptanmasıdır.

Hipotez 1 H<sub>0</sub>: Farklı pişirme yöntemleri ile pişirilen patatesin Taşköprü sarımsağına maruziyeti, akrilamid seviyesini istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilemez.

Hipotez 1 H<sub>1a</sub>: Taşköprü sarımsağı ilavesi, farklı pişirme yöntemleriyle pişirilen patates kızartmalarında akrilamid seviyesini istatistiksel olarak anlamlı şekilde azaltır.

Hipotez 1 H<sub>1b</sub>: Taşköprü sarımsağı ilavesi, farklı pişirme yöntemleriyle pişirilen patates kızartmalarında akrilamid seviyesini istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırır.

Hipotez 2 H<sub>0</sub>: Farklı pişirme yöntemleri patates kızartmalarında akrilamid oluşumunu etkilemez.

Hipotez 2 H<sub>1</sub>: Farklı pişirme yöntemleri akrilamid oluşumunu farklı seviyelerde etkiler ve bu etki Taşköprü sarımsağı ilavesiyle daha da değişir.

#### 3.2 Çalışma Materyalleri ve Kimyasalların Temini

Çalışma kapsamında ihtiyaç duyulan patatesler ve ayçiçek yağı lokal bir süpermarketten (Metro Grossmarket, İstanbul, Türkiye) temin edilmiştir. Patateslerin temininde denklik taşıyor olmalarına özen gösterilmiştir: aynı mevsimde hasat edildiklerine, aynı satıcı tarafından temin edildiklerine, eş büyüme ve taşıma koşullarına sahip olduklarına emin olunarak patates seçimleri gerçekleştirilmiştir. Patatesin cinsi, içerdiği indirgen şeker ve asparajin miktarını etkileyerek, ürünlerde

oluşacak akrilamid miktarını da değiştirebilmesi nedeniyle önemli bir faktördür (77). Bu nedenle, patatesler aynı çeşit (*Agria*) seçilmiştir; bu seçim, özellikle bu çeşit için değil, yeni bir patates çeşidinin getirebileceği karıştırıcı faktörleri ortadan kaldırmak amacıyla yapılmıştır. Satın alınan patatesler analize kadar soğuk bir odada depolanmıştır (10°C). Kızartma sırasında kullanılan yağ çeşidinin yaratabileceği farklı akrilamid oluşumlarının üstünden gelmek adına, aynı yağ çeşidi tercih edilmiştir (78). Çalışmada kullanılacak sarımsaklar ise denk koşullarda yetiştirilmiş ve hasat edilmiş şekilde Taşköprü, Türkiye’deki bir üreticiden temin edilmiştir (ACT Sarımsak, Kastamonu, Türkiye). Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar Sigma-Aldrich firmasından (Steinhein, Almanya) temin edilmiştir.

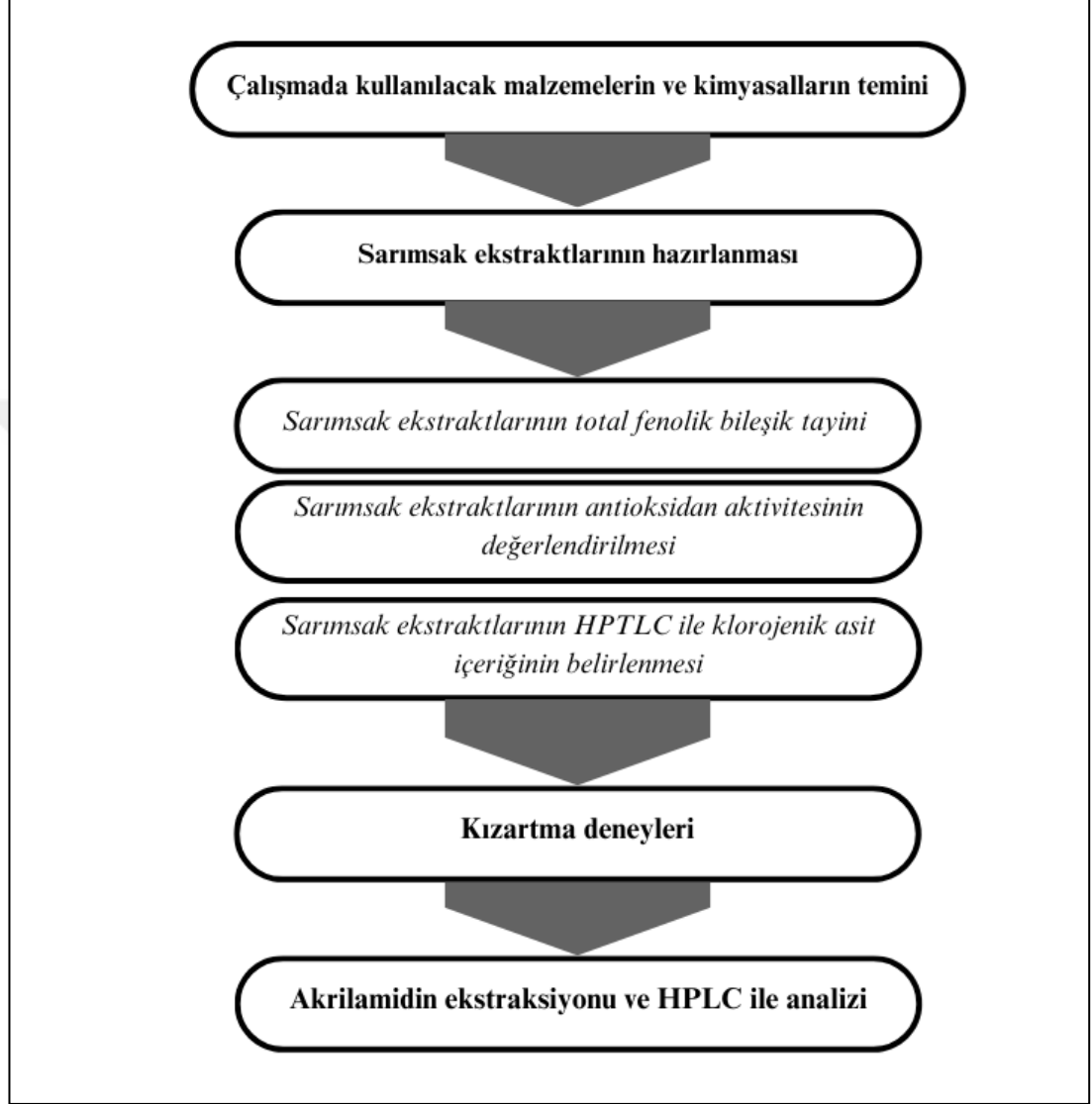
### 3.3 Kullanılan Alet ve Cihazlar

Çalışma kapsamında kullanılan alet ve cihazlar belirtilmektedir: Steril kapaklı falkon tüp 50 mL (ISOLAB), çeşitli hacimlerde mezür (ISOLAB), 50, 100, 250 mL cam beher (ISOLAB), çalkalama cihazı (VELP CLASSIC Vortex Mixer), çalkalamalı su banyosu (Weightlab Instruments WF-SBC30), orta akış hızlı filtre kağıt (ISOLAB), şırınga ucu filtre steril (CA (Selüloz Asetat) 0.45 µm / 25 mm), 0.1-2.5 µL ayarlanabilir mikro otomatik pipet (Eppendorf Research), 5 mL kilitli kapaklı santrifüj tüp (ISOLAB), santrifüj (Thermo Fisher SL16), spektrofotometre (Thermo Multiskan Sky Mikroplaka Spektrofotometresi), HPLC Perkin-Elmer 200 serisi (USA) cihaz, C-18 analitik kolon (ACE 250 mmx 4.6 mm; 5 µm partikül yarıçapı), CAMAG TLC tankı, CAMAG Otomatik TLC Sampler IV, CAMAG Otomatik Geliştirme Kabini-2, CAMAG TLC Tarayıcı IV.

### 3.4 Yöntem

Çalışmanın ilk bölümünde, sarımsakların antioksidan profil, toplam fenolik içerik ve özellikle klorojenik asit içeriği analiz edildi. İkinci bölümde, patatesler farklı pişirme tekniklerinde kızartılmadan önce analiz edilen sarımsak örnekleriyle hazırlanan sulu özütü muamele edilerek akrilamid oluşumunun gözlemlenebileceği bir ortam hazırlandı. İkinci bölümde, oluşan akrilamid seviyeleri ölçüldü ve sarımsak

maruziyetinin kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında etkisinin farklılaşması açısından karşılaştırıldı. Çalışma planı Şekil 6'da özetlenmiştir.

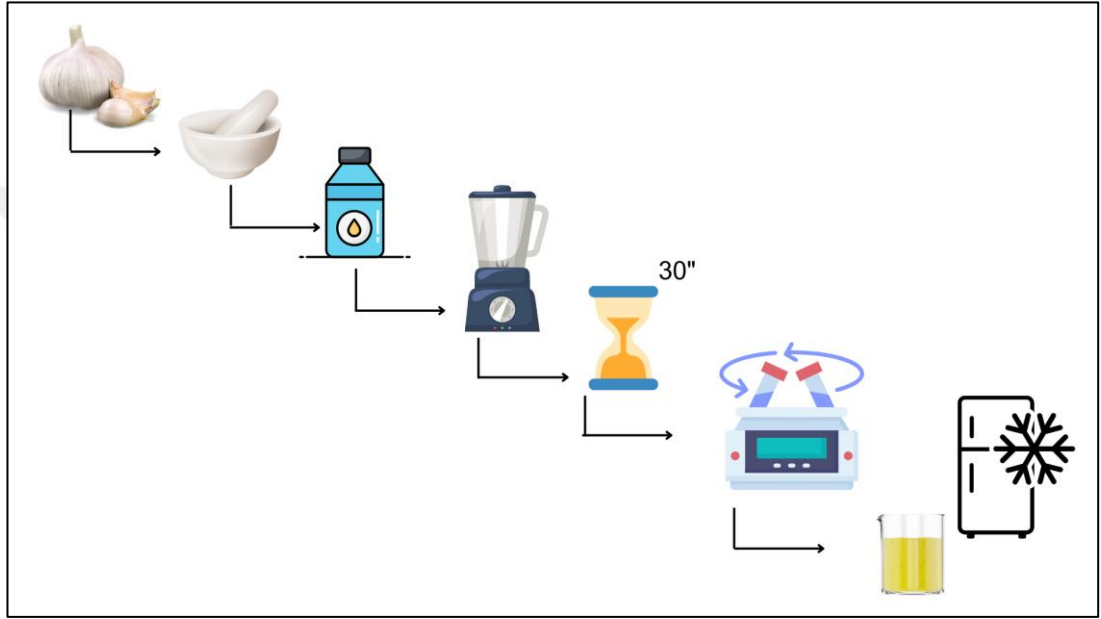


Şekil 6. Çalışma planı

### 3.4.1 Sarımsak ekstraktının hazırlanması

Sarımsak ekstraktlarının eldesinde çözücü olarak distile su kullanılmıştır. Distile su kullanılarak elde edilen ekstraktların total antioksidan kapasitesini yansıtmada etil alkol ve asetondan daha iyi bir performans göstermektedir (79). Bu bağlamda, sarımsak ekstraktlarının hazırlanmasında Sermenli tarafından geliştirilen teknik kullanılmıştır (80).

Sarımsakların önce dış kabukları uzaklaştırılarak, yaş ağırlıkları tartılmıştır. Elde edilen sarımsaklar ezilmiş ve bir mikser yardımıyla kendi ağırlığına eşit miktarda distile su ilave edilerek homojenize edilmiştir. Karışım oda sıcaklığında 30 dakika bekletildikten sonra 6000 rpm’de beş dakika santrifüj uygulanmış ve karışımın üst kısmında toplanan sıvı sarımsak ekstraktı uygulamalar ve analizler için 4°C’de saklanmıştır. Ekstraktın hazırlanma basamakları Şekil 7’de özetlenmektedir.



Şekil 7. Sarımsak ekstraktının hazırlanması

### 3.4.2 Sarımsak ekstraktında total fenolik bileşik tayini (TPC)

Sarımsak ekstraktlarının total fenolik bileşik tayininde Bardakçı ve diğerleri tarafından uygulanan yöntem kullanılmıştır (81). Spektrofotometrik hesaplamalar Thermo Multiskan Sky Mikroplaka Spektrofotometresi (Waltham, MA, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Seyreltilmiş sarımsak ekstraktı numunesine %20 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve FCR karışımı (H<sub>2</sub>O ile seyreltilmiş (1:9) Folin-Ciocalteu reaktifi) eklenmiştir. Çözeltinin 45°C’de 30 dakikalık bir inkübasyon süresinin ardından, çözeltinin absorbansı 765 nm’de ölçülmüştür. Sonuçları ifade etmek için kuru ekstraktın (DE) gramı başına gallik asit eşdeğerleri (GAE) kullanılmıştır.

### 3.4.3 HPTLC ile sarımsak ekstraktında klorojenik asidin belirlenmesi

Klorojenik asidin kantitatif ve kalitatif ölçümü, daha önce kullanılan valide edilmiş yönteme uygun bir HPTLC sistemi ile gerçekleştirilmiştir (82). Analiz için 20 cm×10 cm HPTLC silika jel 60 F 254 plakaları kullanılmıştır. Mobil faz olarak 100:25:10:10:11 hacimli EtOAc-CHCl<sub>3</sub>-FA-AA-H<sub>2</sub>O karışımı olarak belirlenmiştir. Görselleştirme 366 nm dalgaboyunda gerçekleştirilmiştir. Sarımsak numuneleri 1 mg/mL konsantrasyonda MeOH içinde çözülerek, standartlar da 100 µg/mL konsantrasyonda MeOH içinde hazırlanmıştır. CAMAG Otomatik TLC Sampler IV kullanılarak, ekstraktlar standart çözeltinin minimum altı konsantrasyonu (2-12 µL) ile 6 mm uzunluğunda bantlarda artan miktarlarda (2-40 µL) uygulanmıştır. Geliştirmeler CAMAG Otomatik Geliştirme Kabini-2'de (ADC-2) yapılmıştır. Oda 10 dakika boyunca doyurularak, nem, MgCl<sub>2</sub> ile ADC-2 ile kontrol edilmiştir (33% bağıl nem). Doğal Ürün Reaktifi (NPR) ile türevlendirmeden sonra, densitometrik değerlendirme floresan modunda bir CAMAG TLC Tarayıcı IV kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunedeki standart miktarları, AUC'lerin standartların kalibrasyon eğrisiyle karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Görüntü işleme için visionCATS yazılımı kullanılmıştır. Numunelerin analizi için korelasyon katsayılarının ( $r^2$ ) >0.998 olduğu bulunmuştur.

### 3.4.4 Sarımsak ekstraktının antioksidan aktivitesinin değerlendirilmesi

Sarımsak numunelerinin antioksidan kapasitesini analiz etmek için, daha önce yayımlanmış bir yönteme uygun olarak 2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikal süpürme kapasitesi testi gerçekleştirilmiştir (83). Öncelikle 1 mg/mL derişime sahip stok çözeltisi ve metanollü DPPH çözeltisinden (100 mM) hazırlanan farklı konsantrasyonlarda taze seyreltilmiş örnek çözeltilerinin bir kombinasyonunu elde edilmiştir. Takiben örnekler oda sıcaklığında 45 dakika inkübe edilmiştir. Absorbans 517 nm'de ölçülmüştür. Referans bileşik olarak, kalibrasyon eğrisi elde etmek için butil hidroksi toluen (BHT) kullanılmıştır. Sonuçlar, üçlülerin ortalaması ± standart sapma (S.D.) ve 100 mg toplam ağırlıkta mg butil hidroksi toluen eşdeğeri (BHTE) olarak ifade edilmiştir.

### 3.4.5 Kızartma deneyleri

Patatesler yıkanmış, soyulmuş ve manuel olarak 7x7 mm'lik şeritler halinde kesilmiştir. Patates kesim büyüklüklerinin akrilamid oluşumu üzerinde bir etki oluşturabilen bir faktör olması nedeniyle, patatesler manuel olarak eşit ve önceden belirlenmiş ölçüde kesilmiştir. Dilim büyüklüğünün belirlenmesinde en yüksek miktarda akrilamid içerdiği saptanan ölçüler olması nedeniyle belirtilen boyut tercih edilmiştir (84). Dilimlendikten sonra arda kalan nişastanın eliminasyonu için bir dakika boyunca akan suda bekletilerek takiben kağıt havluyla kurutulmuşlardır.

Ön hazırlık aşamalarını takiben kurulanmış patatesler, patatesler müdahale grubu ve kontrol grubu olmak üzere iki eşit gruba ayrılmıştır. Müdahale grubu, daha önceden hazırlanmış olan sarımsak ekstraktında 1 dakika boyunca bekletilmiştir, kontrol grubu ise müdahale görmeden eş bir süre bekletilmiştir. Her iki grup da üç kızartma yöntemini (tavada kızartma (Tefal), air-fryer (Philips) ve fırın (Siemens)) karşılayacak şekilde üç eşit gruba ayrılmıştır.

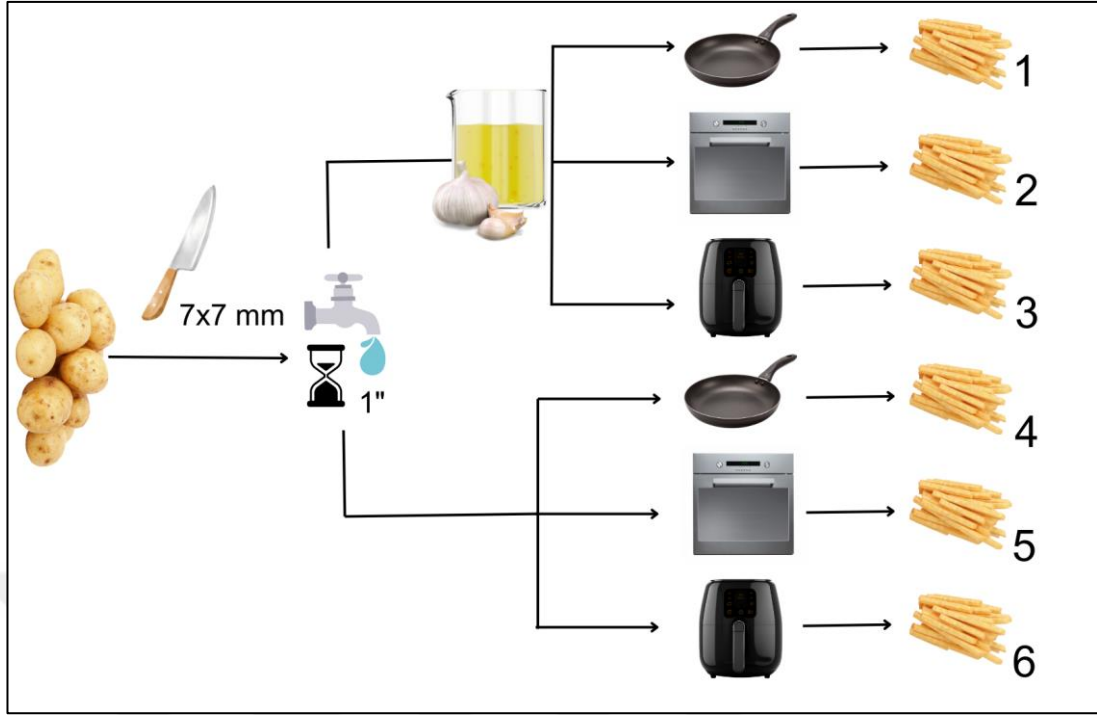
Tavada kızartma yöntemi, hane uygulamalarını yansıtmak için uygun bir yöntem olması nedeniyle seçilmiştir. Tavada kızartma işlemleri için Tefal marka tava kullanılmıştır. Tavaya, patatesleri tamamen kaplayacak miktarda yağ eklenmiştir (1:1 oranında ağırlığa tekabül etmektedir). Yağın sıcaklığı gıda termometresi (Thermopro TP01H gıda termometresi (ThermoPro, Shenzhen, China)) ile sürekli olarak ölçülmekte olup, hedef sıcaklık 180°C olarak belirlenmiştir. Yağın sıcaklığının 120°C'e erişmesi ile patatesler yağa bırakılarak, beşinci dakikada tavadan alınmıştır. Patateslerin ve yağın sıcaklığı birer dakikalık ara ile ölçülmüştür (85). Kızartma işlemleri hem müdahale hem de kontrol grubu için gerçekleştirilmiştir.

Air-fryer'da kızartma işlemleri için Philips marka air-fryer kullanılmıştır. Air-fryer ile kızartma işleminde aynı haznedeki patateslerin birbirine temas etmediklerine dikkat edilerek özenle yerleştirilmişlerdir. Hedef sıcaklık olan 180°C'nin erişildiğinden emin olmak için hazneler alt ve üst bölmelerine yerleştirilen termometre sensörleriyle (Weather forecast gıda termometresi) iç sıcaklık sürekli olarak

ölçülmüştür. Patateslere kilogram başına 1 yemek kaşığı olacak şekilde yağ eklenmiş ve iyice karıştırılmıştır. Air-fryer'ın 180°C'ye ayarlanması ve hedef sıcaklığın erişilmesinden sonra patatesler eklenmiş ve 21. Dakikada çıkarılmışlardır (8). Kızartma işlemleri hem müdahale hem de kontrol grubu için gerçekleştirilmiştir.

Fırında kızartma işleminde ise kilogram başına 12 gram yağ, sprey aracılığıyla ile homojen bir dağılım sağlanarak, eklenmiştir. Fırın iç sıcaklığı 180°C'ye ayarlanmıştır ve gıda termometresi ile sürekli olarak takip edilmiştir. Patatesler fırından 30. Dakikada çıkarılmıştır (9). Kızartma işlemleri hem müdahale hem de kontrol grubu için gerçekleştirilmiştir. Tüm gruplarda patateslerin soğutulması ve fazla yağın uzaklaştırılması için emici kağıt kullanılmıştır.

Farklı kızartma tekniklerinde elde edilen numunelerin renk ve doku olarak kıyaslanabilir, denk nitelikte olmaları için, geçmiş yayınlarda belirlenmiş olan farklı kızartma süreleri kullanılmıştır. Ancak kızartma sıcaklığı 180°C'de sabit tutulmuştur ve kızartma sıcaklığı süreç boyunca takip edilmiştir; böylelikle farklı kızartma sıcaklıklarının sağlayabileceği karıştırıcı etki önlenmiştir (61,85,86). Kızartma sıcaklığının her yöntemde sabit tutulması çalışmanın güçlü bir yönünü oluşturmaktadır. Kızartma süreci şekil 8'de özetlenmektedir. Şekilde yer alan "1" numaralı grup, sarımsak ekstraktında bekletilmiş ve takiben tavada kızartılmış patates kızartmaları; "2" numaralı grup sarımsak ekstraktında bekletilmiş ve takiben fırında kızartılmış patates kızartmaları, "3" numaralı grup sarımsak ekstraktında bekletilmiş ve takiben air-fryer ile kızartılmış patates kızartmaları, "4" numaralı grup tavada kızartılmış patates kızartmaları için kontrol grubu, "5 numaralı grup fırında kızartılmış patates kızartmaları için kontrol grubu, "6" numaralı grup air-fryer ile kızartılmış patates kızartmaları için kontrol grubunu temsil etmektedir.



Şekil 8. Patates kızartmalarının ön hazırlık, kızartma ve gruplandırma basamakları

### 3.4.6 Akrlamidin ekstraksiyonu

Kızartma işlemleri sonucunda elde edilen numunelerden akrilamid ekstraksiyonunda Khoshnam ve diğerleri tarafından geliştirilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır (87). İnce öğütülmüş, homojenize patates kızartması örneklerinden 4 gram tartılarak 10 ml n-hexane ilave edilerek beş dakika boyunca karıştırıcı ile çalkalanmıştır. Dekantasyon işleminin iki kez tekrarını takiben karışım vakum altında kurutulmuştur. Yağı uzaklaştırılan numuneler 100 µl distile su ile karıştırılarak akrilamidin ekstraksiyonu için 20 ml aseton eklenmiştir. Karışım 20 dakika boyunca 40°C'ye ayarlanmış bir ultrasonik banyoda bekletilmiştir. Asetonun filtrasyonu için filtre kağıdı kullanılmıştır. 20 ml filtrat vakum buharlaştırma ile dikkatlice kurutularak, geriye kalan kalıntı 2 cc distile su ile kuvvetlice çalkalanarak çözdürülmüştür. Filtre kağıdından geçtikten sonra, sulu çözelti cam viallere enjekte edilmiştir. Her bir örnek grup için aynı yöntem kullanılarak üçer adet numune hazırlanmış olup, her örnek üç kez analiz edilmiştir.

### 3.4.7 Akrilamidin HPLC ile analizi

Akrilamidin kantitatif analizi için Haddarah ve diğeri tarafından geliştirilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır (88). Analiz için kullanılan HPLC yüksek performanslı sıvı kromatografisi, 1260 Infinity sıvı kromatografisi sistemi modeli, 110 kuaterner pompa (DEAB804078), 1260 termostat kolon bölmesi (DEACN19021), 40 µl hacimli bir döngüye sahip Agilent enjektör, 1260 diyot dizisi ve çoklu dalga boyu dedektörü (DAD) (DEAAX02373)'dür. Hareketli faz çözücüsü, 0.5 ml/dakika akış hızına sahip asetonitril/saf su oranına (5/95) sahip asetonitrildi. Yöntem, ACE 5 RP-C18 analitik kolon (25 cm x 4,6 mm, 5 µm partikül boyutu), 0,5 ml/dakika akış hızı, 202 nm dalga boyunda tespit ve 40 µl enjeksiyon hacminden oluşmaktadır.

### 3.4.8 İstatiksel analiz

İstatiksel analizler, GraphPad Prism yazılımının 8. versiyonu kullanılarak gerçekleştirildi. Paylaşılan tüm veriler, üç farklı deneyden elde edilen üçer tekrarın (n = 3) ortalama değerlerinden oluşmaktadır. İstatiksel anlamlılık,  $p \leq 0,05$  seviyesinde kabul edilmiştir. Farklı gruplar arasındaki anlamlı farkları belirlemek için Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

## 4 BULGULAR

### 4.1 Sarımsak Ekstraktlarının Total Fenolik Bileşik Tayini

Müdahalede kullanılan sarımsak örneklerinin total fenolik içeriği miktarı Tablo 2’de verilmiştir. Üçlü tekrar halinde gerçekleştirilen total fenolik bileşik tayini sonucunda çalışmada kullanılan sarımsağın total fenolik bileşik içeriği  $15,0 \pm 0,5$  mg GAE olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Sarımsak örneklerinde total fenolik bileşik içeriği

Numune Adı	Total Fenolik Bileşik*
Sarımsak	$15,0 \pm 0,5$

\*Sonuçlar üçlü tekrarların ortalaması  $\pm$  standart sapma (S.D.) ve 100 mg toplam ağırlıkta mg gallik asit eşdeğerleri (GE) olarak ifade edilmiştir

### 4.2 Sarımsak Ekstraktlarının Antioksidan Aktivitesinin Tayini

Sarımsak ekstraktlarının antioksidan aktivitesinin değerlendirilmesinde antioksidan molekülden gelen elektronun kabul edilmesiyle DPPH radikalının süpürülmesi prensibi temel alınmıştır. Tablo 3’te paylaşıldığı üzere, sarımsak örneklerinin analizi sonucunda  $765 \pm 4$  mg BHTE olarak ölçülerek orta düzeyde DPPH radikal süpürücü aktivite göstermişlerdir.

Tablo 3. Sarımsak örneklerinde DPPH radikal süpürme aktivitesi

Numune Adı	DPPH* radikal süpürme aktivitesi
Sarımsak	$765,0 \pm 4,0$

\*Sonuçlar üçlü tekrarların ortalaması  $\pm$  standart sapma (S.D.) ve 100 mg toplam ağırlıkta mg butil hidroksi tolüen eşdeğeri (BHTE) olarak ifade edilmiştir.

### 4.3 Klorojenik Asit Bileşiminin HPTLC Analizi

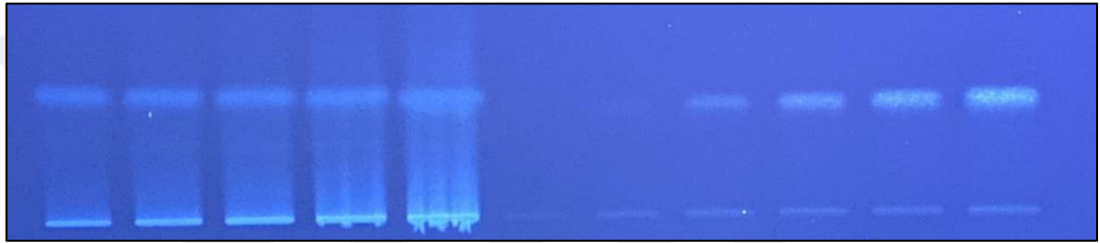
Sarımsak numunelerinin klorojenik asit tayininde HPTLC sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Sarımsaktaki klorojenik asit miktarı  $5,74 \pm 0,06$   $\mu\text{g/g}$  olarak

saptanmıştır (Tablo 4). Sistemde varyasyon katsayısı %0,98 ve kalibrasyon eğrisi lineerdir ( $R^2 = 0,99$ ). Sarımsak ekstraktı ve klorojenik asit standardına dair görselleştirmede elde edilen plak görüntüleri Şekil 9’da yer almaktadır.

Tablo 4. Sarımsak örneklerinde klorojenik asit miktarının HPTLC ile tayini

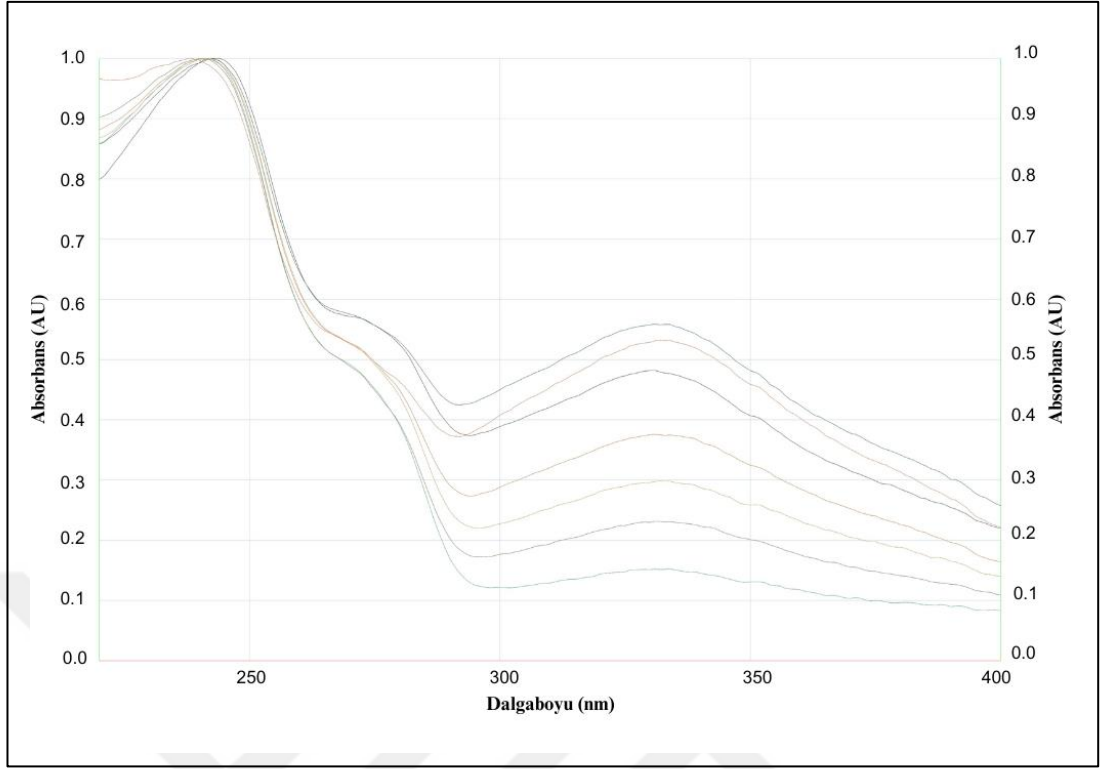
Bileşik	Miktar	CV (%)	$R^2$
Klorojenik asit*	$5,74 \pm 0,06$	0,98%	0,99

\*Sonuç kuru ağırlıkta  $\mu\text{g/g}$  üzerinden hesaplanmıştır. CV: Varyasyon katsayısı

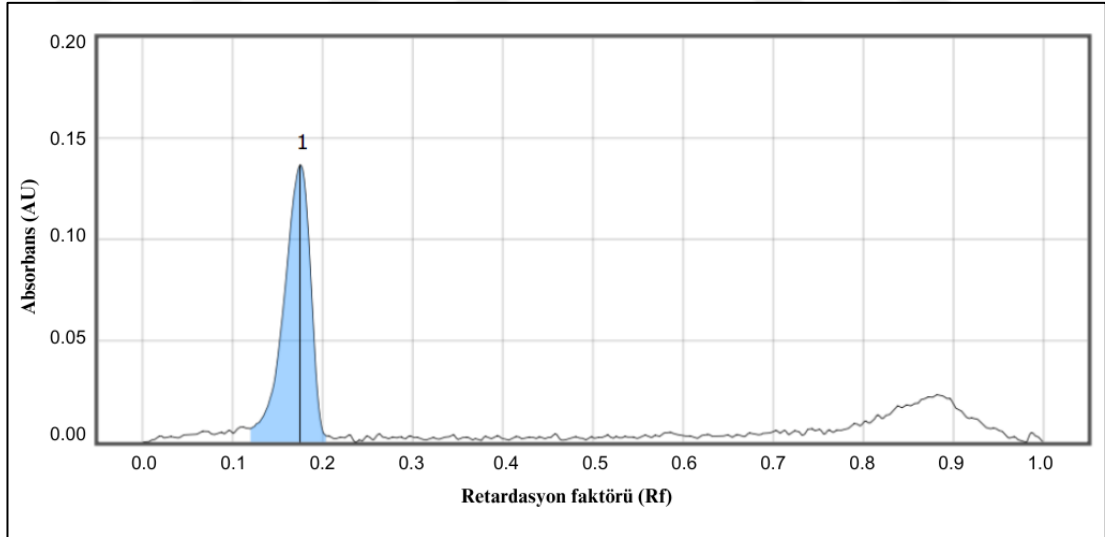


Şekil 9. Sarımsak ekstraktı ve klorojenik asit standardının plak üzerindeki görselleştirmesi

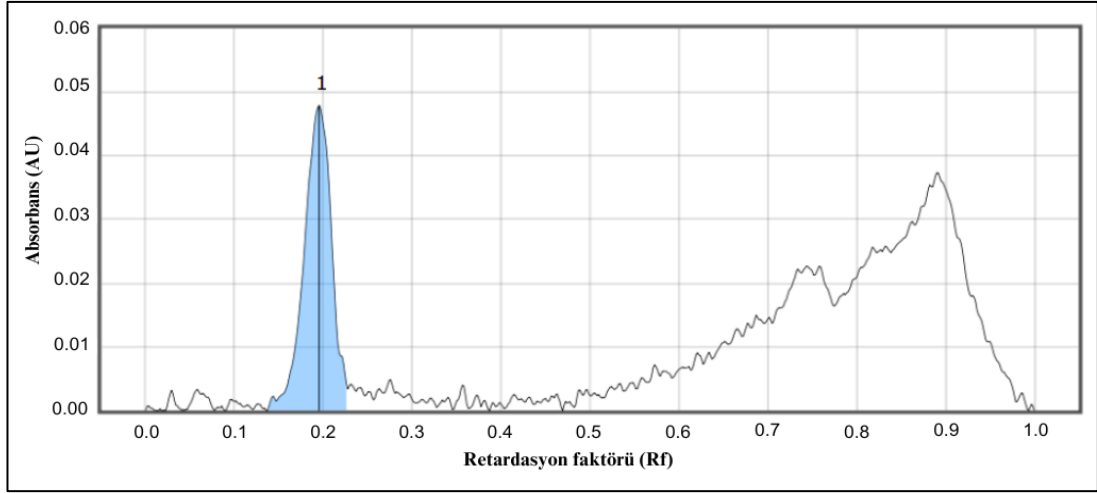
Sarımsak numunelerinde klorojenik asidin kalitatif ve kantitatif değerlendirilmesinde kullanılan UV spektrumu Şekil 10’da, kıyas amacıyla kullanılan standart örneğin HPTLC kromatogramı Şekil 11’de ve sarımsak ekstraktının kromatogramı Şekil 12’de yer almaktadır.



Şekil 10. Klorojenik asit ve aynı Rf değerine sahip bantların 200-450 nm aralığındaki UV spektrumları



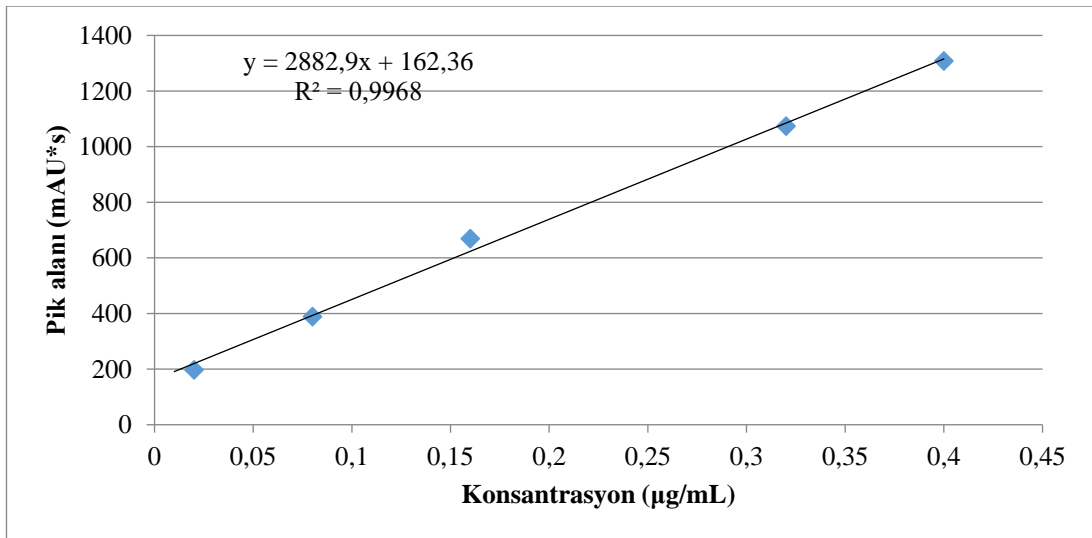
Şekil 11. Standart örneğin HPTLC kromatogramı (Ölçüm: 366 nm)



Şekil 12. Sarımsak ekstraktının HPTLC kromatogramı (Ölçüm: 366 nm)

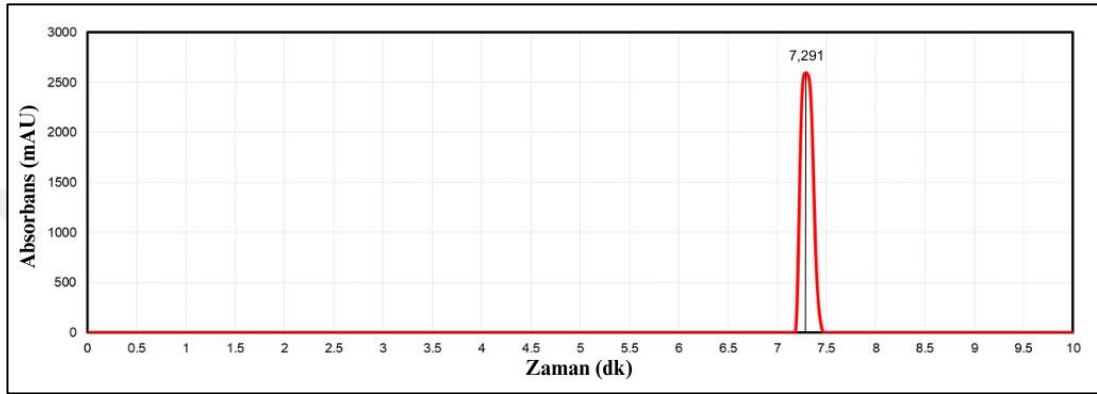
#### 4.4 Akrilamid Tayini

Patates kızartmalarında akrilamidin kantitatif analizi için önce yöntemine uygun kalarak 202 nm dalgaboyu belirlenerek, 20 ng/mL, 80 ng/mL, 160 ng/mL, 320 ng/mL, 400 ng/mL konsantrasyonlarında hazırlanan standart akrilamid çözeltileri HPLC'ye enjekte edilerek Şekil 13'te yer alan akrilamid çalışma grafiği ve doğru denklemi oluşturulmuştur. Her standart çözelti üç kez analiz edilmiş olup, ortalama değerler kalibrasyon için kullanılmıştır. Patates kızartması örneklerindeki akrilamidin tayini elde edilen doğru denklemi ile hesaplanmıştır.

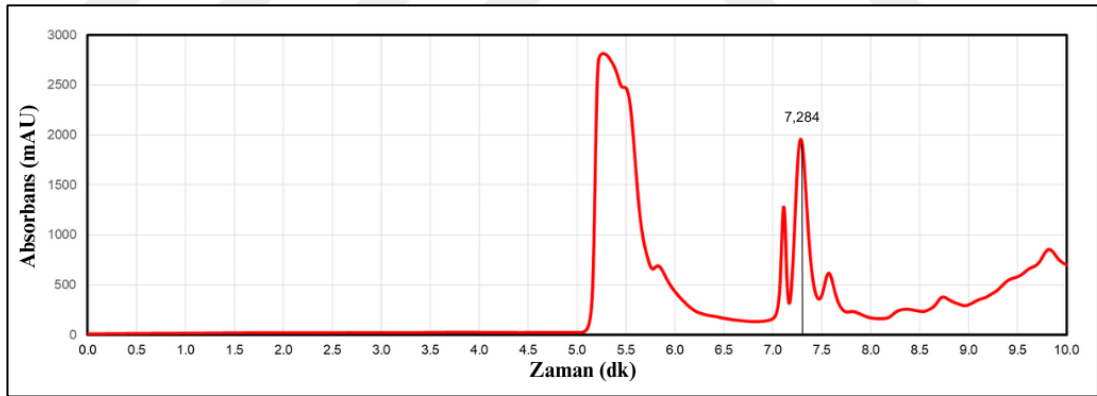


Şekil 13. Akrilamidin çalışma grafiği ve doğru denklemi

Test örneklerinde akrilamidin varlığı, akrilamid standardında gözlemlenen tutulma süresiyle eşleşen eş zamanlı pikin varlığıyla doğrulanmıştır. Şekil 14'te standart örneğin HPLC kromatogramı gösterilmektedir. Şekil 15'te ise örnek bir patates kızartması numunesinin HPLC kromatogramı gösterilmektedir. Her iki kromatogramda da 7,29 dakikalık tutulma süresindeki pik alanı akrilamid ile eşleştirilmiştir.



Şekil 14. Akrilamid standardının HPLC kromatogramı (Ölçüm: 202 nm)



Şekil 15. Örnek numunenin HPLC kromatogramı (Ölçüm: 202 nm)

#### 4.4.1 Farklı pişirme yöntemlerinde akrilamid oluşumu

Isıl işlem yöntemleri arasındaki farklılıkların akrilamid oluşumu üzerindeki etkisinin gözlenmesi çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır. Bu amaçla üç farklı kızartma yöntemi ile elde edilmiş patates kızartmalarında oluşan ölçülmüş akrilamid miktarları Tablo 5'te gösterilmektedir.

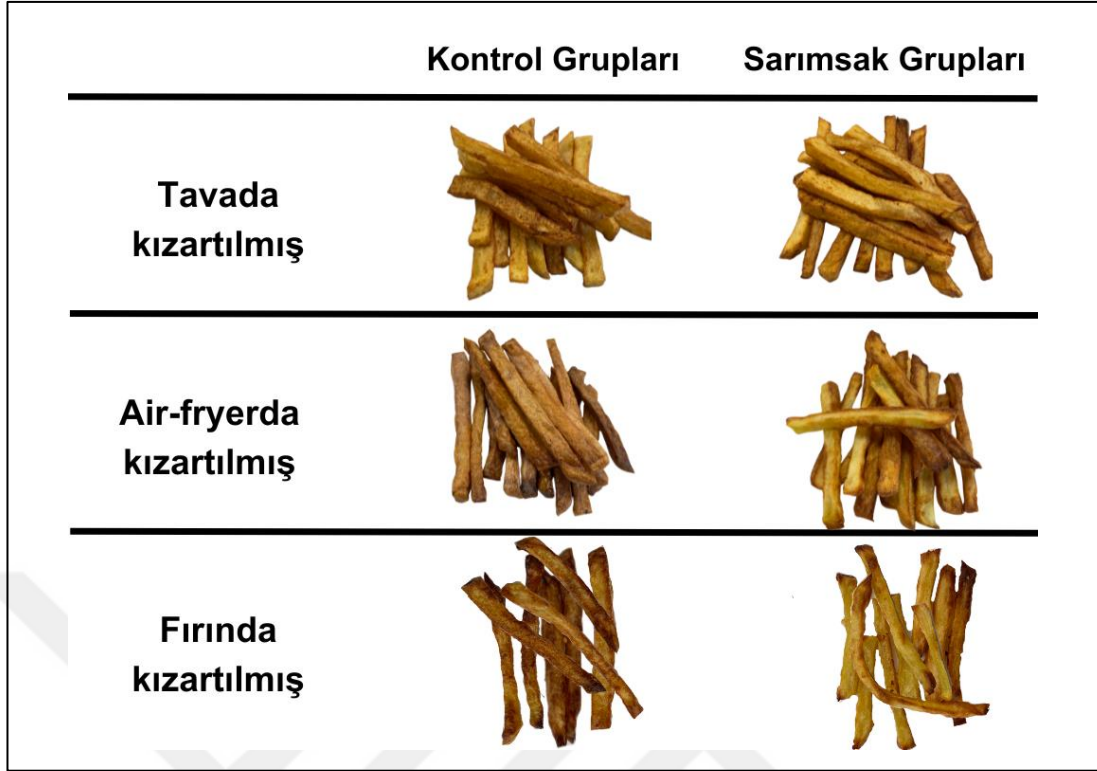
Tavada kızartılmış kontrol grubu patates kızartmalarında analiz edilen akrilamid miktarı  $446,76 \mu\text{g}/\text{kg} \pm 15,87$ 'dir. Air-fryer'da kızartılan kontrol grubu patates kızartmalarında analiz edilen akrilamid miktarı  $16,06 \mu\text{g}/\text{kg} \pm 3,05$  iken, fırında kızartılan kontrol grubu patates kızartmalarında oluşan akrilamid miktarı  $138,34 \mu\text{g}/\text{kg} \pm 8,07$ 'dir. Oluşan AA miktarı, her üç kızartma çeşidi arasında anlamlı ölçüde değişmektedir ( $p < 0,01$ ).

Tablo 5. Farklı pişirme yöntemlerinde elde edilen patates kızartmalarında oluşan akrilamid miktarları

Pişirme yöntemi	Sarımsak müdahalesi	Akrilamid miktarı ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )		
		Ortalama $\pm$ SD	<i>p</i> -değerleri**	<i>p</i> -değerleri***
Tavada kızartma	Kontrol	$446,76 \pm 15,87^a$	$p = 0,99$	a-c, $p < 0,0001$
	Sarımsak	$441,21 \pm 8,08^b$		a-e, $p < 0,0001$
Air-fryer'da kızartma	Kontrol	$16,06 \pm 3,05^c$	$p < 0,0001^*$	c-e, $p < 0,0001$
	Sarımsak	$311,95 \pm 0,49^d$		b-d, $p < 0,0001$
Fırında kızartma	Kontrol	$138,34 \pm 8,07^e$	$p < 0,0001^*$	b-f, $p < 0,0001$
	Sarımsak	$270,32 \pm 23,38^f$		d-f, $p = 0,014$

Üst simge harfleri "a, b, c, d, e, f" farklı pişirme yöntemlerinde benzer işlemlerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirtmektedir. \* $p < 0,001$ . \*\* *p*-değerleri aynı pişirme yöntemindeki kontrol ve sarımsak grupları arasındaki farkı ifade etmektedir. \*\*\* *p*-değerleri aynı kontrol grubu veya sarımsak müdahalesi grubundaki farklı pişirme yöntemleri arasındaki farkı ifade etmektedir.

Tüm pişirme yöntemlerinden elde edilen hem kontrol hem müdahale gruplarının görsel kıyaslanması amacıyla elde edilen görüntüler Şekil 16'da yer almaktadır.



Şekil 16. Müdahale grubu ve kontrol grubu patates kızartmalarının görsel temsili

#### 4.4.2 Sarımsak müdahalesinde akrilamid oluşumu

Sarımsak ekstraktı müdahalesinin akrilamid oluşumuna etkisinin değerlendirilmesi sonucunda, kontrol grubu ile kıyaslandığında, air-fryer ile elde edilen (sırasıyla,  $311,95 \pm 0,5 \mu\text{g/kg}$  ve  $16,06 \pm 3,05 \mu\text{g/kg}$ ), fırında elde edilen patates kızartmalarında (sırasıyla,  $270,32 \pm 23,4 \mu\text{g/kg}$  ve  $138,34 \pm 8,07 \mu\text{g/kg}$ ) daha yüksek miktarda akrilamid oluşmaktadır ( $p < 0,0001$ ) (Tablo 5). Ancak tavada kızartılan patates kızartmalarında iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır (sırasıyla,  $441,21 \pm 8,08 \mu\text{g/kg}$  ve  $446,76 \pm 15,87 \mu\text{g/kg}$ ).

## 5 TARTIŞMA

### 5.1 Sarımsak Ekstraktlarının Total Fenolik Bileşikleri

Sarımsak, total fenolik bileşikler açısından kıyaslandığında sık tüketilen sebzeler arasında ikinci sırada yer almaktadır. Türler arasındaki fenolik bileşik miktarındaki farklılık genotipe, yetiştirilen bölgenin özelliklerine, yetiştirme uygulamalarına, hasat dönemine ve iklim koşullarına göre şekillenebilmektedir (89,90). İncelenen sarımsak numunelerinin  $15,0 \pm 0,5$  mg GAE olarak hesaplanan total fenolik bileşik miktarı Jang ( $5,68 \pm 0,51$  mg GAE/g) ve Koca'nın ( $1,59$  mg GAE/g) sonuçlarından daha yüksek bulunmuştur ancak Nuutila'nın ( $75-700$  mg GAE/kg) ve Gorinstein'in ( $19,40 \pm 1.2$  mg GAE/g) sonuçlarından daha düşük olduğu belirlenmiştir (91-94). Saf su kullanımı, yüksek toplam fenolik bileşik içeriğine sahip sulu sarımsak ekstraktlarının elde edilmesinde etkili olmuştur ve bu durum, aynı zamanda bu çalışmanın sonuçlarıyla da uyumludur (79). Bu sonuçlar, sarımsak ekstraktının zengin toplam fenolik içeriğini göstermekte olup, bu durum antioksidan aktiviteyi de artırabileceğini düşündürmektedir.

### 5.2 Sarımsak Numunelerinin Antioksidan Aktiviteleri

Sarımsak ekstraktının antioksidan profili, çalışmanın planlanmasında önemli bir faktörü oluşturmaktadır: etken olarak sarımsak seçilmesinin ana nedeni, akrilamid oluşum yolunu etkileyebilecek bir antioksidan profili sunmasıdır. Sarımsak bitkisinin antioksidan aktivitesinin zengin fitokimyasal içeriğinden geldiği ileri sürülmektedir (67,95). Çalışmada sarımsak numunelerinin antioksidan aktivitesi, antioksidan molekülden elektron kabul eden DPPH radikalinin kaybolması prensibine dayanan DPPH radikal süpürme aktivitesi ile değerlendirilmiştir. Sarımsak örnekleri  $765 \pm 4$  mg BHTE olarak ölçülen orta düzeyde antioksidan profil sergilemektedir. Fransız, İspanyol, Çin ve Türk sarımsaklarının kıyaslandığı bir çalışmada en yüksek antioksidan aktivite Türk (Taşköprü) sarımsağında gözlenmiştir (89). "Beyaz altın" olarak da bilinen Taşköprü sarımsağı, güçlü aroması, yüksek miktarda içerdiği

çözünür katı madde ve uzun raf ömrü sayesinde Türkiye'deki en popüler sarımsak çeşididir (96).

Çalışmada kullanılan sarımsak örnekleri, çalışma zamanlamasına bağlı olarak üreticiden hasadın dört ay sonrasında temin edilmiştir. Saklama süresi sarımsakların antioksidan kapasitelerini etkilemekte olup, hasat sonrası sekizinci hafta en yüksek değerde ölçülürken takiben azaldığı gösterilmiştir (97).

Hasat sonrası uzun saklama süresi sarımsak örneklerindeki beklenenin altında elde edilen sonuçlarla ilişkilendirilebilmektedir. Üretim süreci, sıcaklık ve kurutma süresi ve polar veya polar olmayan ekstraksiyon çözücülerinin kullanımı, sarımsak ürünlerinde bulunan kimyasallar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (67).

Çalışma düzeneğinde kullanılan su ile elde edilen sarımsak ekstraktının ise metil alkol veya etil alkol ile elde edilen ekstraktlara kıyasla daha düşük miktarda DPPH radikal süpürücü aktivite göstermektedir (98,99). Ancak domestik koşullara uygunluk göz önünde bulundurularak su ile hazırlanan ekstrakt tercih edilmiştir.

### **5.3 Sarımsak Numunelerinin Klorojenik Asit İçerikleri**

Sarımsak ekstraktlarında klorojenik asidin miktarının belirlenmesi, sarımsağın profili ile akrilamid analiz sonuçlarının daha iyi yorumlanması amacıyla önem taşımaktadır. Çalışmamızda sarımsaktaki klorojenik asit miktarı  $5,74 \pm 0,06 \mu\text{g/g}$  olarak saptanmıştır Snirc, sarımsak örneklerinde klorojenik asit içeriğini 17,49-20,2 mg/kg olarak saptarken, Yünlü, sarımsak örneklerinin klorojenik asit içeriğini  $1,6 \pm 0,0 \mu\text{g/g}$  olarak belirlemiştir (73,100).

Ayrıca, mahsullerin fenolik bileşiminin genotipe, agronomik koşullara, çevresel faktörlere, olgunluğa ve hasat sonrası işlemlere bağlı olarak değişebileceği de unutulmamalıdır; tüm bu etkin faktörler çalışmalar arasında gözlemlenen çeşitli sonuçların olası bir açıklaması olabilmektedir (101).

## 5.4 Akriamid Miktarı

### 5.4.1 Kızartma yönteminin akrilamid oluşumu üzerindeki etkisi

Akriamid oluşumunda önemli bir katalizör olan ısının farklı düzeylerde ve yöntemlerdeki maruziyeti literatürde incelenen alanlardan biri olup, bu çalışmanın da amaçlarından birini oluşturmaktadır (10). Çalışma kapsamında farklı pişirme yöntemlerinin akrilamid oluşumuna etkisini incelemek amacıyla tavada kızartma, fırında kızartma ve air-fryer'da kızartma olmak üzere üç farklı yöntem kullanılmıştır. Çalışmamızda, her üç kızartma yöntemi arasında akrilamid oluşum düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlemlenmiştir ( $p \leq 0,01$ ). Tavada kızartılmış kontrol grubu patates kızartmalarında oluşan akrilamid miktarı ile ( $446,76 \mu\text{g}/\text{kg} \pm 15,87$ ), air-fryer'da kızartılmış patates kızartmaları ( $16,06 \mu\text{g}/\text{kg} \pm 3,05$ ) veya fırında kızartılmış patates kızartmaları ( $138,34 \mu\text{g}/\text{kg} \pm 8,07$ ) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaktadır: mevcut bulgular, en az air-fryer'da kızartma sonucunda akrilamid oluştuğunu göstermektedir ( $p \leq 0,01$ ).

Nispeten yeni bir pişirme ekipmanı olan air-fryer'ın, derin yağda kızartma işlemine kıyasla, daha az akrilamid oluşumunu sağlayabileceği yönünde veriler literatürde yer almaktadır (9,56,102–106). Mevcut araştırmalar, çalışmamızın sonucunu doğrular niteliktedir. Dong ve diğerleri, derin yağda kızartmaya kıyasla air-fryer ile kızartmanın, oluşan akrilamid ve 5-hidroksimetilfurfural içeriklerinin maksimum %57,04 ve %47,31 oranlarında daha az olduğunu paylaşmışlardır (107). Sansano ve diğerleri tarafından yürütülen bir diğer çalışmada, derin yağda kızartma yöntemine kıyasla air-fryer'da kızartılan patates kızartmalarında akrilamid içeriğinin %90 oranında daha az oluştuğu saptanmıştır (108). Air-fryer ile kızartmanın, akrilamid oluşumunda azaltıcı etkisinin yanında, sağladığı duyuşsal özellikler açısından da, derin yağda kızartılan alternatifine kıyasla, daha iyi bir ürün alternatifi sunduğu söylenebilmektedir (109). Literatürde yer alan destekleyici çalışmaların aksine, Navruz-Varlı ve Mortaş zıt sonuçlar paylaşmaktadır: air-fryer'da kızartılan patateslerdeki akrilamid miktarı ( $12,19 \pm 7,03 \mu\text{g}/\text{kg}$ ), derin yağda kızartılan patatesler ( $8,94 \pm 9,21 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) ve fırında kızartılan patateslerden ( $7,43 \pm 3,75 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) daha yüksek

miktarda saptanmıştır, ancak aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (110). Bu çelişkili sonuçlara olası bir açıklama, farklı ekipmanlarda kullanılan farklı kızartma sıcaklıklarının seçimi ve yetersiz kızartma süreleri ile yapılabilmektedir (özellikle fırında kızartma tekniğinde, yetersiz bir kızartmanın yaygın olmayan bir kızartma ürünü ortaya çıkmasıyla sonuçlanması şeklindedir). Özellikle hanehalkı kullanım alışkanlıklarına uygun bir araştırma tasarımı planlanırken, tüketicilerin ürün tercihleri özellikle önemlidir. İspanya’da yetişkin bireyler ile gerçekleştirilen bir çalışmada, tüketicilerin %85,3’ünün patates kızartmalarını sonuçlandırma kararını son ürünün rengine göre verdikleri, tercih edilen rengin ise %87,3’lük çoğunluk ile altın sarısı olduğu belirlenmiştir (111). Bu amaçla, araştırmamızda patateslerin kızartma işleminin sonuçlandırılmasında hanehalkı koşullarında hazırlanan alternatiflerine uyumlu duyuşsal özellik taşıması amaçlanmıştır.

Farklı pişirme yöntemlerinde oluşan akrilamid düzeyleri arasındaki farklılık, yöntemler arası değişen yağ miktarına atfedilebilmektedir. Yağ içeriğinin ağırlık olarak %50’nin üzerinde olduğu kızartma ürünleri akrilamid oluşumuna daha duyarlıdır; bu nedenle akrilamid içeriğinin azaltılmasında, ürünün yağ içeriğinin azaldığı alternatif pişirme yöntemlerinin kullanılması da önemli bir stratejidir (112). Air-fryer, yağ damlacıkları içeren sıcak havayı çığ gıda malzemelerinin etrafına yönlendirerek, sıcak hava akımı içindeki gıda ile yağ damlacıkları arasında tek tip bir temas sağlayarak kızartma için yağ ihtiyacını azaltmaktadır (56).

Araştırmalar air-fryer’da gerçekleştirilen kızartma işlemlerinde, derin yağda veya fırında gerçekleştirilen kızartma işlemlerine kıyasla ürüne çok daha az miktarda yağ geçişi olduğunu göstermektedir (113,114). Buna ek olarak, kızartma sürecindeki sıcaklık artışı da akrilamid oluşumunu, yağ oksidasyonunu ve besin ögesi kaybını artırıcı nitelik taşıyabilmektedir (55,115). Air-fryer kullanımı, daha düşük sıcaklıklar uygulamanın yanında daha az miktarda yağ kullanılması ile, daha düşük miktarda akrilamid oluşumu gözlemlenen, daha iyi besin ögesi profiline sahip ürünlerle sonuçlanmaktadır (108). Kızartma için aynı sıcaklık kullanılsa dahi, çalışmamızda da air-fryer gruplarında benzer bir sonuç gözlenmiştir.

Gıda güvenliği ve duyuşal özellikler açısından kıyaslandığında, air-fryer'da ve fırında denk prosedür uygulandığında fırında kızartılan patates kızartmalarının daha iyi ürün oluşturduğu gözlenmiştir; ancak derin yağda kızartma ile kıyaslandığında daha tutarlı ürün sağlaması nedeniyle air-fryer'da kızartma önerilebilmektedir (116,117).

Fırında kızartma sonucu oluşan akrilamid düzeyine yönelik farklı sonuçlara erişilebilirken, sonuçlardaki bu farklılıklar kullanılan fırınlar arasındaki farklılıklara, kullanılan farklı kızartma sıcaklıklarına atfedilebilmektedir; tüm bu karıştırıcı faktörler özellikle hane uygulamalarının incelendiği çalışmalarda üzerinde dikkat edilmesi gereken noktaları oluşturmaktadır. Çalışmamızda fırında kızartılan patateslerde, tavada kızartılan patateslere kıyasla, daha düşük miktarda akrilamid oluştuğu saptanmıştır ( $p \leq 0,01$ ). İstatiksel olarak anlamlı bulunan bu farklılık literatürdeki bulgular ile uyumludur (85,118).

Patates kızartmalarında akrilamid oluşumu, kahverengileşme ile paralel olarak gerçekleşmektedir (119). Maillard reaksiyonunun derecesi genellikle gıda yüzeylerindeki renk değişimleriyle yansıtılmaktadır (107). Kontrollü laboratuvar koşullarında (119), yemek servisi veren kurumlarda (120), okul kantinlerinde (121) ve hanelerde (60) patates kızartmalarının rengi ile akrilamid içeriği arasında doğrudan bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Sarımsak ekstraktının patates kızartmalarındaki renk değişimi üzerindeki etkisini görsel olarak göstermek için hem kontrol hem de örnek gruplarından alınan görüntüler Şekil 16'da sunulmuştur. Çalışmamızda patates kızartmalarının rengi ile analiz edilen akrilamid miktarı arasında gözlemsel bir ilişki kurulamamıştır. Daha kapsamlı ve ölçülebilir bir analiz için, gelecekteki çalışma tasarımlarına kolorimetrik bir analizin dahil edilmesi daha faydalı olacaktır.

#### **5.4.2 Sarımsak müdahalesinin akrilamid oluşumu üzerindeki etkisi**

Çeşitli bitki ekstraktlarının, ekstraktta bulunan antioksidan çeşidine, konsantrasyonlarına ve saflıklarına başlıca bağlı olmak üzere, akrilamid oluşumunda %60 oranına varan miktarlarda istatiksel olarak anlamlı bir azalma sağladığı

bildirilmektedir (10). Antioksidanların bu olası etkinliği için temel anahtar faktör, kızartma esnasındaki antioksidatif etkinliğini sağlayacak olan yağda çözünlüğüdür. Bu duruma bir örnek sonuç niteliği taşıyacak çalışmada, üzüm çekirdeğinde yer alan lipofilik proantosiyanidin akrilamidin oksidasyonunu bloke ederek akrilamid oluşumunu azalttığı gözlenmiştir. Doğal antioksidanların akrolein yolağı ve asparajin yolağındaki öncüller ile etkileşime girerek akrilamid oluşumunu etkileyebileceği düşünölmektedir; ancak etki mekanizması tam olarak aydınlatılmamıştır (122).

Antioksidanların akrilamid oluşumunu azaltma yönünde umut verici koruyucu etkinliğinin yanında, akrilamid oluşumunu arttırdığına yönelik de sonuçlar literatürde artmaktadır. Yaygınlıkla kullanılan bir antioksidan olan zerdeçalın akrilamid oluşumundaki etkisini gözlemek isteyen bir araştırmada zerdeçalın akrilamid oluşumuna katkıda bulunduğu gösterilmiştir. Araştırmacılar bu etkinin antioksidanların karbonil gruplarının reaktivitesi ile asparajinle etkileşerek akrilamid oluşumuna yol açmasıyla bağlantılı olduğunu paylaşmaktadırlar. Düşük miktarda serbest şeker ve göreceli olarak yüksek miktarda asparajin içeren durumlara ise daha fazla dikkat gösterilmesi gerekmektedir; bu senaryonun, uzun süreli ısıtma üzerine antioksidanların eklenmesiyle daha yüksek miktarda akrilamid oluşumuna yol açtığı raporlanmıştır (123).

Doğal polifenoller ise radikal süpürücü aktiviteleri, karbonil yakalama etkileri ve Maillard reaksiyonu yoluyla şeker bozunmasını sınırlamaları sayesinde sentetik antioksidanlara alternatif olarak tercih edilmektedir (124). Gıda katkı maddesi olarak polifenoller ve yüksek miktarda polifenol içeren bazı bitki ekstraktları, sentetik polifenollere kıyasla, daha güvenli ve daha çok kabul gören bir alternatiftir; dolayısıyla günlük beslenmenin önemli bir bileşenini oluşturmaktadırlar (125). Ancak halen polifenollerin akrilamid oluşumuyla ilişkisine yönelik çelişen bulgular halen bulunmaktadır. Hem model sistemde hem de taze patates modelinde sızma zeytinyağı fenolik ekstrakt ilavesinin antioksidan kapasitesinde azalma ve akrilamid oluşumunda artışla (sızma zeytinyağı ile doğal olarak oluşun miktarın on katında) sonuçlanmıştır. Hidroksitirozol ve tirozol türevleri bu etkinin sorumlu fenolik bileşikleridir (126). Aynı zamanda polifenollerin, ekzojen olarak ilave edildiğinde, fırıncılık ürünlerinde

akrilamid oluşumunu azalttığı bildirilmektedir (127). Cheng ve diğerleri, distile sudaki eşit molar kantitedeki glukoz ve asparajın içeren kimyasal modellerde aynı sıcaklık ve zaman süresini kullanarak doğal gıda katkı maddelerinin akrilamid oluşumunu engelleyici etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Elma, yabanmersini, mangosten, longan ve beyaz ve kırmızı ejder meyveleri gibi çeşitli meyve ekstraktları arasında yalnızca elma ekstraktı hem en yüksek miktarda fenolik bileşik düzeyi hem de istatistiksel olarak anlamlı düzeyde inhibitör etki göstermiştir ( $p < 0.05$ ). Yabanmersini, mangosten ve longan ekstraktlarıyla maruziyet, akrilamid oluşumunu istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağlamamıştır. Proantosiyanidin, phloridzin ve phloretin gibi elma polifenollerinin bu engelleyici etkisinin arkasında simüle edilen fizyolojik koşullarda reaktif karbonil gruplarını etkili bir şekilde yakalarken, Maillard reaksiyonunda oluşan reaktif karbonilleri temizliyor olabilecekleri düşünülmektedir. Ancak ejder meyvesi ekstraktının akrilamid oluşumuna katkıda bulunduğu, eklenmesini takiben akrilamid oluşumunda artış olduğu gözlenmiştir. Bu etkilerin müdahale dozundan bağımsız olduğu paylaşılmıştır (128). Literatürdeki sonuçlara benzer şekilde, antioksidanlar, polifenoller ve akrilamid oluşumu arasındaki çelişkili sonuçlar çalışmamızda da gözlemlenmiştir. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, sarımsak maruziyeti, air-fryer kullanılarak elde edilen patates kızartmalarında akrilamid oluşumunu artırmıştır (sırasıyla  $16,06 \pm 3,05 \mu\text{g/kg}$  ve  $311,95 \pm 0,5 \mu\text{g/kg}$ ) ve aynı durum fırında pişirilen örnekler için de geçerli olmuştur ( $138,34 \pm 8,07 \mu\text{g/kg}$  ve  $270,32 \pm 23,4 \mu\text{g/kg}$ ,  $p < 0,005$ ). Öte yandan, tavada kızartmada iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $446,76 \pm 15,87 \mu\text{g/kg}$  ve  $441,21 \pm 8,08 \mu\text{g/kg}$ ).

Sarımsağın akrilamid oluşumunu arttırıcı sonucunun arkasındaki en çok tartışılan etkenlerden biri klorojenik asidin etkisidir. Sarımsak maruziyeti yoluyla eklenen ve daha önce miktarı belirlenen klorojenik asidin, akrilamid oluşumunu anlamlı ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir; sarımsak ekstraktındaki klorojenik asit içeriği, sarımsak ekstraktına maruz kalan patates kızartmalarında akrilamid içeriğinde bir artış eğilimine yol açmış olabilmektedir. Bu etki belirli tipteki fenol antioksidanların akrilamid oluşumunu artırdığı yönündeki hipotezimizi doğrulamaktadır. Cai ve diğerleri, asparajın/glukoz Maillard reaksiyon sistemine klorojenik asit ilavesinin akrilamid

oluşumunu anlamlı düzeyde arttırdığını bildirmişlerdir. Bu etki, akrilamid oluşumundaki daha etkili bir öncül olan hidroksimetilfurfural (HMF) oluşumunu artırma yeteneğiyle, 3-aminopropionamidin (3-APA) akrilamide dönüşümü için gereken aktivasyon enerjisini düşürmesi, 3-APA'dan deaminasyonu hızlandırması ve üretilen akrilamidin serbest radikaller tarafından saldırıya uğramasını önlemesi ile ilişkilendirilmektedir (129).

Kuru sıcaklıklarda asparajın ile reaksiyona girerek akrilamid oluşturan 5-hidroksimetilfurfural (5-HMF), Maillard reaksiyonunun bir diğer ara ürünüdür. 5-HMF düzeyi, akrilamid oluşumunu azaltmayı hedefleyen çalışmalarda kullanılabilir bir diğer faydalı ölçümdür (130).

Asparajın ile ısıtıldığında, HMF'nin glukoza kıyasla daha fazla akrilamid üretebildiği belirtilmiştir; dolayısıyla, yeni oluşan HMF miktarının artması, akrilamid oluşumunu da artırabilmektedir. Öte yandan, deaminasyon sürecinin ardından akrilamide dönüşen bir diğer öncül olan 3-APA, klorojenik asidin varlığında daha düşük aktivasyon enerjisi gerektirmiş ve deaminasyon süreci hızlanmıştır, bu da akrilamid oluşumunda artışa yol açan bir başka faktördür. Maillard reaksiyonu tarafından üretilen serbest radikaller akrilamidi yok edebilme kapasitesine sahip olsa da, klorojenik asit sistemin redoks potansiyelini artırmış olup, akrilamidin oksidasyon ve serbest radikal reaksiyonları yoluyla elimine edilmesini engellemiştir (129).

Çalışmamızda sarımsak gruplarında akrilamid oluşumunu arttıran faktörün literatürle uyumlu olarak sarımsağın klorojenik asit içeriğiyle ilişkili olabileceği ortaya konulmuştur. Ancak klorojenik asidin gıda bileşeninde doğal olarak var olması, Kalita ve diğerlerinin gösterdiği üzere, karışık sonuçlar sunabilmektedir. Patates yumrularında yer alan polifenollerin akrilamid oluşturma kapasiteleri incelenmiştir. Bu amaçla, polifenol içeriklerinin göstergesi olarak farklı kabuk renklerine sahip farklı çeşitlerde yetiştirilen patatesler analiz edilmiştir. Araştırmacılar sarı ve beyaz etli yumruların, kırmızı ve mor etli patates yumrularına göre daha yüksek AA seviyelerine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir; elde edilen bu sonuç, daha yüksek fenolik ve klorojenik asit ile ilişkilendirilebilmektedir (131).

Sarımsağın klorojenik asidin yanında, çeşitli fenolik bileşiklere sahip olduğu gösterilmiştir. Hem tiyosülfinatlar hem de fenolik bileşikler sarımsakta sergiledikleri iyi antioksidan aktiviteleri ile tanınmaktadır (72,132). Bu rollerinden dolayı, bu bileşiklerin akrilamid oluşumunu azaltmada etkili olabildikleri de gözlenmiştir. Sarımsağın çeşitli aktivitelerini gözlemleyen birçok çalışma, sarımsaktaki ana aktif bileşen olan tiyosülfinatları merkeze almış olup, sarımsağın biyolojik aktivitelerinin çoğunluğunu alliinaz reaksiyonu altında allinden oluşan kükürtlü bileşiklere atfetmektedir (66,75). Sarımsak tozundaki ana aktif bileşen olan allisine odaklanan ilk çalışma, allisinin sarımsak tozu formunda kullanıldığında akrilamid oluşumunun azaltılmasında etkili olduğunu gözlemlemiştir. Azaltıcı etkinin özellikle sarımsak tozunun fırında kurutma yerine dondurarak kurutma yoluyla elde edildiğinde daha da yüksek oranda olduğu belirtilmiştir. Sarımsak tozunun bu azaltıcı etkisi, amino asit ve asparajin reaksiyonunu inhibe eden, sonuçta azalmış Schiff bazı oluşumuna yol açan allisin bileşiğinin antioksidan özelliği ile ilişkilendirilmiştir (75). Bir diğer çalışmada ise, asparajin/glukoz düşük-nemli model sistemde sarımsak tozunun akrilamid oluşumunu %43 oranında azalttığı saptanmıştır (76). Çalışmamızda ise, düzeneğin ev ortamında uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla, sarımsak tozu yerine sarımsak ekstraktı kullanılmıştır.

Çalışmamızda sarımsak müdahalesinin akrilamid oluşumuna ilişkin sonuçlar elde edilirken, akrilamidin biyoyararlanımı üzerindeki etkisi incelenmemiştir. Ağız yoluyla alımını takiben serbest AA gastrointestinal kanaldan emilerek, hızla sistemik olarak dokulara dağılmaktadır. Dokularda gözlemlenen genotoksik ve kanserojen profilinin arkasında ise ana sorumlu olarak dokularda metabolize edildiği glisidamid bileşiği yer almaktadır. Akrilamid ve metabolik ürünü glisidamidin sağlık üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, biyoyararlanımının azaltılması oldukça önemlidir (3). Martinez ve diğerleri, akrilamidin biyoyararlanımını gözlemlemiş ve özellikle sindirimin gastrik fazı sırasında, yeni üretilen küçük peptit zincirlerinin ve sistein ve lizin gibi bazı amino asit kalıntılarının hepsinin pepsinin çalışmasıyla ilişkili olan, akrilamid ile etkileşime girme ve addüktler oluşturma yeteneğine sahip olduğunu ve bunun da akrilamid emiliminin azalmasına neden olduğunu bulmuşlardır (133). Bir diğer çalışmada, Kaliforniya tarzı siyah zeytinlerdeki akrilamidi kıyaslamak için zeytin yaprağı

ekstraktlarının kullanıldığı bir diğer çalışmada, gruplar arasında gastrointestinal sindirimdeki akıbetlerinde bir fark bulunmamasına rağmen, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında ekstrakt müdahalesi olan grupta akrilamid miktarının azaldığı, bu azalmanın da artan antioksidandan kaynaklandığı gözlemlenmiştir (134). Bu iki çalışma, akrilamid-gıda matrisi etkileşimlerini, özellikle protein kaynaklarının varlığının in vitro gastrointestinal sindirim sırasında ve sonrasında biyoerişilebilirliğinde bir azalmaya neden olduğunu vurgulamaktadır. Ancak bunun tersi sonuçlar sunan çalışmalar da bulunmaktadır (26). Patates kızartmasından kaynaklanan akrilamid söz konusu olduğunda, sonuç biraz değişmektedir; Hamzalıoğlu ve Gökmen, patates kızartmasından kaynaklanan akrilamid miktarında gastrik sindirimden sonra anlamlı bir artış bulunduğunu belirtmektedirler. Bu artış ise, patateslerde biriken Schiff bazı gibi ara maddelerin gastrik sindirim sırasında akrilamide dönüşümü ile ilişkilendirilmiştir (135). Bu nedenle, sarımsak müdahalesinin akrilamid emilimi üzerindeki etkisi, akrilamid maruziyeti açısından nihai sonuca varmadan önce üzerinde çalışılması gereken önemli bir alandır.

## 6 SONUÇ

Çalışmamızda sarımsak ekstraktının farklı pişirme yöntemleri ile elde edilen patates kızartmalarındaki akrilamid oluşumuna etkisi gözlemlenmiştir. Literatürdeki sarımsak tozunun etkinliğini vurgulayan çalışmaların aksine, sulu sarımsak ekstraktının patates kızartmalarında akrilamid oluşumunu arttırıcı etkiye sahip olduğu gösterilmiştir ( $p < 0,001$ ). Çalışmamız, akrilamid oluşumunda antioksidan bileşenlerin, özellikle klorojenik asit aracılığı ile, olumsuz etkisine örnek teşkil edecek şekilde yorumlanarak çelişkili literatüre katkı sağlayacaktır. Mevcut çalışma, patates kızartmalarında akrilamid oluşum düzeyini analiz etmek için farklı pişirme tekniklerinde sulu sarımsak özütünün kullanımına ilişkin ilk sonuçları sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda farklı konsantrasyonlara sahip sarımsak ekstraktlarının uygulanması, ekstraktının etkilerinin tam olarak değerlendirilmesi için faydalı olacaktır.

Literatürde yeterince araştırılmamış bir alan olan ev koşullarıyla uyumlu bir şekilde farklı güncel pişirme tekniklerinde akrilamid oluşumundaki varyasyonlara çalışmamızda ışık tutulmaktadır. Kızartma yöntemlerinin seçimine odaklanan bulgulara dayanarak, oluşan AA miktarının üç kızartma türü arasında anlamlı ölçüde değiştiği gözlenmiştir ( $p < 0,01$ ). Geçmiş çalışmalarla uyumlu olarak, air-fryer'da en düşük akrilamid seviyelerinin oluşması nedeniyle, air-fryer'ın kullanılmasının akrilamid alımını azaltmada faydalı bir alternatif olabileceği söylenebilmektedir. Ancak, ev uygulamalarıyla ilgili akrilamid alımını azaltmak için çeşitli kızartma ekipmanlarını içeren daha bilgilendirici tarifler ve standartların hazırlanması, toplum genelinde akrilamid maruziyetinin azaltılması yönünde izlenebilecek bir strateji olabilir.

Çalışmamızın en büyük sınırlılığı, yalnızca akrilamid oluşumunun ana yolu olan Maillard reaksiyonunun değerlendirilmiş olmasıdır. Bu yaklaşım, indirgen şeker ve katalistlerin yokluğunda akrilamid oluşumunu sağlayan, asparajinden 3-APA yoluyla akrilamid oluşum yolağını gözlemlememesi nedeniyle eleştirilebilir. Farklı pişirme

yöntemleriyle patates kızartmalarında akrilamid oluşumunda farklı katkı maddelerinin etkisini daha kapsamlı ele almak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.



## 7 KAYNAKLAR

1. Rifai, Lubna, Fatima A. Saleh. A review on acrylamide in food: Occurrence, toxicity, and mitigation strategies. *International Journal of Toxicology* 2020; 39(2): 93-102.
2. Koszucka, A., Nowak, A., Nowak, I., Motyl, I. Acrylamide in human diet, its metabolism, toxicity, inactivation and the associated European Union legal regulations in food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2020; 60(10):1677-1692.
3. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific opinion on acrylamide in food. *EFSA J.* 2015, 13, 4104.
4. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Meeting, & World Health Organization, 2011, Evaluation of certain contaminants in food: Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (Vol. 72). World Health Organization.
5. Ferreira, F. S., Sampaio, G. R., Keller, L. M., Sawaya, A. C., Chávez, D. W., Torres, E. A., Saldanha, T. Impact of air frying on cholesterol and fatty acids oxidation in sardines: Protective effects of aromatic herbs. *Journal of Food Science* 2017; 82(12), 2823-2831.
6. Abt, E., Incorvati, V., Robin, L. P. Acrylamide: Perspectives from international, national, and regional exposure assessments. *Current Opinion in Food Science* 2022; 47, 100891.
7. Basaran, B. Estimation of the Dietary Acrylamide Exposure of the Turkish Population: An Emerging Threat for Human Health. *Nutrients* 2024; 16(18), 3088.
8. Teruel, M. D. R., Gordon, M., Linares, M. B., Garrido, M. D., Ahromrit, A., Niranjani, K. A comparative study of the characteristics of French fries produced by deep fat frying and air frying. *Journal of Food Science* 2015; 80(2),349-358
9. Santos, C. S., Cunha, S. C., Casal, S. Domestic low-fat “frying” alternatives: Impact on potatoes composition. *Food Science & Nutrition* 2018; 6(6), 1519-1526.
10. Maan, A. A., Anjum, M. A., Khan, M. K. I., Nazir, A., Saeed, F., Afzaal, M., Aadil, R. M. Acrylamide formation and different mitigation strategies during food processing—a review. *Food Reviews International* 2022; 38(1), 70-87.
11. Li, D., Chen, Y., Zhang, Y., Lu, B., Jin, C., Wu, X., Zhang, Y. Study on mitigation of acrylamide formation in cookies by 5 antioxidants. *Journal of Food Science* 2012; 77(11), 1144-1149.
12. Jin, C., Wu, X., Zhang, Y. Relationship between antioxidants and acrylamide formation: A review. *Food Research International* 2013; 51(2), 611-620.
13. Borczak, B., Sikora, M., Kapusta-Duch, J., Fołta, M., Szewczyk, A., Zięć, G., ... & Leszczyńska, T. Antioxidative properties and acrylamide content of functional wheat-flour cookies enriched with wild-grown fruits. *Molecules* 2022; 27(17), 5531
14. Constantinou, C., Koutsidis, G. (2016). Investigations on the effect of antioxidant type and concentration and model system matrix on acrylamide formation in model Maillard reaction systems. *Food Chemistry* 2016; 197, 769- 775.

15. Lund, M. N., Ray, C. A. Control of Maillard reactions in foods: Strategies and chemical mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2017; 65(23), 4537-4552.
16. Peivasteh-Roudsari, L., Karami, M., Barzegar-Bafrouei, R., Samiee, S., Karami, H., Tajdar-Oranj, B., ... & Mousavi Khaneghah, A. Toxicity, metabolism, and mitigation strategies of acrylamide: a comprehensive review. *International Journal of Environmental Health Research* 2024; 34(1), 1-29.
17. Govindaraju, I., Sana, M., Chakraborty, I., Rahman, M. H., Biswas, R., Mazumder, N. Dietary acrylamide: a detailed review on formation, detection, mitigation, and its health impacts. *Foods* 2024; 13(4), 556.
18. Liska, D. J., Cook, C. M., Wang, D. D., Szpylka, J. Maillard reaction products and potatoes: have the benefits been clearly assessed?. *Food Science & Nutrition* 2016; 4(2), 234-249.
19. Jiang, D., Wang, S., Li, H., Xu, L., Hu, X., Barati, B., Zheng, A. Insight into the mechanism of glycerol dehydration and subsequent pyridine synthesis. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 2021; 9(8), 3095-3103.
20. Khorshidian, N., Yousefi, M., Shadnoush, M., Siadat, S. D., Mohammadi, M., Mortazavian, A. M. Using probiotics for mitigation of acrylamide in food products: a mini review. *Current Opinion in Food Science* 2020; 32, 67-75.
21. Lee, J. S., Han, J. W., Jung, M., Lee, K. W., Chung, M. S. Effects of thawing and frying methods on the formation of acrylamide and polycyclic aromatic hydrocarbons in chicken meat. *Foods* 2020; 9(5), 573.
22. Timmermann, C. A. G., Mølck, S. S., Kadawathagedara, M., Bjerregaard, A. A., Törnqvist, M., Brantsæter, A. L., Pedersen, M. A review of dietary intake of acrylamide in humans. *Toxics* 2021; 9(7), 155
23. Kocadağlı, T., Gökmen, V. (2024). Metabolism of acrylamide in humans and biomarkers of exposure to acrylamide. In *Acrylamide in food*. Academic Press, 2024. p. 111-129.
24. Aktağ, I. G., Hamzalıoğlu, A., Kocadağlı, T., Gökmen, V. Dietary exposure to acrylamide: A critical appraisal on the conversion of disregarded intermediates into acrylamide and possible reactions during digestion. *Current Research in Food Science* 2022; 5, 1118-1126.
25. González-Mulero, L., Mesías, M., Morales, F. J., Delgado-Andrade, C. Assessment of the acrylamide bioaccessibility in cereal and potato-based foods after in vitro digestion. *Food Research International* 2022; 161, 111820.
26. Sansano, M., Heredia, A., Peinado, I., Andrés, A. Dietary acrylamide: What happens during digestion. *Food Chemistry* 2017; 237, 58-64.
27. Perera, D. N., Hewavitharana, G. G., Navaratne, S. B. Comprehensive study on the acrylamide content of high thermally processed foods. *Biomed Research International* 2021; 2021(1), 6258508.
28. Filippini, T., Halldorsson, T. I., Capitão, C., Martins, R., Giannakou, K., Hogervorst, J., ... & Laguzzi, F. Dietary acrylamide exposure and risk of site-specific cancer: a systematic review and dose-response meta-analysis of epidemiological studies. *Frontiers in Nutrition* 2022; 9, 875607.

29. Zhivagui, M., Ng, A. W., Ardin, M., Churchwell, M. I., Pandey, M., Renard, C., ... & Zavadil, J. Experimental and pan-cancer genome analyses reveal widespread contribution of acrylamide exposure to carcinogenesis in humans. *Genome Research* 2019; 29(4), 521-531.
30. Xu, Y., Cui, B., Ran, R., Liu, Y., Chen, H., Kai, G., Shi, J. Risk assessment, formation, and mitigation of dietary acrylamide: current status and future prospects. *Food and Chemical Toxicology* 2014; 69, 1-12.
31. Virk-Baker, M. K., Nagy, T. R., Barnes, S., Groopman, J. Dietary acrylamide and human cancer: a systematic review of literature. *Nutrition and Cancer* 2014; 66(5), 774-790.
32. Friedman, M. Acrylamide: inhibition of formation in processed food and mitigation of toxicity in cells, animals, and humans. *Food & Function* 2015; 6(6), 1752-1772.
33. Erkekoglu, P., Baydar, T. Acrylamide neurotoxicity. *Nutritional Neuroscience* 2014; 17(2), 49-57..
34. Zhao, M., Zhang, B., Deng, L. The mechanism of acrylamide-induced neurotoxicity: current status and future perspectives. *Frontiers in Nutrition* 2022; 9, 859189.
35. Liu, Z. M., Tse, L. A., Chen, B., Wu, S., Chan, D., Kowk, T., ... & Wong, S. Y. S. Dietary acrylamide exposure was associated with mild cognition decline among non-smoking Chinese elderly men. *Scientific Reports* 2017; 7(1), 6395..
36. Kumar, J., Das, S., Teoh, S. L. Dietary acrylamide and the risks of developing cancer: Facts to ponder. *Frontiers in Nutrition* 2018; 5, 323710.
37. Zhang, L., Yang, L., Luo, Y., Dong, L., Chen, F. Acrylamide-induced hepatotoxicity through oxidative stress: mechanisms and interventions. *Antioxidants & Redox Signaling* 2023; 38(16), 1122-1137
38. Kurebayashi, H., Ohno, Y. Metabolism of acrylamide to glycidamide and their cytotoxicity in isolated rat hepatocytes: protective effects of GSH precursors. *Archives of Toxicology* 2006; 80, 820-828.
39. Liu, Y., Wang, R., Zheng, K., Xin, Y., Jia, S., Zhao, X. Metabonomics analysis of liver in rats administered with chronic low-dose acrylamide. *Xenobiotica* 2020; 50(8), 894-905.
40. Huang, M., Jiao, J., Wang, J., Xia, Z., Zhang, Y. Exposure to acrylamide induces cardiac developmental toxicity in zebrafish during cardiogenesis. *Environmental Pollution* 2018; 234, 656-666.
41. Wang, A., Chen, X., Wu, S., Jia, W., Jiao, J., Zhang, Y. Unraveling the serum metabolomic profile of acrylamide-induced cardiovascular toxicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2021; 69(40), 12012-12020.
42. Wang, B., Wang, X., Yu, L., Liu, W., Song, J., Fan, L., ... & Chen, W. Acrylamide exposure increases cardiovascular risk of general adult population probably by inducing oxidative stress, inflammation, and TGF- $\beta$ 1: A prospective cohort study. *Environment International* 2022; 164, 107261.
43. Shipp, A., Lawrence, G., Gentry, R., McDonald, T., Bartow, H., Bounds, J., ... & Van Landingham, C. Acrylamide: review of toxicity data and dose-response analyses for cancer and noncancer effects. *Critical Reviews in Toxicology* 2006; 36(6-7), 481-608.

44. Hogervorst, J. G., Schouten, L. J. Dietary acrylamide and human cancer; even after 20 years of research an open question. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2022; 116(4), 846-847.
45. Seify, M., Abedpour, N., Talebi, S. F., Hazari, V., Mehrara, M., Koohestanidehaghi, Y., ... & Bhandari, R. K. Impacts of Acrylamide on testis and spermatozoa. *Molecular Biology Reports* 2024; 51(1), 739
46. Zhao, S., Zhong, H., Geng, C., Xue, H., Wang, C., Sun, W., ... & Jiang, P. Comprehensive analysis of metabolic changes in rats exposed to acrylamide. *Environmental Pollution* 2021; 287, 117591.
47. Shi, J., Shao, Z., Li, H., Zhang, Y., Wang, S. Co-extraction and co-purification coupled with HPLC-DAD for simultaneous detection of acrylamide and 5-hydroxymethyl-2-furfural in thermally processed foods. *Molecules* 2019; 24(20), 3734
48. Michalak, J., Gujska, E., Kuncewicz, A. RP-HPLC-DAD studies on acrylamide in cereal-based baby foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 2013; 32(1), 68-73.
49. Basaran, B., Faiz, O. Determining the levels of acrylamide in some traditional foods unique to Turkey and risk assessment. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research* 2022; 21(1).
50. European Commission. Commission Regulation (EU) 2017/2158 of 20 November 2017 establishing mitigation measures and benchmark levels for the reduction of the presence of acrylamide in food. *Off. J. Eur. Union*, 2017, 304, 24-44.
51. Robertson, T. M., Alzaabi, A. Z., Robertson, M. D., Fielding, B. A. Starchy carbohydrates in a healthy diet: the role of the humble potato. *Nutrients* 2018; 10(11), 1764.
52. Palazoğlu, T. K., Gökmen, V. Development and experimental validation of a frying model to estimate acrylamide levels in French fries. *Journal of Food Science* 2008; 73(3), 109-114
53. Viklund, G. Å., Olsson, K. M., Sjöholm, I. M., Skog, K. I. Impact of harvest year on amino acids and sugars in potatoes and effect on acrylamide formation during frying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2008; 56(15), 6180-6184.
54. Zaghi, A. N., Barbalho, S. M., Guiguer, E. L., Otoboni, A. M. Frying process: From conventional to air frying technology. *Food Reviews International* 2019;35(8), 763-777
55. Rani, L., Kumar, M., Kaushik, D., Kaur, J., Kumar, A., Oz, F., ... & Oz, E. A Review on the frying process: methods, models and their mechanism and application in the food industry. *Food Research International* 2023; 172, 113176.
56. Wang, Y., Wu, X., McClements, D. J., Chen, L., Miao, M., Jin, Z. Effect of new frying technology on starchy food quality. *Foods* 2021; 10(8), 1852.
57. Devi, S., Zhang, M., Ju, R., Bhandari, B. Recent development of innovative methods for efficient frying technology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2021; 61(22), 3709-3724..
58. Isleroglu, H., Kemerli, T., Özdestan, Ö., Üren, A., Kaymak-Ertekin, F. Effect of oven cooking method on formation of heterocyclic amines and quality characteristics of chicken patties: Steam-assisted hybrid oven versus convection ovens. *Poultry Science* 2014; 93(9), 2296-2303.
59. Coria-Hernández, J., Arjona-Román, J. L., Meléndez-Pérez, R. Comparative study of conventional frying and air frying on the quality of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Food Science & Nutrition* 2023; 11(10), 6676-6685.

60. Mesias, M., Delgado-Andrade, C., Holgado, F., Morales, F. J. Acrylamide content in French fries prepared in households: A pilot study in Spanish homes. *Food Chemistry* 2018; 260, 44-52..
61. Sanny, M., Jinap, S., Bakker, E. J., Van Boekel, M. A. J. S., Luning, P. A. Possible causes of variation in acrylamide concentration in French fries prepared in food service establishments: An observational study. *Food Chemistry* 2012; 132(1), 134-143.
62. Johnson, A. M., Porter, G., Camire, M. E. Low-acrylamide French fry acceptance: A pilot study. *Journal of Food Science* 2019; 84(12), 3717-3725
63. Ghanati, K., Shafaroodi, H., Basaran, B., Moslemizadeh, A., Mahdavi, V., Sadighara, M., ... & Sadighara, P. Strategies to reduce neurotoxic acrylamide in biscuits, a systematic review. *Toxicology Reports* 2024; 101751.
64. Abedini, A. H., Vakili Saatloo, N., Salimi, M., Sadighara, P., Alizadeh Sani, M., Garcia-Oliviera, P., ... & Jafari, S. M. The role of additives on acrylamide formation in food products: A systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2024; 64(10), 2773-2793
65. Kahkeshani, N., Saeidnia, S., Abdollahi, M. Role of antioxidants and phytochemicals on acrylamide mitigation from food and reducing its toxicity. *Journal of Food Science and Technology* 2015; 52, 3169-3186.
66. Borlinghaus, J., Foerster, J., Kappler, U., Antelmann, H., Noll, U., Gruhlke, M. C., Slusarenko, A. J. Allicin, the odor of freshly crushed garlic: A review of recent progress in understanding allicin's effects on cells. *Molecules* 2021; 26(6), 1505.
67. Farhat, Z., Scheving, T., Aga, D. S., Hershberger, P. A., Freudenheim, J. L., Hageman Blair, R., ... & Mu, L. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Several Garlic Forms. *Nutrients* 2023; 15(19), 4099
68. Farhat, Z., Hershberger, P. A., Freudenheim, J. L., Mammen, M. J., Hageman Blair, R., Aga, D. S., Mu, L. Types of garlic and their anticancer and antioxidant activity: A review of the epidemiologic and experimental evidence. *European Journal of Nutrition* 2021; 1-25
69. Ajanaku, C. O., Ademosun, O. T., Atohengbe, P. O., Ajayi, S. O., Obafemi, Y. D., Owolabi, O. A., ... & Ajanaku, K. O. Functional bioactive compounds in ginger, turmeric, and garlic. *Frontiers in Nutrition* 2022; 9, 1012023.
70. Bar, M., Binduga, U. E., Szychowski, K. A. Methods of isolation of active substances from garlic (*Allium sativum* L.) and its impact on the composition and biological properties of garlic extracts. *Antioxidants* 2022; 11(7), 1345.
71. Ansary, J., Forbes-Hernández, T. Y., Gil, E., Cianciosi, D., Zhang, J., Elempuru-Zabaleta, M., ... & Battino, M. Potential health benefit of garlic based on human intervention studies: A brief overview. *Antioxidants* 2020; 9(7), 619.
72. Shang, A., Cao, S. Y., Xu, X. Y., Gan, R. Y., Tang, G. Y., Corke, H., ... & Li, H. B. Bioactive compounds and biological functions of garlic (*Allium sativum* L.). *Foods* 2019; 8(7), 246.
73. Šnirc, M., Lidiková, J., Čeryová, N., Pintér, E., Ivanišová, E., Musilová, J., ... & Rybníkář, S. Mineral and phytochemical profiles of selected garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. *South African Journal of Botany* 2023; 158, 319-325.

74. Yang, D., He, Z., Wang, Z., Fang, Q., Oz, F., Chen, J., Zeng, M. Processing stage-guided effects of spices on the formation and accumulation of heterocyclic amines in smoked and cooked sausages. *Food Bioscience* 2022; 47, 101776.
75. Li, X., Teng, W., Liu, G., Guo, F., Xing, H., Zhu, Y., Li, J. Allicin promoted reducing effect of garlic powder through acrylamide formation stage. *Foods* 2022; 11(16), 2394.
76. Li, J., Zuo, J., Qiao, X., Zhang, Y., Xu, Z. Effect of garlic powder on acrylamide formation in a low-moisture model system and bread baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2016; 96(3), 893-899.
77. Tajner-Czopek, A., Kita, A., Rytel, E. Characteristics of french fries and potato chips in aspect of acrylamide content—Methods of reducing the toxic compound content in ready potato snacks. *Applied Sciences* 2021; 11(9), 3943.
78. Başaran, B., Turk, H. The influence of consecutive use of different oil types and frying oil in French fries on the acrylamide level. *Journal of Food Composition and Analysis* 2021; 104, 104177.
79. Cavalcanti, V. P., Aazza, S., Bertolucci, S. K. V., Rocha, J. P. M., Coelho, A. D., Oliveira, A. J. M., ... & Dória, J. Solvent mixture optimization in the extraction of bioactive compounds and antioxidant activities from garlic (*Allium sativum* L.). *Molecules* 2021; 26(19), 6026
80. Sermenli, M. H. Farklı yöntemlerle elde edilmiş sarımsak (*Allium sativum* L.) ekstraktlarının antimutagenik etkilerinin araştırılması. Master's thesis, 2006, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
81. Bardakci, H., Barak, T. H., Özdemir, K., Celep, E. Effect of brewing material and various additives on polyphenolic composition and antioxidant bioactivity of commercial *Tilia platyphyllos* Scop. infusions. *Journal of Research in Pharmacy* 2020; 24(1).
82. Barak, T. H., Celep, E., İnan, Y., Yeşilada, E. In vitro human digestion simulation of the bioavailability and antioxidant activity of phenolics from *Sambucus ebulus* L. fruit extracts. *Food Bioscience* 2020; 37, 100711.
83. Barak, T. H., Celep, İ. K., Şentürk, T. B., Bardakci, H., Celep, E. In vitro antiaging potential evaluation of *Maclura pomifera* (Rafin.) Schneider 80% methanol extract with quantitative HPTLC analysis. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences* 2022; 19(4), 400-407.
84. Negoită, M., Mihai, A. L., Horneț, G. A. Influence of water, NaCl and citric acid soaking pre-treatments on acrylamide content in french fries prepared in domestic conditions. *Foods* 2022; 11(9), 1204.
85. Nguyen, K. H., Nielsen, R. H., Mohammadifar, M. A., Granby, K. Formation and mitigation of acrylamide in oven baked vegetable fries. *Food Chemistry* 2022; 386, 132764
86. Ahmad, M. M., Qureshi, T. M., Mushtaq, M., Aqib, A. I., Mushtaq, U., Ibrahim, S. A., ... & Saleem, M. H. Influence of baking and frying conditions on acrylamide formation in various prepared bakery, snack, and fried products. *Frontiers in Nutrition* 2022; 9, 1011384.
87. Khoshnam, F.; Zargar, B.; Pourreza, N.; Parham, H. Acetone extraction and HPLC determination of acrylamide in potato chips. *J. Iran. Chem. Soc.* 2010, 7, 853–858.

88. Haddarah, A., Naim, E., Dankar, I., Sepulcre, F., Pujolà, M., Chkeir, M. The effect of borage, ginger and fennel extracts on acrylamide formation in French fries in deep and electric air frying. *Food Chemistry* 2021; 350, 129060..
89. Akan, S. Evaluation and comparison of some parameters in four garlic varieties. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2019; 9(4), 1866-1875.
90. Alide, T., Wangila, P., Kiprof, A. Effect of cooking temperature and time on total phenolic content, total flavonoid content and total in vitro antioxidant activity of garlic. *BMC Research Notes* 2020; 13, 1-7.
91. Jang, H. J., Lee, H. J., Yoon, D. K., Ji, D. S., Kim, J. H., Lee, C. H. Antioxidant and antimicrobial activities of fresh garlic and aged garlic by-products extracted with different solvents. *Food Science and Biotechnology* 2018; 27, 219-225.
92. Koca, I., Tekguler, B., Odabas, H. I. Comparison of the antioxidant properties of some onion and garlic cultivars grown in Turkey. In VII International Symposium on Edible Alliaceae 1143. 2015 Mayıs. p. 207-214.
93. Nuutila, A. M., Puupponen-Pimiä, R., Aarni, M., Oksman-Caldentey, K. M. Comparison of antioxidant activities of onion and garlic extracts by inhibition of lipid peroxidation and radical scavenging activity. *Food Chemistry* 2003; 81(4), 485-493
94. Gorinstein, S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Namiesnik, J., Najman, K., Drzewiecki, J., ... & Trakhtenberg, S. Comparison of the main bioactive compounds and antioxidant activities in garlic and white and red onions after treatment protocols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2008; 56(12), 4418-4426..
95. Denre, M., Pal, S., Mazumdar, D., Chakravarty, A., Bhattacharya, A. Variation in antioxidants and antioxidant activity in garlic cultivars. *International Journal of Vegetable Science* 2013; 19(4), 374-383.
96. Turfan, N. Variation in chemicals and growth parameters of Taşköprü garlic. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 2020; 8(4), 847-854.
97. Fei, M. L., Tong, L. I., Wei, L. I., De Yang, L. Changes in antioxidant capacity, levels of soluble sugar, total polyphenol, organosulfur compound and constituents in garlic clove during storage. *Industrial Crops and Products* 2015; 69, 137-142.
98. Rasul Suleria, H. A., Sadiq Butt, M., Muhammad Anjum, F., Saeed, F., Batool, R., Nisar Ahmad, A. Aqueous garlic extract and its phytochemical profile; special reference to antioxidant status. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 2012; 63(4), 431-439.
99. Karakavuk, E. Determination of antioxidant capacity and phenolic content of Tunceli garlic extracts (*Allium Tuncelianum*) by different solvents. *Eurasian Journal of Food Science and Technology* 2021; 5(2), 205-212.
100. Yünlü, S., Kır, E. Soğan (*Allium cepa*) ve sarımsaktaki (*Allium sativum*) bazı fenolik bileşiklerin HPLC yöntemiyle tayin edilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2016; 20(3), 566-574.

101. Beato, V. M., Orgaz, F., Mansilla, F., Montaña, A. Changes in phenolic compounds in garlic (*Allium sativum* L.) owing to the cultivar and location of growth. *Plant Foods for Human Nutrition* 2011; 66, 218-223.
102. Verma, V., Singh, V., Chauhan, O. P., Yadav, N. Comparative evaluation of conventional and advanced frying methods on hydroxymethylfurfural and acrylamide formation in French fries. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 2023; 83, 103233.
103. Basuny, A. M. M., Oatibi, H. H. A. Effect of a novel technology (air and vacuum frying) on sensory evaluation and acrylamide generation in fried potato chips. *Banat's Journal of Biotechnology* 2016; 7(14), 101–112.
104. Lee, S., Kim, H. J. Dietary exposure to acrylamide and associated health risks for the Korean population. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17(20), 7619.
105. Santos, C. S., Cunha, S. C., Casal, S. Deep or air frying? A comparative study with different vegetable oils. *European Journal of Lipid Science and Technology* 2017; 119(6), 1600375.
106. Bachir, N., Haddarah, A., Sepulcre, F., Pujola, M. Study the interaction of amino acids, sugars, thermal treatment and cooking technique on the formation of acrylamide in potato models. *Food Chemistry* 2023; 408, 135235.
107. Dong, L., Qiu, C. Y., Wang, R. C., Zhang, Y., Wang, J., Liu, J. M., ... & Wang, S. Effects of air frying on French fries: The indication role of physicochemical properties on the formation of Maillard hazards, and the changes of starch digestibility. *Frontiers in Nutrition* 2022; 9, 889901..
108. Sansano, M., Juan-Borrás, M., Escriche, I., Andrés, A., Heredia, A. Effect of pretreatments and air-frying, a novel technology, on acrylamide generation in fried potatoes. *Journal of Food Science* 2015; 80(5), T1120-T1128.
109. Fikry, M., Khalifa, I., Sami, R., Khojah, E., Ismail, K. A., Dabbour, M. Optimization of the frying temperature and time for preparation of healthy falafel using air frying technology. *Foods* 2021; 10(11), 2567.
110. Navruz-Varlı, S., Mortaş, H. Acrylamide formation in air-fried versus deep and oven-fried potatoes. *Frontiers in Nutrition* 2024; 10, 1297069.
111. Mesias, M., Delgado-Andrade, C., Morales, F. J. Are household potato frying habits suitable for preventing acrylamide exposure?. *Foods* 2020; 9(6), 799.
112. Safari, A., Salamat, R., Baik, O. D. A review on heat and mass transfer coefficients during deep-fat frying: Determination methods and influencing factors. *Journal of Food Engineering* 2018; 230, 114-123.
113. Andrés, A., Arguelles, Á., Castelló, M. L., Heredia, A. Mass transfer and volume changes in French fries during air frying. *Food and Bioprocess Technology* 2013; 6, 1917-1924.
114. Shaker, M. A. Comparison between traditional deep-fat frying and air-frying for production of healthy fried potato strips. *International Food Research Journal* 2015; 22(4)..

115. Mesias, M., Delgado-Andrade, C., Holgado, F., González-Mulero, L., Morales, F. J. Effect of consumer's decisions on acrylamide exposure during the preparation of French fries. part 1: Frying conditions. *Food and Chemical Toxicology* 2021; 147, 111857.
116. Ngan, H. L., Ip, S. Y., Wang, M., Zhou, Q. Comparative study of sensory and physicochemical characteristics of green-tea-fortified cupcakes upon air frying and oven baking. *Foods* 2023; 12(6), 1266.
117. Ciccone, M., Chambers, D., Chambers IV, E., Talavera, M. Determining which cooking method provides the best sensory differentiation of potatoes. *Foods* 2020; 9(4), 451.
118. Skog, K., Viklund, G., Olsson, K., Sjöholm, I. Acrylamide in home-prepared roasted potatoes. *Molecular Nutrition & Food Research* 2008; 52(3), 307-312.
119. Pedreschi, F., Kaack, K., Granby, K. Acrylamide content and color development in fried potato strips. *Food Research International* 2006; 39(1), 40-46.
120. Mesias, M., Delgado-Andrade, C., Holgado, F., Morales, F. J. Acrylamide content in French fries prepared in food service establishments. *Lwt* 2019; 100,83-91.
121. Mesias, M., Delgado-Andrade, C., Holgado, F., Morales, F. J. Acrylamide in French fries prepared at primary school canteens. *Food & Function* 2020; 11(2),1489-1497.
122. Yu, S., Chen, Z., Meng, H., Chen, M. Addition of lipophilic grape seed proanthocyanidin effectively reduces acrylamide formation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2020; 100(3), 1213-1219.
123. Hamzalıoğlu, A., Mogol, B. A., Lumaga, R. B., Fogliano, V., Gökmen, V. Role of curcumin in the conversion of asparagine into acrylamide during heating. *Amino Acids* 2013; 44, 1419-1426.
124. Rajesh, T. P., Basheer, V. A., Packirisamy, A. S. B., Ravi, S. N., Vallinayagam, S. Effective inhibition of enzymatic browning and carcinogenic acrylamide in fried food by polyphenols. *Topics in Catalysis* 2024; 67(1), 300-312.
125. Liu, Y., Wang, P., Chen, F., Yuan, Y., Zhu, Y., Yan, H., Hu, X. Role of plant polyphenols in acrylamide formation and elimination. *Food Chemistry* 2015;186, 46-53.
126. Kotsiou, K., Tasioula-Margari, M., Capuano, E., Fogliano, V. Effect of standard phenolic compounds and olive oil phenolic extracts on acrylamide formation in an emulsion system. *Food Chemistry* 2011; 124(1), 242-247.
127. Zhang, Z., Chen, Y., Deng, P., He, Z., Qin, F., Chen, Q., ... & Zeng, M. Research progress on generation, detection and inhibition of multiple hazards acrylamide, 5-hydroxymethylfurfural, advanced glycation end products, methylimidazole-in baked goods. *Food Chemistry* 2024; 431, 137152.
128. Cheng, K. W., Shi, J. J., Ou, S. Y., Wang, M., Jiang, Y. Effects of fruit extracts on the formation of acrylamide in model reactions and fried potato crisps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2010; 58(1), 309-312.
129. Cai, Y., Zhang, Z., Jiang, S., Yu, M., Huang, C., Qiu, R., ... & Li, Y. Chlorogenic acid increased acrylamide formation through promotion of HMF formation and 3-aminopropionamide deamination. *Journal of Hazardous Materials* 2014, 268, 1-5.

130. Huang, Y., Lu, J., Li, M., Li, C., Wang, Y., Shen, M., ... & Xie, M. Effect of acidity regulators on acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation in French fries: The dual role of pH and acid radical ion. *Food Chemistry* 2022; 371, 131154.
131. Kalita, D., Holm, D. G., Jayanty, S. S. Role of polyphenols in acrylamide formation in the fried products of potato tubers with colored flesh. *Food Research International* 2013; 54(1), 753-759.
132. Soto, V. C., Gonzalez, R. E., Sance, M. M., Galmarini, C. R. Organosulfur and phenolic content of garlic (*Allium sativum* L.) and onion (*Allium cepa* L.) and its relationship with antioxidant activity. VII International Symposium on Edible Alliaceae 1143, 2015 Mayıs. p. 277-290.
133. Martinez, E., Rodriguez, J. A., Mondragon, A. C., Lorenzo, J. M., Santos, E. M. Influence of potato crisps processing parameters on acrylamide formation and bioaccessibility. *Molecules* 2019; 24(21), 3827
134. Mechi, D., Pérez-Nevado, F., Montero-Fernández, I., Baccouri, B., Abaza, L., Martín-Vertedor, D. Evaluation of Tunisian olive leaf extracts to reduce the bioavailability of acrylamide in Californian-style black olives. *Antioxidants* 2023; 12(1), 117.
135. Hamzalıoğlu, A., Gökmen, V. Investigation of the reactions of acrylamide during in vitro multistep enzymatic digestion of thermally processed foods. *Food & Function* 2015; 6(1), 108-113

## 8 ÖZGEÇMİŞ

