

T.C.

NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı

BİR ÜNİVERSİTE YEMEKHANESİNDE YEMEK
HİZMETLERİNDEN YARARLANAN ÖĞRENCİLERİN DİYET
AKRİLAMİD MARUZİYETİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elmas Kübra KÜÇÜKSÜLLÜ

Beslenme ve Diyetetik Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Gizem AYTEKİN ŞAHİN

TEMMUZ 2024

KAYSERİ

T. C.

NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı

**BİR ÜNİVERSİTE YEMEKHANESİNDE YEMEK
HİZMETLERİNDEN YARARLANAN ÖĞRENCİLERİN DİYET
AKRİLAMİD MARUZİYETİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Elmas Kübra KÜÇÜKSÜLLÜ

**Beslenme ve Diyetetik Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEZ DANIŞMANI

Dr. Öğr. Üyesi Gizem AYTEKİN ŞAHİN

İKİNCİ DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Dilşad ÖZTÜRK

**Bu çalışma; Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinasyon Birimi tarafından 2023-SA.BP/20 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

TEMMUZ 2024

KAYSERİ

KABUL VE ONAY

Dr. Öğr. Üyesi Gizem AYTEKİN ŞAHİN danışmanlığında Elmas Kübra KÜÇÜKSÜLLÜ tarafından hazırlanan “Bir Üniversite Yemekhanesinde Yemek Hizmetlerinden Yararlanan Öğrencilerin Diyet Akrilamid Maruziyetinin Değerlendirilmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü **Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı, Beslenme ve Diyetetik Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

..... / / 20...

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Neşe KAYA
(Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü)

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Gizem AYTEKİN ŞAHİN
(Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü)

Üye : Doç. Dr. Özge MENGİ ÇELİK
(Sağlık Bilimleri Üniversitesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü)

ONAY

Bu tezin kabulü Enstitü Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.... / / 20...

Prof. Dr. Hülya UÇAR
Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Nuh Naci Yazgan Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Kütüphanesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyettarihinden itibaren ... ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

...../...../.....

(İmza)

Elmas Kübra KÜÇÜKSÜLLÜ

“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkânı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan iş birliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

*Tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, Dr. Öğr. Üyesi Gizem AYTEKİN şAHİN danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna göre yazıldığını beyan ederim.

Elmas Kübra KÜÇÜKSÜLLÜ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince bana yol gösteren, emek ve desteklerini esirgemeyen, fikirlerine ve düşüncelerine sonsuz saygı duyduğum, öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Gizem AYTEKİN ŞAHİN'e,

Tez çalışmam süresince değerli öneri ve katkılarını esirgemeyen ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Dilşad ÖZTÜRK'e,

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilimin ışığında yolumu aydınlatan Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Beslenme ve Diyetetik bölümündeki tüm değerli hocalarıma,

Akrilamid analizleri konusunda tecrübelerini paylaşıp desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Mehmet ÇADIR'a, Prof. Dr. Talat ÖZPOZAN'a ve Arş. Gör. Dr. Yusuf AYKEMAT'a,

Yemek örneklerinin toplanması sırasında yardımcı olan yemekhane personellerine,

2023-SA.BP/20 no.lu proje kapsamındaki desteklerinden dolayı Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne,

Bu süreçte bana olan güveni, desteği ve sevgisi ile bugünlere gelmemde maddi manevi emeklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Emel KÜÇÜKSÜLLÜ ve babam Emrah KÜÇÜKSÜLLÜ'ye, her zaman yanımda olan canım kardeşlerim Beyza ve Ali Efe'ye,

Beni destekleyen, inanan ve yanımda olan herkese teşekkürlerimi sunarım.

Elmas Kübra KÜÇÜKSÜLLÜ

Temmuz 2024, Kayseri

ÖZET

Küçüksüllü, E.K., Bir Üniversite Yemekhanesinde Yemek Hizmetlerinden Yararlanan Öğrencilerin Diyet Akrilamid Maruziyetinin Değerlendirilmesi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beslenme ve Diyetetik Programı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 2024. Bu çalışmanın amacı, bir üniversite yemekhanesinde öğrencilere servis edilen yemeklerin akrilamid düzeyini belirlenmek ve eş diyet yöntemini kullanarak öğrencilerin diyet akrilamid maruziyetini değerlendirmektir. Çalışma 13-26 Mayıs 2024 tarihleri arasında bir üniversite yemekhanesinde gerçekleştirilmiştir. İki haftalık süreçte araştırmacı tarafından, yemekhanede öğle ve akşam öğünlerinde servis edilen tüm yemeklerden ve ekmeklerden toplam 125 adet örnek toplanmıştır. Yemekhanede kısmi seçmeli menü sağlandığı için menüler “Menü-1” (çorba, ana yemek, yardımcı yemek ve tamamlayıcı yemek) ve “Menü-2” (çorba, alternatif yemek, yardımcı yemek ve tamamlayıcı yemek) olarak sınıflandırılmıştır. Her iki menü için de akrilamid içerikleri ve diyet akrilamid maruziyetine katkıları belirlenmiştir. Toplanan örneklerin ekstraksiyonu yapıldıktan sonra Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (HPLC) cihazında iki tekrarlı olacak şekilde analiz edilmiştir. Tespit sınırı (LOD) 5,87 µg/kg ve ölçüm sınırı (LOQ) 17,80 µg/kg olarak belirlenmiştir. Maruziyetin olduğundan fazla tahmin edilmesini önlemek amacıyla LOQ değerinin altında akrilamid konsantrasyonuna sahip numunelerin akrilamid maruziyetine katkıları göz ardı edilmiştir. Her iki menünün üniversite öğrencilerinin diyet akrilamid maruziyetine katkısı benzer bulunmuştur ($p>0,05$). Analiz edilen numuneler içerisinde en yüksek düzeyde akrilamid içeriğine sahip olan yemekler peynirli milföy böreği (659,89 µg/kg) ve patates kızartma (369,57 µg/kg) olmuştur. Her iki menünün seçiminde de kadınların (0,42 µg/kg/gün) erkeklere (0,34 µg/kg/gün) göre daha yüksek düzeyde akrilamide maruz kaldığı belirlenmiştir. Uzun vadeli maruziyet tahmini için kullanılan maruz kalma marjı (MOE) yaklaşımında; nörotoksik etkiler için hesaplanan MOE değerlerinin 125’in üzerinde, karsinojenik etkiler için hesaplanan MOE değerlerinin ise 10.000’in altında olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, servis edilen menülerin üniversite öğrencilerinde karsinojenik etkiler için potansiyel bir risk oluşturabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Akrilamid, Diyet Maruziyeti, Üniversite Öğrencileri, Risk Değerlendirme, Yemek Hizmetleri

ABSTRACT

Küçüksüllü, E.K., Assessment of Dietary Acrylamide Exposure in Students Using Food Services in a University Cafeteria, Nuh Naci Yazgan University, Graduate School of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, Master's Thesis, Kayseri, 2024. This study aimed to determine the acrylamide level of meals served to students in a university cafeteria and evaluate the dietary acrylamide exposure of students using the duplicate-diet method. The study was conducted between May 13-26, 2024, in a university student cafeteria. During the two weeks, a total of 125 samples were collected by the researcher from all meals and bread served at lunch and dinner in the cafeteria. Since a semi-selective menu is provided in the cafeteria, the menus were classified as "Menu-1" (soup, main course, side dish, and complementary meal) and "Menu-2" (soup, alternative meal, side dish, and complementary meal). Both menus' acrylamide contents and contribution to dietary acrylamide exposure were determined. The collected samples were extracted and analyzed using High-Pressure Liquid Chromatography (HPLC) in two replicates. The limit of detection (LOD) was 5,87 µg/kg, and the limit of quantification (LOQ) was 17,80 µg/kg. To avoid any potential overestimation of exposure, the contribution of samples with acrylamide concentrations below the LOQ to overall acrylamide exposure was not included in the calculations. The contribution of both menus to dietary acrylamide exposure of university students was similar ($p>0,05$). Among the analyzed samples, the dishes with the highest acrylamide content were cheese puff pastry (659,89 µg/kg) and French fries (369,57 µg/kg). In both menu choices, women (0,42 µg/kg/day) were exposed to higher levels of acrylamide than men (0,34 µg/kg/day). In the margin of exposure (MOE) approach used for long-term exposure estimation, MOE values calculated for neurotoxic effects were above 125, and MOE values calculated for carcinogenic effects were below 10.000. In conclusion, it was observed that the served menus may pose a potential risk for carcinogenic effects in university students.

Keywords: Acrylamide, Dietary Exposure, University Student, Risk Assessment, Food Services

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	iii
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	iv
ETİK BEYAN.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
ŞEKİLLER.....	xiii
TABLOLAR	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Akrilamid	3
2.2. Besinlerde Akrilamid Oluşum Mekanizmaları	4
2.3. Akrilamid Metabolizması	6
2.4. Akrilamidin Oluştığı Besinler	7
2.5. Besinlerde Akrilamid Oluşumunu Etkileyen Faktörler	8
2.5.1. Pişirme Yöntemi, Sıcaklığı ve Süresi	8
2.5.2. pH ve Yüzey Alanı	8
2.5.3. Nem.....	9

2.5.4. Besin Ögesi İçeriği.....	9
2.5.5. Besinlerin Yetiştirme ve Depolama Koşulları	10
2.6. Besinlerde Akrilamid Oluşumunu Azaltma Yöntemleri	10
2.6.1. Hava Fritözü ve Vakumlu Kızartma	10
2.6.2. Ön Haşlama (Blanching) İşlemi	11
2.6.3. Katkı Maddelerinin İlavesi	11
2.6.4. Besinlerde pH ve Nem Oranının Değiştirilmesi	12
2.6.5. Fermantasyon.....	12
2.6.6. Hidrokolloid Bazlı Kaplama	13
2.7. Akrilamidin Sağlık Üzerine Etkileri	13
2.7.1. Genotoksisite ve Karsinojenite	13
2.7.2. Nörotoksisite	14
2.7.3. Hepatotoksisite.....	15
2.7.4. Üreme ve Gelişim Sistemi Üzerine Toksik Etkileri	16
2.8. Akrilamid ile İlgili Yasal Düzenlemeler.....	16
2.9. Beslenmeye Dayalı Risk Değerlendirme Çalışmaları	17
2.9.1. Tehlikenin Tanımlanması	18
2.9.2. Tehlikenin Karakterizasyonu	18
2.9.3. Maruziyet Değerlendirmesi	19
2.9.4. Risk Karakterizasyonu	20
2.10. Üniversite Öğrencilerinde Akrilamid Maruziyeti	20

GEREÇ VE YÖNTEM.....	22
3.1. Araştırmanın Tipi.....	22
3.2. Kimyasallar ve Malzemeler	22
3.3. Çalışma Tasarımı ve Numune Toplama	22
3.3.1. Örneklerin Hazırlanması.....	23
3.3.2. Akrilamid Ekstraksiyonu	23
3.3.3. Akrilamid Analizi	24
3.3.4. Akrilamid Maruziyet Tahmini	24
3.5. İstatistiksel Analizler	26
4. BULGULAR.....	27
5. TARTIŞMA.....	38
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR	52
EKLER	62
EK 1: Üniversitesi Yemekhane Menüsü	
EK 2 : Kalibrasyon Değerleri	
EK 3 : Orijinallik Raporu	

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
BMDL₁₀	%10 tümör insidansına karşılık gelen Benchmark Dozunun %95 güven aralığına sahip alt sınırı
EFSA	European Food Safety Authority (Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi)
FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
GST	Glutatyon-S-transferaz
Hb	Hemoglobin
IARC	International Agency for Research on Cancer (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı)
JECFA	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (Gıda Katkı Maddeleri Üzerine FAO/WHO Ortak Uzmanlık Kurulu)
kPa	Kilopascal
LOD	Limit of Detection (Tespit Sınırı)
LOQ	Limit of Qualification (Ölçüm Sınırı)
MDA	Malondialdehit
MOE	Margin of Exposure (Maruz Kalma Marjı)
ROS	Reactive Oxygen Species (Reaktif Oksijen Türleri)
TBSA	Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
µg	Mikrogram

ŞEKİLLER

Şekil		Sayfa
Şekil 2.1.	Akrilamidin Yapısı	3
Şekil 2.2.	Akrilamid Oluşum Mekanizması	5
Şekil 2.3.	Akrilamidin Metabolizması	6
Şekil 2.4.	Akrilamidin Genotoksik Karsinojenik Etkileri	14
Şekil 2.5.	Akrilamidin Nörotoksik Etkisi	15
Şekil 2.6.	Akrilamidin Hepatoksik Etkisi	16
Şekil 3.1.	Numune örneklerinin etiketlenmesi	23
Şekil 3.2.	Araştırma Planı	26
Şekil 4.1.	Ekmeklerin akrilamid içeriği	32
Şekil 4.2.	(A) Menü-1 ve (B) Menü-2'nin seçiminde yemek gruplarının diyet akrilamid maruziyetine katkısı	32

TABLÖLAR

Tablo		Sayfa
Tablo 2.1.	Akrilamidin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	4
Tablo 2.2.	Besinlerde bulunan akrilamid seviyeleri	7
Tablo 4.1.	Çorbaların akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi	27
Tablo 4.2.	Ana yemeklerin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi	28
Tablo 4.3.	Alternatif yemeklerin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi	29
Tablo 4.4.	Yardımcı yemeklerin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi	30
Tablo 4.5.	Tamamlayıcı yemeklerin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi	31
Tablo 4.6.	Öğle ve akşam menülerinin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi	34
Tablo 4.7.	Öğünlere göre menülerin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi	35
Tablo 4.8.	Üniversite yemekhanesinden yararlanan öğrencilerin diyet akrilamid maruziyetine ilişkin risk değerlendirmesi	37

1. GİRİŞ

Yiyeceklerin ısıtılması, ısıl işlem kirleticileri olarak adlandırılan pişirme kaynaklı toksik maddelerin oluşumuna yol açan kimyasal reaksiyonlara neden olur (Tareke vd., 2002). Bunlardan biri de son yıllarda bilimsel açıdan büyük ilgi gören ve özellikle nişastalı besinlerde, +120°C'de ve düşük nemde fırınlama, kavurma, kızartma ve endüstriyel işleme dahil olmak üzere pişirme sırasında doğal olarak oluşan akrilamiddir (EFSA,2015).

Akrilamid, bir amino asit olan asparajin ile glikoz, fruktoz gibi indirgen şekerlerin reaksiyona (Maillard reaksiyonu) girmesiyle oluşmaktadır (Kibatu vd., 2005). Akrilamid, 1994 yılında Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (The International Agency for Research on Cancer, IARC) tarafından “2A Grubu (İnsanlar için Olası Karsinojen)” grubunda sınıflandırılmıştır (IARC, 1994). 2002 yılında ise İsveç Ulusal Gıda İdaresi ve Stockholm Üniversitesi tarafından ilk kez besinlerde akrilamid varlığı tespit edilmiş ve olumsuz sağlık etkilerinin ortaya konulması ile tüm dünyada dikkatleri üzerine çekmiştir (Tareke vd., 2002).

Akrilamidin suda çözünürlüğü yüksek olduğu için vücutta (süt ve plasenta dahil) çok geniş bir alana dağılmaktadır (Friedman & Levin, 2008). Yüksek dozda oral akrilamid alımının laboratuvar hayvanlarında kansere yol açtığı, insanlar için ise potansiyel karsinojen olduğu düşünülmektedir (Galeša vd., 2008). Akrilamidin insan vücudunda enzimatik bir reaksiyonla, karsinojenik ve mutajenik olduğu düşünülen glisidamide dönüştüğü belirtilmektedir (Rommens vd., 2008). Akrilamid ve glisidamid, yüksek toksisiteyi nedeniyle genotoksisite, nörotoksisite, hepatoksisite, karsinojenite, kardiyovasküler toksisite, üreme ve gelişim sistemi toksisitesi gibi çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilir (IARC, 1994).

İşlenmiş besinlerin akrilamid içeriği, besin hazırlama yöntemi ile yakından ilişkili olup, besinlerdeki miktarı ise besinin çeşidi ve hazırlama yöntemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Akrilamidin en fazla bulunduğu besinler arasında patates kızartması, cips, mısır cipsi, kraker, bisküvi, ekmek ve benzeri unlu mamuller, kahvaltılık tahıllar ve kahve bulunmaktadır (FAO/WHO, 2005).

Mevcut literatüre göre, diyet akrilamid maruziyetini değerlendirmek için farklı hesaplama yaklaşımları (olasılıksal, deterministik), tüketim tahminleri (24 saatlik geriye dönük hatırlatma, iki ve yedi günlük besin tüketim kayıtları, besin tüketim sıklığı anketleri vb.) ve besinlerdeki akrilamid referans seviyelerini içeren çeşitli yöntemler hem genel nüfusun hem de belirli grupların maruziyetini incelemek için uygulanmıştır (Claeys vd., 2010; González vd., 2023; Nematollahi vd., 2020). Ancak bu çalışmaların çoğunun belirli sınırlamaları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi, işlenmiş besin gruplarındaki akrilamid

varlığını tayin etmek için pişirme yöntemlerindeki farklılıkları hesaba katmadan besin tüketim kayıtlarıyla veri tabanlarındaki ortalama değerler kullanarak değerlendirmede bulunmalarıdır. Bu tür sorunlar, güvenilir sonuçlara ulaşılmasını engellemekte, kurumların/otoritelerin akrilamid maruziyetini etkin bir şekilde izleme ve bu alanda ilerleme kaydetme kabiliyetlerini sınırlandırmaktadır (Thompson vd., 2017).

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (European Food Safety Authority, EFSA), maruziyet değerlendirmesini iyileştirmek, daha doğru veriler elde etmek, kontaminantların gerçek diyet alımını tahmin etmek, besin güvenliği risklerini ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri değerlendirmek için eş diyet çalışmaları (duplicate diet studies) yapılmasını önermektedir (EFSA,2015). Eş diyet çalışmalarında belirli bir süre boyunca katılımcıların tükettikleri tüm besinler toplanıp daha sonra potansiyel diyet maruziyetini tahmin etmek üzere analiz edilmektedir. Bu yöntem, esas olarak besinlerdeki toksik maddelere maruziyeti ölçmek için kullanılmaktadır. Ancak diyetle akrilamidin gerçek maruziyetini değerlendirmek içinse eş diyet yöntemini kullanan çalışmaların sayısı sınırlıdır (González-Mulero vd., 2023; Kawahara vd., 2019; Yamamoto vd., 2018).

Son yıllarda ekonomik ve sosyokültürel faktörler, beslenme alışkanlıklarında büyük ölçüde değişikliklere neden olmuştur. Özellikle üniversite döneminde, öğrenciler evden ayrılmakta ve yeni beslenme alışkanlıkları edinmektedirler. Birçok öğrenci yoğun programlar, stres, sağlıklı yiyecek seçeneklerine sınırlı erişim ve sağlıksız yeme davranışları gibi çeşitli faktörler nedeniyle sağlıklı beslenmeyi sürdürmekte zorluk çekmektedir (Escoto vd., 2012). Bu durum, daha kolay ulaşılabilir, ancak yüksek akrilamid düzeyine sahip atıştırmalıkları daha fazla tüketmelerine neden olabilmektedir (Kowalska vd., 2017). Literatürde üniversite öğrencilerinin diyet akrilamid maruziyetini değerlendiren çalışmalar sınırlı olup (González-Mulero vd., 2023; Kawahara vd., 2019; Yamamoto vd., 2018), çalışmaların çoğu besin tüketim tahminleri ile besinlerdeki akrilamid referans seviyelerinin kullanıldığı yöntemlere dayanmaktadır (Gao vd., 2022; Wyka vd., 2015). Bu nedenle bu çalışmanın amacı, bir üniversitesi yemekhanesinde iki haftalık bir süreçte öğrencilere servis edilen öğle ve akşam yemeklerinin akrilamid düzeyini belirlemek ve EFSA tarafından önerilen eş diyet yöntemini kullanarak öğrencilerin diyet akrilamid maruziyetini değerlendirmektir.

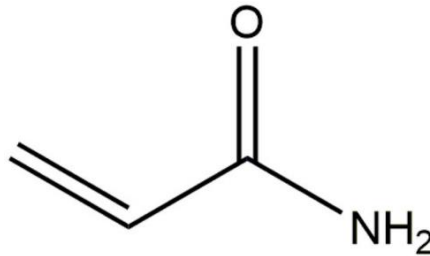
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Akrilamid

İnsanlar, binlerce yıldır yemeklerini pişirmek için ateşi kullanmaktadır. Isıl işlem; besin güvenliğini sağlamak, besinin kalitesini ve renk, doku, tat gibi duyuşal özelliklerini geliştirmek için büyük öneme sahiptir. Ancak pişirme sonucu sağlık açısından zararlı kimyasallar da ortaya çıkmaktadır (Tucker & Featherstone, 2021). Yiyeceklerin ısıtılması, ısı işlem kirleticileri olarak adlandırılan pişirme kaynaklı toksik maddelerin oluşumuna yol açan kimyasal reaksiyonlara neden olur (Mogol vd., 2016). Bunlardan biri de son yıllarda bilimsel açıdan büyük ilgi gören ve özellikle nişastalı besinlerde, +120°C ve üzeri sıcaklıklarda düşük nemde kızartma, fırınlama, kavurma ve endüstriyel işleme gibi uygulamalar sırasında doğal olarak oluşan akrilamiddir (EFSA, 2015).

Akrilamid, ilk kez 1893 yılında kimyasal bir bileşik olarak Almanya’da Christian Moureau tarafından tanımlanmış ve IARC tarafından 1994 yılında “2A Grubu (İnsanlar için Olası Karsinogen)” grubunda sınıflandırılmıştır (IARC, 1994; Kısabay vd., 2004). İsveç Ulusal Gıda İdaresi ve Stockholm Üniversitesi tarafından 2002 yılında ilk kez besinlerde akrilamidin varlığı tespit edilmiş ve olumsuz sağlık etkilerinin ortaya konulması ile tüm dünyada dikkatleri üzerine çekmiştir (Tareke vd., 2002).

Akrilamid, bir amino asit olan asparajin ile glikoz, fruktoz gibi indirgen şekerlerin reaksiyona (Maillard reaksiyonu) girmesiyle oluşmaktadır. Hidrofilik bir molekül olan akrilamid, iki fonksiyonel gruba sahip bir karbonil türevidir (Kibatu vd., 2005). Akrilamidin yapısı Şekil 2.1.’de gösterilmiştir. Akrilamidin fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Tablo 2.1.’de özetlenmiştir.



Şekil 2.1. Akrilamidin Yapısı (Kibatu vd., 2005)

Tablo 2.1. Akrilamidin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (Kibatu vd., 2005)

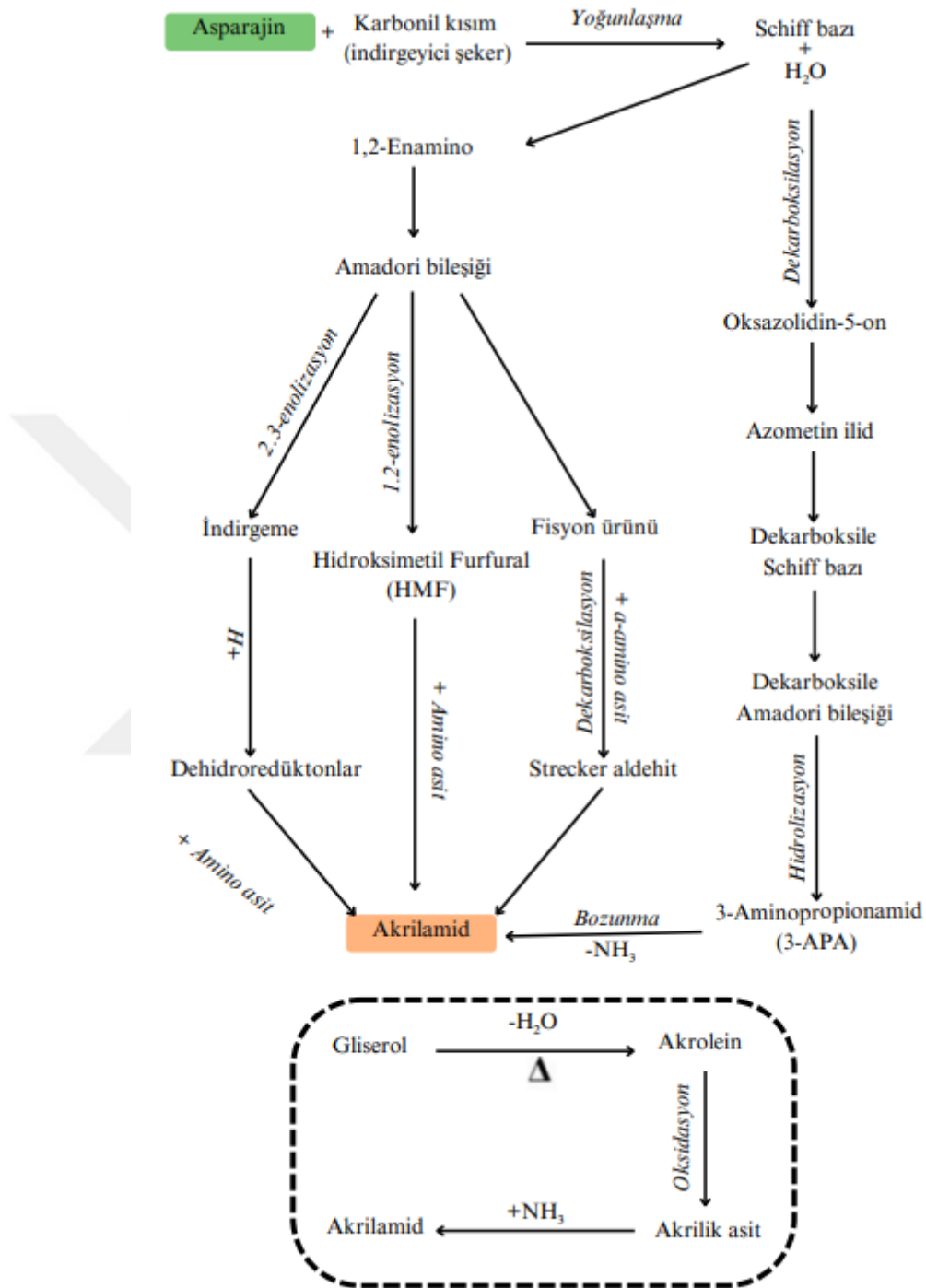
Kimyasal Formülü	C ₃ H ₅ ON
Cas Numarası	79-06-1
Molekül Kütlesi	71,08 g/mol
Erime Noktası	84,5°C
Kaynama Noktası	192,6°C
Yoğunluk	1,13 g/cm ³

2.2. Besinlerde Akrilamid Oluşum Mekanizmaları

İsveç Ulusal Gıda İdaresi'nin 2002 yılında akrilamidin kanser oluşturma potansiyeline sahip olduğunu açıklamasının ardından, akrilamid oluşumunda rol alan indirgen şekerler (glikoz ve fruktoz) ve asparajinin tepkimesi olan Maillard reaksiyonuna odaklanılmıştır (Zhang vd., 2020). Maillard reaksiyonu, tek bir reaksiyon değil; besinin ısıtılması sırasında meydana gelen karmaşık bir reaksiyonlar dizisidir. Bu enzimatik olmayan reaksiyon sırasında, indirgen şekerdeki karbonil grubu ile serbest asparajinin α -amino grubu arasında gerçekleşen reaksiyonun ilk basamağında "Schiff Bazı" oluşur. Kararsız Schiff bazları asidik bir pH'da Amadori yeniden düzenlenmesine uğrayarak Amadori bileşiğini oluşturur (Raffan vd., 2020). Amadori bileşiği ise redüktonlar ve deoksiozonlar oluşturmak üzere enolizasyona uğrayarak besine kahverengi rengini ve aromasını veren melanoidin bileşiklerine dönüşür. Dikarbonil bileşikler, dekarboksilasyona uğrayarak besinde akrilamid oluşumunu destekleyecek Strecker aldehitini üretir. Bu mekanizma "Strecker bozunması" olarak adlandırılır. Diğer bir yol ise Schiff bazının Azometin ylide dekarboksilasyon sürecidir. Dekarboksile ürün, hidrolizasyona uğrayarak 3-Aminopropionamid oluşturur ve bu bileşik, akrilamid oluşturmak üzere bozunur (Aalaei vd., 2018).

Maillard reaksiyonunun yanı sıra, besinlerde akrilamid oluşumuna katkıda bulunan bir diğer yol ise Akrolein yoludur. Kimyasal adı 2-propenal olan akrolein, karsinogenik bir bileşiktir. Akrolein, gliserollerin pirolizi olarak da adlandırılan yüksek sıcaklıklarda termoliz veya gliserollerin ayrışması yoluyla oluşur (Zhang vd., 2020). Akrolein, daha sonra oksidasyona uğrayarak akrilik asit üretir ve bu asit, Strecker bozunması sırasında üretilen amonyakla reaksiyona girerek akrilamid oluşturur (Rayappa vd., 2021). Ayrıca akrilik asit, Maillard reaksiyonu ve asparajinden akrilamid oluşumu sırasında aspartik asitten de üretilir. Yağlar, dumanlanma noktasından yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında da

gliserol dehidrasyona uğrayarak akroleinden akrilamid oluşumu meydana gelir (Zhang vd., 2020). Akrilamidin oluşum mekanizması Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.

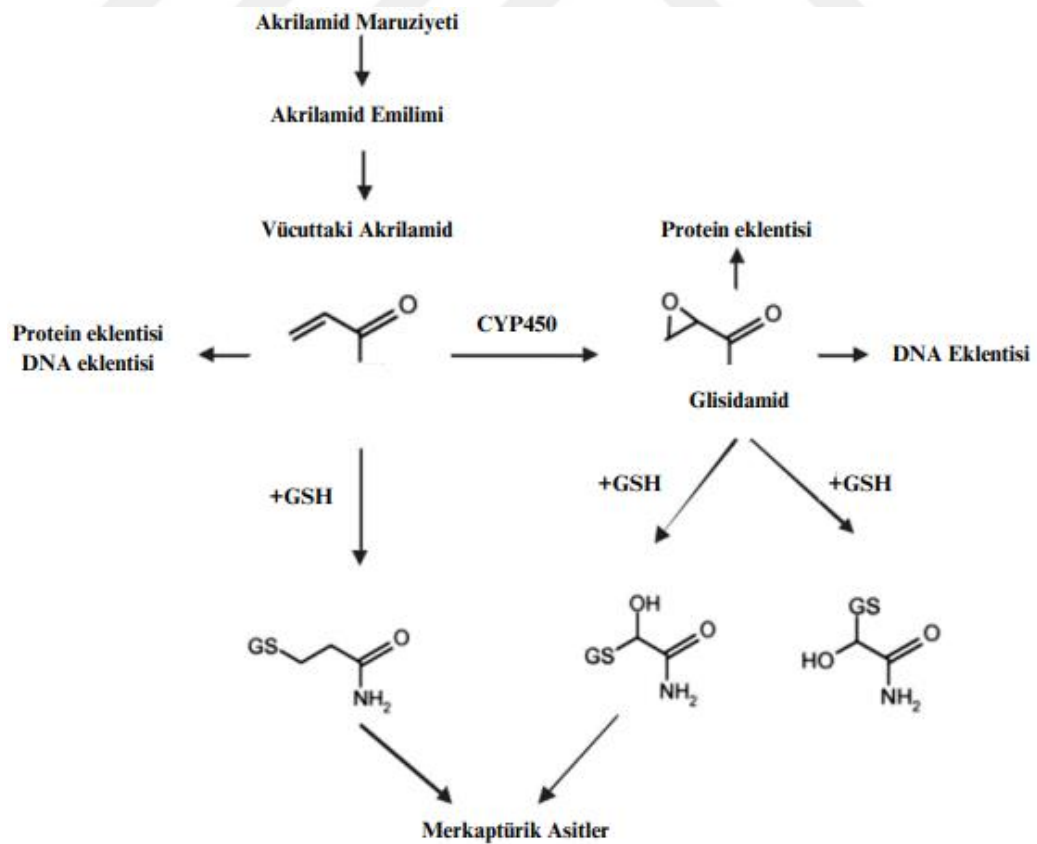


Şekil 2.2. Akrilamid Oluşum Mekanizması (Govindaraju vd., 2024)

2.3. Akrilamid Metabolizması

Besin tüketiminden sonra akrilamidin gastrointestinal sistem tarafından tamamen emildiği ve periferik dokulara dağıldığı gözlemlenmiştir. Akrilamid, karaciğerde ve diğer dokularda iki ana yol ile metabolize edilir. Bu yollardan ilki Glutatyon-S-transferaz (GST) ile sisteine konjuge edilerek idrarla atılan toksik olmayan bir glutatyon molekülü oluşumudur. İkincisi ise P450 enzim kompleksi tarafından katalize edilen bir reaksiyonla karaciğerde toksik bir bileşik olan glisidamide dönüşümdür (Sumner vd., 1999). Alınan akrilamid dozunun en az %6'sı glisidamide dönüşerek hemoglobin (Hb) aracılığıyla dokulara taşınır ve DNA'ya bağlanarak mutasyonlara neden olabilir (Kirman vd., 2003).

Metabolize edilen akrilamid ve metabolitleri, glutatyon ile konjugasyon sonucu merkaptürik asitlerin yan ürünleri idrarla atılır. Atılım miktarı ise akrilamid maruziyetinin biyolojik belirteci olarak kabul edilir (Boettcher vd., 2005). Ayrıca akrilamid ve metabolitleri daha az miktarda, akciğerler yoluyla CO₂ olarak, safra yoluyla ise gaita olarak vücuttan atılır. Atılmayan kısmı ise nükleik asitlere, proteinlere ve DNA'ya bağlanarak biyolojik süreçleri olumsuz etkiler ve sağlık sorunlarına yol açar (Pelucchi vd., 2006). Akrilamidin metabolizması Şekil 2.3.'te özetlenmiştir.



Şekil 2.3. Akrilamidin Metabolizması (Sumner vd., 1999)

2.4. Akrilamidin Oluştuğu Besinler

Akrilamid, başta kızarmış patates, unlu mamuller ve kahve olmak üzere karbonhidrat bazlı besinlerde oluşmaktadır (JECFA, 2011). Mousavi Khaneghah ve ark. (2020) yapmış oldukları sistematik bir meta-analiz çalışmasında, en yüksek akrilamid konsantrasyonunun patates bazlı besinlerde (740,33 µg/kg) olduğunu, bunu sırasıyla kızarmış besinler (328.65 µg/kg), kahvaltılık tahıllar (263,27 µg/kg), kahve (234,54 µg/kg), çikolata (233,68 µg/kg), bebek mamaları (156,30 µg/kg), ekmek (133,12 µg/kg), bisküvi (116,42 µg/kg), tahıl bazlı besinler (59,48 µg/kg) ve sert kabuklu yemişlerin (20,38 µg/kg) izlediğini göstermişlerdir.

Patatesin diğer besinlere göre daha yüksek akrilamid seviyesine sahip olmasının nedeni, içeriğinde fazla miktarda indirgen şeker ve asparajin bulunmasıdır (Mogol vd., 2016). Bent ve ark. (2012) ise ısıtıl işlem uygulanmış, protein açısından zengin besinlerin karbonhidrat açısından zengin besinlere kıyasla daha düşük akrilamid seviyelerine sahip olduğunu ve çiğ veya haşlanmış besinlerde akrilamid tespit edilmediğini belirtmişlerdir. Besinlerde bulunan akrilamid düzeyleri Tablo 2.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 2.2. Besinlerde Bulunan Akrilamid Düzeyleri (FAO/WHO, 2005)

Besin Grubu	Besin	En Düşük Akrilamid Düzeyi (µg/kg)	En Yüksek Akrilamid Düzeyi (µg/kg)
Patates	Patates Cipsi	117	3770
	Patates Kızartması	59	5200
	Patates (Çiğ)	<10	<50
Tahıllar	Mısır Cipsi	120	220
	Fırın Ürünleri ve Bisküviler	18	3324
	Zencefilli Kurabiye	<20	7834
	Ekmek	<10	130
	Tost Ekmeği	25	1430
	Kahvaltılık Gevrekler	11	1057
Meyve ve Sebzeler	Kuru Erik Suyu	53	267
	Kızarmış Sebzeler	28	339
Kuruyemişler	Fındık	28	339
Et ve Balık	Balık ve Deniz Ürünleri	<2	39
	Et ve Kümes Hayvanları	<10	64
Kakao Bazlı Besinler	Çikolata	<2	826
	Kakao Tozu	<10	909
Kahve	Kavrulmuş Kahve	45	975
	Kahve Özü/Tozu	195	4948

2.5. Besinlerde Akrilamid Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Besinlerde akrilamid oluşumu; pişirme yöntemi, sıcaklık, süre, pH, yüzey alanı, nem içeriği, yetiştirme ve depolama koşulları gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Govindaraju vd., 2024)

2.5.1. Pişirme Yöntemi, Sıcaklığı ve Süresi

Besinlerdeki akrilamid miktarı; pişirme yöntemi, sıcaklığı ve süresine bağlı olarak değişmektedir (Gökmen & Palazoğlu, 2008). Kızartma, kavurma gibi akrilamid oluşumuna neden olan kuru ısıda pişirme yöntemleri, restoranlarda ve evlerde yaygın kullanılan pişirme yöntemleri arasındadır (Yang vd., 2015). Yiyeceklerin fırında kuru ısıda 120°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda pişirilmesi sonucu akrilamid oluşumu gözlemlenmiştir. Ancak yiyeceklerin kuru ısıda pişirilmesi durumunda derin yağda kızartma işlemine göre daha düşük miktarda akrilamid oluştuğu da literatürde yer almaktadır. Mikrodalgada pişirme yönteminin ise Maillard reaksiyonunu koşullarını kolaylaştırdığı için yüksek akrilamid oluşumuna yol açabileceği belirtilmiştir (Michalak vd., 2020). Yapılan diğer çalışmalarda kaynatma ve buharda pişirme yönteminin daha az akrilamid oluşumuna yol açan güvenli pişirme yöntemleri olduğu rapor edilmiştir (Bignardi vd., 2019; Isleroglu vd., 2012).

Williams (2005) yaptığı çalışmada, 175°C'nin üzerindeki kızartma sıcaklıklarında ısıtma işlem süresi arttıkça akrilamid oluşumunun arttığını bildirmiştir. Besinlerin 200°C'de kızartılması veya kuru ısıda pişirilmesi sonucunda en yüksek akrilamid konsantrasyonuna ulaştığı ve ısıtma işlem süresi arttıkça akrilamid konsantrasyonunun arttığı gözlemlenmiştir (Daniali vd., 2018). Yapılan bir başka çalışmada, patates cipsinde en yüksek akrilamid seviyesinin 170°C'de oluştuğu gözlemlenmiştir. 170°C'de fırında pişirilerek hazırlanan patatesteki akrilamid konsantrasyonu, aynı sıcaklıkta yağda kızartılan patatesteki akrilamid konsantrasyonundan iki kat daha fazla bulunmuştur. Ancak 180°C ve 190°C'de yağda kızartılan patateslerin akrilamid içeriğinin fırında pişirilen patatese göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (Gökmen & Palazoğlu, 2008).

2.5.2. pH ve Yüzey Alanı

Maillard reaksiyonu yoluyla akrilamid oluşum mekanizmasında; Schiff bazı ve Amadori bileşiklerinin oluşumunu ve parçalanmasını içeren süreçler pH'tan etkilenmektedir. Bu yüzden Maillard reaksiyonunun istenmediği durumlarda pH değerinin düşürülmesiyle reaksiyonun azaltılması ya da engellenmesi sağlanmaktadır (Shakeri vd., 2019). Alkali

koşullar ise besinlerde akrilamid oluşumunu artırmaktadır. Alkali koşullar altında, serbest amino grubu deprotonasyona uğrayarak karbonil kısmına kolaylıkla tutunabilen nükleofil molekülleri oluşturmaktadır. Bu ara bileşik, glikosilaminin oluşumunu başlatarak Maillard reaksiyonu yoluyla akrilamid oluşumunu etkilemektedir (Sung vd., 2018).

Yiyecek diliminin kalınlığı da akrilamid oluşumunu etkileyen bir diğer faktördür. Kalın dilimlerde pişirme sırasında besinin iç noktasının pişmesi için daha uzun süreli yüksek sıcaklıklar gerektiğinden, ince dilimlere göre akrilamid içeriği daha yüksektir. Yapılan bir çalışmada 12 mm kalınlığında kesilmiş patates dilimlerinin, 6 mm kalınlığındaki patates dilimlerine göre daha yüksek akrilamid içeriğine sahip olduğu gözlemlenmiştir (Ofosu vd., 2019).

2.5.3. Nem

Nem içeriği, besinlerde akrilamid oluşumunda önemli rol oynayan faktörlerden biridir. Besinin nem içeriği azaldıkça akrilamid oluşumu artmaktadır (Aiswarya & Baskar, 2018). Besinlerin dış yüzeyinde nem oranı daha düşük olduğundan, patates kızartması, kurabiye, tavuk, nugget, tatlı bisküvi, kahvaltılık gevrek gibi besinlerin dış yüzeyinde daha yüksek akrilamid konsantrasyonu gözlenmektedir (Sansano vd., 2017).

Nem içeriğine ek olarak, su aktivitesi de akrilamid oluşumunu etkilemektedir. Su aktivitesi, besinlerde bulunan serbest su miktarının ölçüsüdür. Besinlerde a_w 0,4-0,8 arasında ve nem içeriği $<5\%$ olduğunda Maillard reaksiyonunun aktivasyonunu artırarak akrilamid oluşumunun artmasına yol açmaktadır (Rifai & Saleh, 2020).

2.5.4. Besin Ögesi İçeriği

Akrilamidin oluşumunu etkileyen faktörlerden bir diğeri de besinlerin besin ögesi içeriğidir. Çalışmalar, serbest amino asitlerin (glisin, alanin, lizin, glutamin ve glutamik asit) ve proteinlerin varlığının patateslerdeki akrilamid içeriğini azalttığını göstermiştir (Sansano vd., 2017; Seilani vd., 2021).

Akrilamid oluşumunda bir diğer faktör ise besinlerde asparajin varlığı ve konsantrasyonudur (Amrein vd., 2004). Yapılan çalışmalarda asparajinin akrilamid oluşumunda sınırlayıcı faktör olduğu belirlenmiştir (Noda vd., 2022; Tafuri vd., 2023).

Besinlerde yüksek konsantrasyonda indirgen şeker varlığı akrilamid oluşumunu artırabilir (Biedermann-Brem vd., 2003). Yapılan bir çalışmada, farklı miktarda indirgen şeker içeren patateslerin fırınlanması ve kızartılması sonucunda patateslerin içeriğindeki

indirgen şeker miktarının artışına paralel olarak besinin daha fazla kızardığı ve akrilamid miktarının da hızlı bir şekilde arttığı belirlenmiştir (Biedermann-Brem vd., 2003).

2.5.5. Besinlerin Yetiştirme ve Depolama Koşulları

Gübre kullanımı, besin üretiminde önemli bir faktördür. Ancak birçok çalışma gübrelemenin akrilamid içeriğinde artışa neden olabileceğini bildirmiştir (Sun vd., 2018; Yuan vd., 2005). Azotlu gübrelerin kullanımı, patates yumrularındaki indirgeyici şeker konsantrasyonunu artırarak akrilamid içeriğinin artmasına neden olmaktadır (Rosen vd., 2018).

Hasat da besinlerdeki akrilamid içeriğini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Akrilamid içeriği, yetiştirme süresi arttıkça azalma eğilimi göstermektedir. Ayrıca akrilamid içeriği iklim koşullarına bağlı olarak da değişebilmektedir. Örneğin; 8-12°C arasındaki soğuk hava ve 25-30°C arasındaki sıcak hava, patatesteki akrilamid içeriğinin artmasına yol açmaktadır (Kumar vd., 2004). Ayrıca yapılan bir çalışmada, besinlerin depolama süresi arttıkça akrilamid ve glikoz konsantrasyonunun arttığı gözlemlenmiştir (Sun vd., 2018). Başka bir çalışmada ise depolama süresi ile gübrelemedeki artışla birlikte akrilamid ve asparajin miktarında doğrusal bir artış gözlemlenmiştir (Sun vd., 2020).

2.6. Besinlerde Akrilamid Oluşumunu Azaltma Yöntemleri

Karbonhidrat açısından zengin besinlerde akrilamid içeriğinin miktarını azaltmak için endüstriyel ve evsel düzeyde çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Bakhtiary vd., 2014; Chen vd., 2022). Besinin dokusunu, tadını veya görünümünü değiştirmeden besinin akrilamid içeriğini azaltmak, besin endüstrisi için oldukça önemlidir. Besinde akrilamid oluşumunu azaltmak için hava ve vakumlu kızartma, haşlama, katkı maddeleri ekleme, pH ve su içeriğini değiştirme, fermentasyon, hidrokolloid kaplama ve kontrollü atmosfer altında pişirme gibi çeşitli azaltma yöntemleri uygulanmaktadır (Govindaraju vd., 2024).

2.6.1. Hava Fritözü ve Vakumlu Kızartma

Hava fritözü ile kızartma yönteminin besindeki akrilamid içeriğini azaltmada etkili olduğu belirtilmiştir (Sansano vd., 2017). Ancak yapılan bir başka çalışmada en yüksek akrilamid içeriği hava fritözünde pişirilen patateslerde bulunmuştur, bunu derin yağda kızartma ve fırında kızartma takip etmiştir (Navruz-Varlı & Mortaş, 2023).

Vakumlu kızartma sistemi, düşük basınç sağlamak için bir pompa ve yükselen buharı toplamak için bir buzdolabı kondansatöründen oluşmaktadır. Düşük bir sıcaklıkta ve 6,5 kPa'nın altındaki minimum basınçta gerçekleştirilen vakumlu kızartma, akrilamid oluşumunu azaltmak için kullanılmaktadır (Zhang vd., 2020). Vakumlu kızartmada daha düşük sıcaklıklar kullanıldığından daha yüksek düzeyde indirgeyici şeker molekülü içeren patatesler de dahil olmak üzere nem içeriği azaltılarak istenmeyen oksidasyon işlemleri sınırlandırılmakta ve patates cipslerinde daha düşük seviyelerde akrilamid oluşumu gözlenmektedir. Vakumlu kızartma yöntemi ile aynı nem seviyesindeki konveksiyonlu fırında pişirme yöntemi karşılaştırıldığında, vakumlu kızartma yönteminin patateslerde akrilamid içeriğini %72 ile %98 arasında azalttığı belirlenmiştir (Akkurt vd., 2021).

2.6.2. Ön Haşlama (Blanching) İşlemi

Besinlerin pişirmeden önce bir süre sıcak suda bekletildiği bir işlem olan ön haşlamanın besinlerdeki akrilamid içeriğini azaltmada etkili olduğu belirtilmiştir (Mestdaghd vd., 2008). Bu işlemde, glikoz ve asparajin içerikleri süzülür ve bu şekilde akrilamid öncülleri azaltılarak akrilamid oluşumu engellenir (Zhang vd., 2020). Yapılan bir çalışmada ön haşlama süresinin patates cipslerindeki indirgen şeker, asparajin ve akrilamid seviyelerinin düşmesinde sıcaklıktan daha etkili olduğu ve en yüksek azalma oranının 3 dakika boyunca 90°C'de ön haşlama işlemi uygulanan patates cipslerinde olduğu gözlemlenmiştir (Bakhtary vd., 2014).

2.6.3. Katkı Maddelerinin İlavesi

Amino asitler, antioksidanlar, enzimler, tuzlar ve vitaminler gibi maddelerin eklenmesi, besinlerdeki akrilamid içeriğini azaltabilmektedir (Morales vd., 2008; Medeiros Vinci vd., 2011; Wang & Xu, 2014).

Lizin, glisin ve alanin gibi amino asitlerin eklenmesi ile akrilamid oluşumu azalmaktadır (Chen vd., 2022). Özellikle glisinin akrilamid ile reaksiyona girdiği ve yüksek sıcaklıkta işlenmiş besinlerde akrilamid içeriğini azaltma konusunda etkili olduğu bildirilmiştir (Yu vd., 2013).

Antioksidanlar; Maillard reaksiyonu ara ürünleriyle, akrilamid öncülleriyle veya akrilamidin kendisiyle reaksiyona girerek akrilamid düzeyini etkiler (Morales vd., 2008). Klorojenik asit, lipid oksidasyonunu azaltarak akrilamidi inhibe edebilirken öte yandan hidroksimetil furfural oluşturmak üzere şeker ayrışmasını tetikleyerek akrilamid oluşumunu artırabilmektedir (Qin vd., 2017). P-kumarik asit, gibi polifenolik antioksidan bileşikler ve

biberiye, bambu yaprakları, nar kabuğu, üzüm çekirdeği ekstresi gibi bitki ekstraktları işlenmiş besinlerdeki akrilamid seviyesini azaltmak için kullanılan antioksidanlardandır (Sharif vd., 2022).

Akrilamid oluşumunun anahtar öncüsü olarak bilinen asparajinin reaksiyona girmesini engelleyen enzim L-asparaginazdır. Asparaginaz gibi enzimler, besinin tadını değiştirmeden asparajini aspartik aside hidrolize ederek besindeki akrilamid içeriğini önemli ölçüde azaltmaktadır (Jia vd., 2021). Bu konuda yapılan çalışmada buğday ve patates krakerleri yapımında hamur hazırlama sırasında hamura asparaginaz enziminin eklenmesiyle krakerlerde akrilamid içeriğinin %70 oranında azaldığı belirlenmiştir (Vass vd., 2004).

Antioksidatif özellikleri nedeniyle bazı vitaminler eklendikten sonra da besinlerdeki akrilamid oluşumunda azalma gözlemlenmiştir. Yapılan bir çalışmada askorbik asit ve tiamin, besindeki akrilamid içeriğini %60 oranında azaltırken, riboflavin ve pantotenik asidin akrilamid içeriğini yaklaşık %30 oranında azalttığı belirlenmiştir (Wang & Xu 2014).

2.6.4. Besinlerde pH ve Nem Oranının Değiştirilmesi

Maillard reaksiyonu temel olarak pH ve nemden etkilendiği için besinlerde akrilamid oluşumunun kontrol edilmesinde bu faktörler önemli bir rol oynamaktadır. Akrilamid oluşumu için optimum pH 7-8'dir ve pH'ın düşmesi ile akrilamid oluşumu azalmaktadır (Jung vd., 2003). Yapılan çalışmalarda, mısır cipslerinin kızartma işlemi öncesinde sitrik asit çözeltisine daldırılmasının akrilamid oluşumunu azalttığı gözlemlenmiştir (Shakeri vd., 2019).

Nem içeriği ise besinlerdeki bağlanmamış su miktarını ifade eder. Maillard reaksiyonu %12-18 nem aralığında etkin olarak gerçekleşir. Besinin nem içeriğinin azalması akrilamid oluşumu artırmaktadır (Aiswarya & Baskar, 2018). Yapılan bir çalışmada %5'in üzerinde nem oranına sahip keklerde, %5'in altında nem oranına sahip keklerden daha az akrilamid oluştuğu gözlemlenmiştir (Elmore vd., 2005).

2.6.5. Fermantasyon

Fermantasyon uygulaması, akrilamid içeriğini azaltmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Karbonhidrat bakımından zengin besinlerin fermantasyonunda uzun bir süre boyunca asparajin kullanımının artmasına bağlı olarak akrilamid içeriği azalmaktadır (Akıllıoğlu vd., 2014).

Çalışmalarda, ekmeğin *S. lutetiensis* ve *L. plantarum* kullanılarak laktik asit fermantasyonu altında işlenmesiyle, akrilamid içeriğinin sırasıyla %39 ve %26 oranında

azaldığı gözlemlenmiştir (Esfahani vd., 2017; Wlakhdari vd., 2004). Ayrıca maya fermentasyonunda *P. acidilactici*'nin kullanılmasının buğday ekmeklerindeki akrilamid seviyelerini etkili bir şekilde azaltabileceği gösterilmiştir (Zhou vd., 2022).

2.6.6. Hidrokolloid Bazlı Kaplama

Hidrokolloidler (gamlar), kıvam artırıcı veya jelleştirici bir etki oluşturmak amacıyla kullanılan, suda dağılabilen veya çözünebilen polimerik maddelerdir (Glicksman, 1969). Hidrokolloid kaplama, besinlerin akrilamid içeriğini kontrol etmek için kullanılan doğal yöntemlerden biridir. Hidrokolloid çözeltiler, besinin su tutma kapasitesini artırır ve Maillard reaksiyonunu engelleyerek besinlerde akrilamid oluşumunu azaltır (Aiswarya & Baskar, 2018). Zokaei ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, aljinat ve pektin kullanılarak yapılan hidrokolloid kaplama sonucu suyun buharlaşmasının önlendiği ve böylece patatesin nem içeriğinin kontrol altında tutularak akrilamid oluşumunun azaldığı belirlenmiştir.

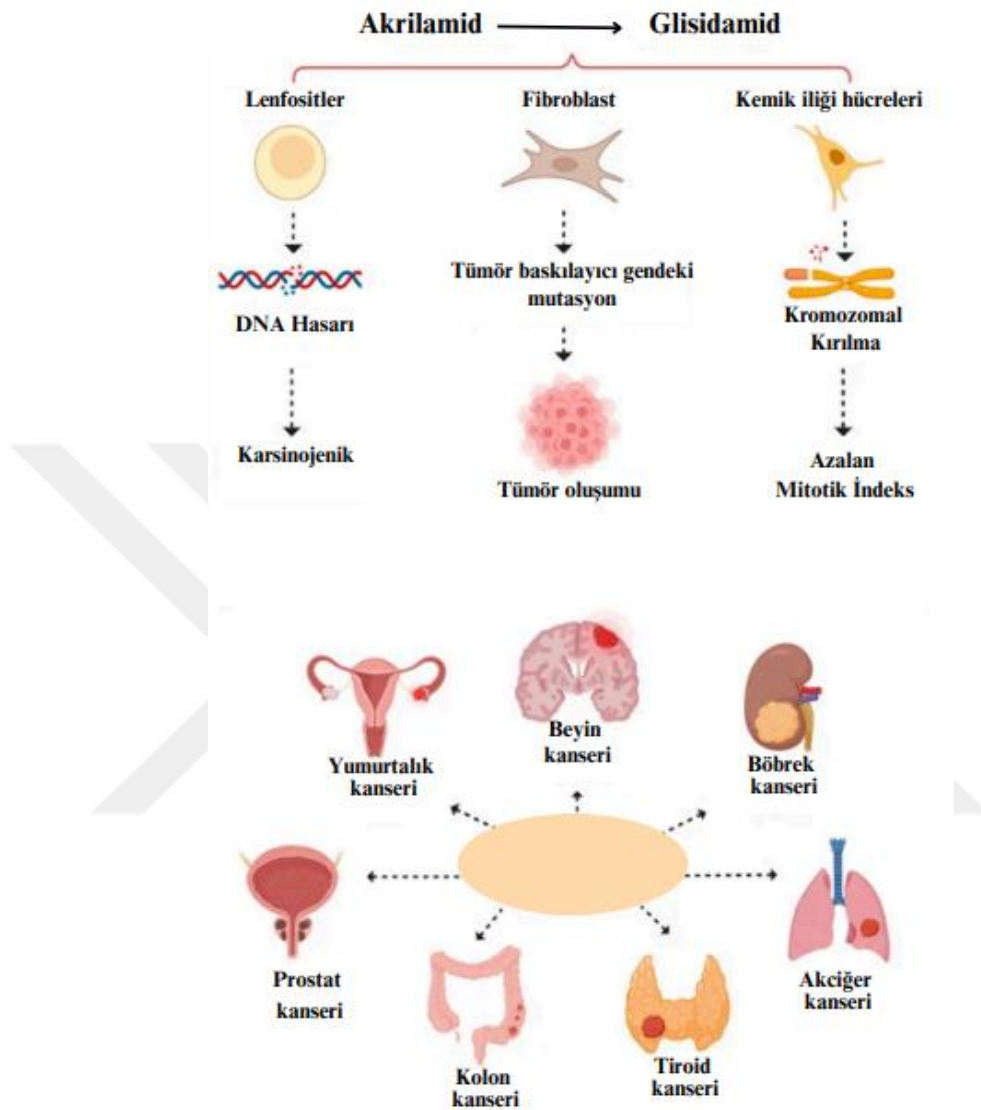
2.7. Akrilamidin Sağlık Üzerine Etkileri

Diyetle alınan akrilamid, yüksek toksisitesi nedeniyle genotoksisite, nörotoksisite, hepatotoksisite, karsinojenite, kardiyovasküler toksisite, üreme ve gelişim sistemi toksisitesi gibi çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilir. Akrilamidin tüm bu toksik etkileri, Gıda Katkı Maddeleri Ortak Uzman Komitesi (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA) ve IARC tarafından kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiş ve kategorize edilmiştir (IARC, 1994).

2.7.1. Genotoksisite ve Karsinojenite

Akrilamid ve aktif metaboliti glisidamid, nükleik asit bazlarıyla eklentiler oluşturur ve istenmeyen bileşenlerin üretilmesine yol açarak gen mutasyonlarına ve kromozomal anomalilere neden olabilir (Hölzl-Armstrong vd., 2020). Akrilamid, aktif olmayan bir mutajendir ve metabolik aktiviteden yoksundur. Bu nedenle DNA'ya karşı sınırlı reaktivite göstermektedir. Glisidamid ise biyotransformasyon yoluyla mutasyonları tetikleme yeteneğine sahip hale gelerek genotoksik etkilere yol açabilmektedir. Glisidamid, kan dolaşımına ulaştığında lenfositleri önemli ölçüde etkileyerek lenfositik DNA'da lezyonlara neden olmaktadır. Bununla birlikte, akrilamidin özellikle besinlerle alınan seviyelerde genotoksik bir karsinojen olarak işlev görmeyebileceğini öne süren çalışmalar da mevcuttur

(EFSA, 2015). Akrilamidin olası genotoksik ve karsinojenik etkileri Şekil 2.4.'te gösterilmiştir.

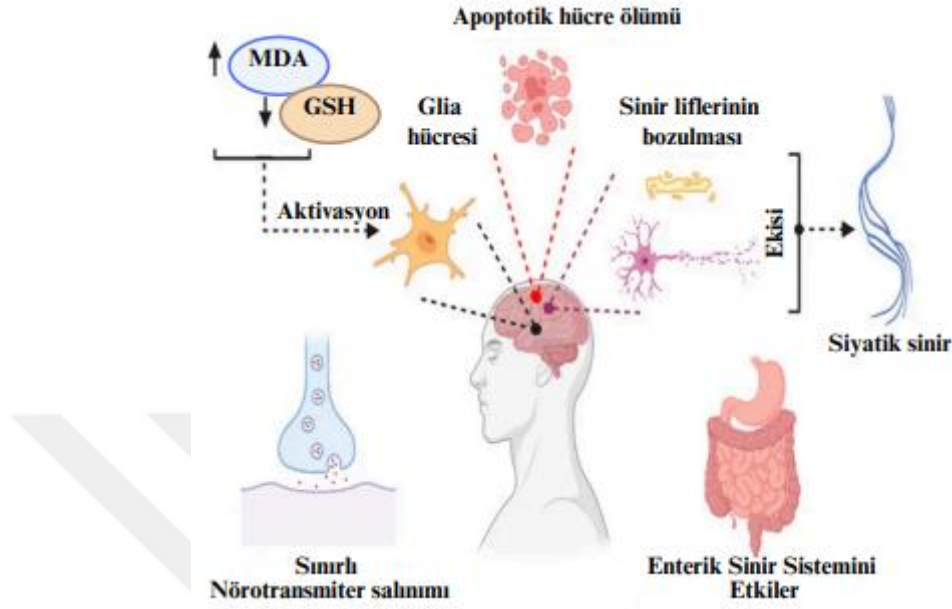


Şekil 2.4. Akrilamidin Olası Genotoksik Karsinojenik Etkileri (Govindaraju vd., 2024)

2.7.2. Nörotoksisite

Nörotoksik bir madde olan akrilamid hem merkezi hem de periferik sinir sistemini etkileyerek iskelet kaslarında zayıflık, periferik ve merkezi sinir sisteminde akson bozulması, distal ödem, ağırlık kaybı ve ataksi gibi genel semptomlara neden olabilmektedir (Hagmar vd., 2001). Özellikle beyin, akrilamidin etkilerine duyarlıdır ve sinir hasarına bağlı olarak ellerde ve ayaklarda zayıflık veya ağrı ile karakterize periferik nöropati gözlemlenebilmektedir. Bu duruma temel olarak siyatik sinirdeki serbest radikallerin ve reaktif oksijen türlerinin (ROS)

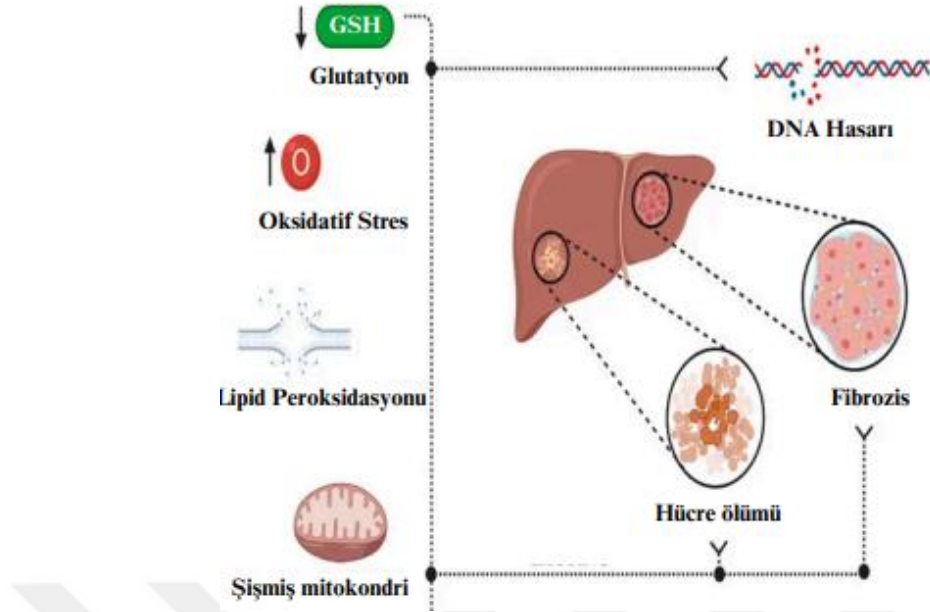
neden olduğu oksidatif stres yol açmaktadır. Ayrıca akrilamid, siyatik sinir üzerinde önemli etkiler yaparak sinir liflerinde demiyelinizasyona ve dejenerasyona neden olabilmektedir (Frag vd., 2021). Akrilamidin olası nörotoksik etkileri Şekil 2.5.'te özetlenmiştir.



Şekil 2.5. Akrilamidin Olası Nörotoksik Etkileri (Govindaraju vd., 2024)

2.7.3. Hepatotoksisite

Diyetle alınan akrilamidin metabolizmasının başlangıç yeri olan karaciğer, akrilamid toksisitesine karşı hassastır. Hepatotoksisite ile ilgili en yaygın mekanizmalardan biri, karaciğerde oksidatif hasara neden olan, lipid peroksidasyonunu artıran ROS üretimindeki artış sonucu karaciğerde oksidatif stresin oluşmasıdır (Karimi vd., 2020). Akrilamid, oksidatif dengesizliğe bağlı olarak serbest radikaller üretilmesi sonucu lipid peroksidasyonunu tetikler. Reaktif yağ asitleri, lipid hidroperoksitleri ve peroksil radikallerini oluşturmak için ROS ile etkileşime girer ve malondialdehit (MDA) üretir. Bunun sonucunda lipid peroksidasyonunu önemli ölçüde artırarak karaciğerde yüksek oksidatif strese neden olur (Al-Qahtani vd., 2017). Ayrıca akrilamide maruz kalma, karaciğer dokularında glutatyon eksikliğinin yanı sıra glutatyon-S-transferaz aktivitesinde de eksikliğe yol açarak hepatik hücrelere zarar vermektedir (Erdemli vd., 2017). Akrilamidin olası hepatotoksik etkileri Şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Akrilamidin Hepatoksik Etkisi (Govindaraju vd., 2024)

2.7.4. Üreme ve Gelişim Sistemi Üzerine Toksik Etkileri

Akrilamidin neden olduğu üreme toksisitesi, infertiliteye yol açabileceğinden önemli bir endişe kaynağıdır. Üreme toksisitesi genellikle epididimis, testis, seminal veziküller ve prostat bezi gibi erkek üreme organlarını etkileyebilmektedir (Abd Al Haleem vd., 2022).

Akrilamid, kadınlarda overleri hedef alarak korpus luteum oluşumunu, atreziyi ve foliküler gelişimi etkilemektedir (Duan vd., 2015). Gebelik sırasında, akrilamid açısından zengin besinlerin tüketimi oksidatif stres ve inflamasyon riskini artırabilmektedir. Oksidatif stres ise antioksidatif savunma sistemini zayıflatıp doğum öncesi ve doğum sonrası nörotoksisiteye neden olabilmektedir (Kadawathagedara vd., 2018).

Diyetle akrilamid alımının bebeklerin doğum öncesi ve doğum sonrası gelişimini de önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Akrilamid, plasental bariyerlerden geçer ve gebelik sırasında fetal doku veya organları hedef alarak fetüsleri doğrudan etkileyebilir (Mojska vd., 2020). Ayrıca diyetle yüksek akrilamid alımı, doğum sonrası meme bezlerinde prolaktinin azalmasına bağlı olarak anne sütünün az salgılanmasına ve bu nedenle yenidoğanda yetersiz beslenme ve ağırlık kaybı gibi sorunlara da yol açabilmektedir (Yu vd., 2020).

2.8. Akrilamid ile İlgili Yasal Düzenlemeler

Akrilamid ile ilgili yasal düzenlemeler henüz gelişim sürecindedir. Besinlerdeki akrilamid düzeyleri ile ilgili Avrupa Birliği (AB) ve ülkemiz mevzuatında belirlenmiş limit değerleri bulunmamaktadır. Ancak sular için Avrupa Birliği'nde 1998-98/83/EC sayılı

direktif (Avrupa Birliği, 1998) ve ülkemizde “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” (İnsani Tüketim Amaçlı Sular, 2005) gereği sularda akrilamid içeriği 0,1 µg/L sınır değeri olarak belirlenmiştir. Avrupa Birliği, besin güvenliğini sağlamaya ve besinlerde maksimum akrilamid seviyelerini belirlemeye odaklanan 2017/2158 sayılı yönetmelik (Avrupa Birliği, 2017) gibi düzenlemelerle bu sorunu ele almıştır. Bu yönetmelik, besinlerdeki akrilamid seviyelerini azaltmayı ve maksimum seviyeleri aşan ürünleri piyasadan kaldırmayı amaçlamaktadır.

Avrupa Birliği, 2019/1888 sayılı yönetmelikte (Avrupa Birliği, 2019) ise, besinlerde, özellikle patates ve tahıl ürünlerindeki akrilamid içeriğine odaklanmakta ve besin üreticilerinin yönetmeliklere uymak için alması gereken önlemleri ana hatlarıyla belirtmektedir. Akrilamid maruziyetini azaltmak için önerilen önlemler arasında, indirgen şeker oranı düşük patates kullanımı, patates kızartması fabrikalarında indirgen şeker oranının sınırlandırılması, fritözlerde sıcaklık profillerinin kontrol edilmesi, unlu mamullerde amonyum karbonat kullanımının kısıtlanması ve akrilamid içeriği belirlenen seviyeleri aştığında müdahale edilmesi gibi akrilamid oluşumuna katkıda bulunan faktörlerin kontrol edilmesi yer almaktadır (Avrupa Birliği, 2019). Bu girişimlere rağmen, AB'de hala kapsamlı yasal düzenlemeler bulunmamaktadır. Bu durum, akrilamid maruziyetini azaltmak ve gıda güvenliğini sağlamak için daha fazla önlem alınması gerektiğini göstermektedir (Boyacı Gunduz, 2023).

2.9. Beslenmeye Dayalı Risk Değerlendirme Çalışmaları

İnsanların günlük hayatta tükettiği birçok besin, çeşitli kimyasal tehlikeler içermektedir. Bu tehlikeler; besinlerin bileşeni olabildiği gibi, besinlere eklenen gıda katkı maddeleri, tarım ilaçları, paketleme materyallerinden migrasyon ile besine geçen maddeler veya pişirme ile oluşan akrilamid gibi kimyasallar da olabilir (O'Brien vd., 2006). Risk analizi, besinlerde bulunan kimyasalların tanımlanması, toksikolojik değerlendirmelerinin yapılması, toksik kimyasallara maruziyet sonucunda oluşabilecek potansiyel olumsuz sağlık etkilerinin ortaya konulması ve bunların sonucunda tüketicilerin korunması için yapılması gerekenlerin belirlenmesini amaçlamaktadır (Tennant, 2012). Kodeks Alimentarius Komisyonu risk analizini; risk değerlendirme, risk yönetimi ve risk iletişiminin oluşan bir uygulama olarak tanımlanmıştır. Risk değerlendirme yaklaşımı ise tehlikenin tanımlanması, tehlikenin karakterizasyonu, maruziyet değerlendirmesi ve risk karakterizasyonu olarak dört basamaktan oluşmaktadır (Organization, 2008; Tennant, 2012).

2.9.1. Tehlikenin Tanımlanması

Tehlikenin tanımlanmasında, bir kimyasalın deney hayvanları ve insanlardaki etkileri üzerine mevcut bilimsel veriler değerlendirilerek sebep olabileceği sağlık problemleri araştırılır. Bu verilerin değerlendirilmesi sonucunda kimyasalın sağlığa herhangi bir olumsuz etkisinin olup olmadığı belirlenmektedir (WHO, 2008). Kimyasal maddeye maruziyet sonucunda oluşabilecek olumsuz sağlık etkileri; baş ağrısı, bulantı ve burun, boğaz ve göz tahrişi gibi akut toksik etkiler olabileceği gibi kanser gibi kronik hastalıklar da gözlemlenmektedir (Kavcar, 2005).

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı'nın yaptığı sınıflandırmada akrilamid, Grup 2B (insanlar için muhtemel kanserojen) olarak sınıflandırılmıştır (IARC, 1994). Akrilamid karsinojenitesi ile ilgili yapılan çalışmalarda, deney hayvanlarındaki karsinojenik etkisiyle ilgili yeterli kanıtlar tespit edilmişken insanlardaki karsinojenik etkisiyle ilgili kanıtlar henüz yetersizdir (IRIS, 2010).

2.9.2. Tehlikenin Karakterizasyonu

Tehlike karakterizasyonu, doz-yanıt ilişkisinin belirlenmesine dayanmaktadır. Doz, organizmaya alındıktan sonra biyolojik alıcılarla ya da metabolik yollarla etkileşime girebilen ilgili kimyasalın miktarı olarak tanımlanmaktadır. Doz-yanıt ilişkisi ise mevcut kimyasalın uygulanan ya da maruz kalınan dozu ile olumsuz sağlık etkisinin oluşumu arasındaki ilişkidir (WHO, 2008).

Bireyin maruz kaldığı kimyasalın miktarı ile bu miktara bağlı oluşan yanıt arasındaki ilişki, matematiksel modellemeler kullanılarak ifade edilmektedir (Larsen, 2006). Doz-yanıt değerlendirilmesi maruz kalınan maddenin karsinojenik etkisine bağlı olarak değişmektedir. Karsinojen olmayan kimyasalların eşik değeri için kabul edilebilir günlük doz (Acceptable Daily Intake, ADI) değeri gibi bir kritik referans doz değeri mevcuttur. Ancak karsinojenik etkili, eşik değerinin olmadığı varsayılan maruziyetlerde, karsinojene herhangi bir düzeyde maruziyet sonucunda kanser oluşma olasılığı mevcuttur. Özellikle genotoksik etkili karsinojenik maddelerin çok düşük düzeylerde dahi DNA hasarına ve kanser oluşumuna neden olacağı bildirilmiştir (Alzahrani, 2011).

2.9.3. Maruziyet Değerlendirmesi

Maruziyet; bireyin fiziksel, biyolojik veya kimyasal ajanla çeşitli yollarla temas halinde olmasıdır. Bu temas, kontamine olmuş ortamda soluma, kontamine olmuş besinin tüketilmesi ya da kalıntının olduğu yüzeye temas sonucu gerçekleşebilmektedir (EPA, 1992). Maruziyet değerlendirmesinde maruz kalınan kimyasalın konsantrasyon miktarı, maruziyet süresi ve sıklığı önemlidir.

Diyet akrilamid maruziyetini değerlendirmek için belirli sınırlamaları bulunan farklı hesaplama yaklaşımları, tüketim tahminleri (24 saatlik geriye dönük hatırlatma, iki ve yedi günlük besin tüketim kayıtları, besin tüketim sıklığı anketleri vb.) ve besinlerdeki akrilamid referans seviyelerini içeren çeşitli yöntemler uygulanmaktadır (Claeys vd., 2010; González vd., 2023; Nematollahi vd., 2020). Bu yaklaşımların en önemli sınırlaması, işlenmiş besin gruplarındaki akrilamid varlığını tayin etmek için pişirme yöntemlerindeki farklılıkları hesaba katmadan besin tüketim kayıtlarıyla veri tabanlarındaki ortalama değerler kullanarak değerlendirmede bulunmalarıdır (Thompson vd., 2017).

Besin tüketimi ile gerçekleşen maruziyetler, tahmini diyet maruziyeti olarak da belirtilmektedir. Diyetle alım, birim zamanda tüketilen besin miktarı ile besinde bulunan ya da bulunduğu öngörülen kimyasal miktarının çarpımı sonucunda elde edilmektedir. Bulunan değerlerin ortalama vücut ağırlığına bölünmesi ile tahmini diyet maruziyeti hesaplanmaktadır (EFSA, 2015).

$$\text{Tahmini diyet maruziyeti} = \frac{\text{Besin tüketimi} \left(\frac{\text{kg}}{\text{gün}} \right) \times \text{Besinin akrilamid içeriği}}{\text{Vücut ağırlığı (kg)}}$$

Genotoksik karsinojenlerin değerlendirmesinde maruz kalma marjı (Margin of Exposure, MOE) yaklaşımı ile doz tanımlayıcısı olarak BMDL₁₀'un (%10 tümör insidansına karşılık gelen Benchmark Dozunun %95 güven aralığına sahip alt sınırı) kullanılması JECFA ve EFSA tarafından önerilmektedir. Uzun vadeli maruziyet tahminlerindeki kesinliği ve değişkenlikleri belirlemenin yanı sıra besinlerde yaygın olarak kullanılan risk tahminlerini gerçekleştirme kabiliyeti nedeniyle MOE, en umut verici model olarak tanımlanmaktadır (EFSA, 2015; JECFA, 2011). Nörotoksik etkiler için MOE hesaplamasında, nörotoksisite için daha önce sıçanlarda hesaplanan BMDL₁₀ dozu (430 µg/kg) kullanılmaktadır. MOE<125 olması, nörotoksik etkiler için insan sağlığı açısından potansiyel bir endişe olduğunu göstermektedir. Karsinojenik etkiler için ise daha önce erkek farelerde Harderian bezi

tümörlerinde hesaplanan BMDL10 dozu (170 µg/kg) kullanılmaktadır. Karsinojenik etkiler için MOE<10.000 olması potansiyel bir riske işaret etmektedir (EFSA, 2015).

$$MOE = \frac{BMDL_{10} (\mu g/kg/gün)}{\text{Maruz kalınan miktar } (\mu g/kg/gün)}$$

2.9.4. Risk Karakterizasyonu

Risk karakterizasyonu; “Belirli popülasyondaki sağlığa zararlı etkilerin ya da olayların oluşma olasılıklarının ve ciddiyetinin, tehlikenin tanımlanması, doz-yanıt değerlendirmesi ve maruziyet değerlendirmesinden elde edilen tüm verileri bir araya getirerek, sonuçlarının yarı kantitatif ya da kantitatif olarak değerlendirilmesi” olarak tanımlanmaktadır (O’Brien vd., 2006). Risk değerlendirmenin son basamağı olan bu aşamada, tahmin edilen ya da gerçek toksik kimyasal madde maruziyetine bağlı olarak, insan sağlığı açısından oluşabilecek olumsuz durumların büyüklüğü ve etkisi tartışılmaktadır. Elde edilen risk değeri, bireyin hayatı boyunca bir karsinojene günlük belli düzeyde maruziyeti sonucunda kanser gelişiminin olasılığını belirtmektedir (IARC, 1994).

2.10. Üniversite Öğrencilerinde Akrilamid Maruziyeti

Üniversite öğrencileri, genellikle geç adölesan ya da yetişkinliğe geçiş olarak tanımlanan 18-24 yaş grubundan oluşmaktadır. Üniversite öğrencilerinin sağlıklı beslenme bilgisine ve alışkanlıklarına sahip olması hem sağlıklı bir birey olmaları hem de çevrelerindeki bireylere rol model olmaları nedeniyle toplumsal öneme sahiptir (El Sayed vd., 2015).

Genç yetişkinler, adölesan dönemden yetişkinliğe geçerken bağımsızlık kazandıkça, sağlıklı besin seçimleri ile ilgili çok sayıda zorlukla karşı karşıya kalırlar (Stok vd., 2018). Birçok öğrenci yoğun programlar, stres, sağlıklı yiyecek seçeneklerine sınırlı erişim ve sağlıksız yeme davranışları gibi çeşitli faktörler nedeniyle sağlıklı beslenmeyi sürdürmekte zorluk çekmektedir (Escoto vd., 2012). Yapılan bir çalışmada üniversiteye yeni başlayan öğrencilerin beş ay sonra özellikle günlük yağ ve alkol tüketiminde önemli bir artış olduğu gözlemlenmiştir (Butler vd., 2004). Bu durum, olumsuz sağlık sonuçlarına yol açabileceğinden, üniversite öğrencilerinin sağlıklı beslenmeye öncelik vermeleri ve bilinçli seçimler yapmalarını sağlayacak müdahalelerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (Sogari vd., 2018).

Üniversite öğrencileri genel olarak taze sebze, meyve ve tam tahıllı besinleri daha az; işlenmiş hazır besinleri, fast-food tarzı besinleri ve alkollü/alkolsüz içecekleri ise daha fazla tüketmektedirler. Sonuç olarak yetersiz vitamin, mineral ve diyet lifi tüketirken aşırı miktarda tuz, şeker ve doymuş yağ tüketmektedirler (Gayef vd., 2021).

Yetişkinlerde akrilamidin diyetle ortalama alımı 0,2-1,0 µg/kg/gün arasında ve en yüksek alım 0,6-1,8 µg/kg/gün aralığındadır (JECFA, 2011). Adölesanlar için ortalama akrilamid maruziyeti ise 0,4-2,0 µg/kg/gün aralığındadır. Adölesan ve genç yetişkinler daha kolay ulaşılabilir yüksek akrilamid düzeyine sahip atıştırmalıkları daha fazla tükettikleri için akrilamide daha fazla maruz kalabilmektedir (Kowalska vd., 2017). Yapılan çalışmalarda patates kızartması, bisküvi, ekmek ve özellikle yüksek kahve tüketiminin genç yetişkinlerde akrilamid maruziyetinin başlıca kaynakları olduğu belirtilmiştir (Kowalska vd., 2017; Mestdaghd vd., 2008). Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması (TBSA) 2019 verileri de bu durumu desteklemektedir. Raporda, 15 yaş ve üzeri tüm bireylerin her gün; patatesi 38,7 gram, beyaz ekmeği 179,8 gram ve Türk kahvesini 26,2 gram tükettiği belirtilmiştir. Ayrıca her iki cinsiyet için de ekmek ve patates tüketimi 15-18 yaş grubunda, kahve tüketimi ise 19-64 yaş grubunda diğer yaş gruplarına göre daha fazla bulunmuştur (TBSA, 2019). Bu durum, bu yaş grubunda diyetle akrilamid alımının artmasına neden olabilir.

Genç yetişkinlik döneminde akrilamid maruziyetinin yüksek olabileceği düşünülse de literatürde bu yaş grubunda akrilamid maruziyetini değerlendiren çalışmalar sınırlıdır (Gao vd., 2022; González-Mulero vd., 2023; Matthys vd., 2005). Çin’de üniversite öğrencileriyle yapılan çalışmada kız öğrencilerin erkek öğrencilerden daha fazla akrilamide maruz kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca her iki cinsiyet için hesaplanan MOE değerinin 10.000 referans değerinin, hatta bazı durumlarda yüksek risk referans değeri olan 200’ün altında bulunduğu saptanmıştır. Çalışma sonuçları, akrilamid maruziyetinin nörotoksik etkilere neden olarak toplum sağlığı açısından risk oluşturabileceğini göstermiştir (Gao vd., 2022). İspanya’da iki farklı üniversite yemekhanesinden yalnızca öğle yemekleri toplanarak eş diyet yöntemi ile akrilamid maruziyetinin değerlendirildiği bir başka çalışmada, öğrenciler salata yerine patates bazlı besinleri tercih ettiğinde dört kat daha fazla akrilamide maruz kaldıkları gözlemlenmiştir. Düşük vücut ağırlıkları nedeniyle, kadınların her iki yemek tercihinde de akrilamid maruziyeti riski daha yüksek bulunmuştur. Yalnızca öğle yemeği değerlendirilmiş olmasına rağmen neoplastik etkiler için hesaplanan MOE değerleri 10.000 referans değerinin altında bulunmuş ve maruziyetin bir sağlık endişesine işaret ettiği sonucuna varılmıştır (González-Mulero vd., 2023).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Tipi

Bu çalışma, bir üniversitesi yemekhanesinde öğrencilere servis edilen yemeklerin akrilamid içeriğini belirlemek ve eş diyet yöntemini kullanarak öğrencilerin diyet akrilamid maruziyetini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiş kesitsel tipte bir araştırmadır. Araştırmanın bütçesi Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından sağlanmıştır (Proje kodu: 2023-SA.BP/20).

Çalışma için kurulan hipotezler şunlardır:

H0: Üniversite yemek hizmetlerinden yararlanan öğrencilerde diyet akrilamid maruziyeti, sağlık açısından risk oluşturacak düzeyde değildir.

H1: Üniversite yemek hizmetlerinden yararlanan öğrencilerde diyet akrilamid maruziyeti sağlık açısından risk oluşturabilecek düzeydedir.

3.2. Kimyasallar ve Malzemeler

Akrilamid analizinde Merck marka $^{13}\text{C}_3$ -akrilamid ($\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$, %99) ve asetonitril ($\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$, %99); Kimyalab marka n-hekzan (C_6H_{14} , %98); Chembio marka deiyonize su, potasyum hekzasiyanoferrat %15 ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) (Carrez I) ve çinko sülfat %30 (ZnSO_4) (Carrez II); Isolab marka falkon tüpü ve 45 μm 'lik şırınga ucu filtre; Microcult marka 200 μL 'lik ve 1000 μL 'lik pipet ucu kullanılmıştır.

3.3. Çalışma Tasarımı ve Numune Toplama

Çalışma, González-Mulero ve ark. (2023) tarafından İspanyol okul kantinlerinde gerçekleştirilmiş olan çalışmanın tasarımına benzer şekilde tasarlanmış ve 13-26 Mayıs 2024 tarihleri arasında bir üniversite öğrenci yemekhanesinde 14 günlük süreçte gerçekleştirilmiştir. Öğrenci yemekhanesinde, öğle ve akşam yemeği olmak üzere günlük iki öğün kısmi seçmeli menü sağlanmaktadır. Öğle ve akşam yemeklerinde çorba, ana yemek (birinci kap), alternatif yemek (genellikle vejetaryen yemekler), yardımcı yemek (ikinci kap) ve üçüncü kap yemek (tatlı, içecek, meyve, yoğurt veya salata gibi) olmak üzere beş kap yemek servis edilmekte olup, öğrencilerin ana yemek ve alternatif yemekler arasında seçim yapması istenmektedir (EK 1). Yemekhanede kısmi seçmeli menü sağlandığı için menüler “Menü-1” (çorba, ana

yemek, yardımcı yemek ve tamamlayıcı yemek) ve “Menü-2” (çorba, alternatif yemek, yardımcı yemek ve tamamlayıcı yemek) olarak sınıflandırılmıştır. Her iki menü için de akrilamid içerikleri ve diyet akrilamid maruziyetine katkıları belirlenmiştir.

On dört günlük süreçte araştırmacı tarafından, yemekhanede öğle öğününde servis edilen 60 yemek, akşam öğününde servis edilen 63 yemek ve ekmeklerden toplam 125 adet örnek toplanmıştır. Örnekler, hava almayan vakumlu poşetlere konulmuş, üzeri etiketlenmiştir (Şekil 3.1). Her bir yemeğin porsiyon büyüklüğüne dair bilgiler toplu beslenme hizmetleri yöneticisinden elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Numune örneklerinin etiketlenmesi

3.3.1. Örneklerin Hazırlanması

Örneklerin hazırlanması, Oroian ve ark. (2015) tarafından önerilen prosedüre göre yapılmıştır. Bu doğrultuda her öğünden sonra toplanan besinler blender yardımıyla öğütülerek ekstraksiyona kadar -20°C 'de saklanmıştır.

3.3.2. Akrilamid Ekstraksiyonu

Her bir numune örneği öğütüldükten sonra 50 mL'lik falkon tüplere 3'er gram olacak şekilde eklenmiştir. Ardından 20 mL deiyonize su ve yağı çözücü solüsyon olarak 15 mL n-hekzan eklenmiştir. Falkon tüpleri 50°C 'de, 250 rpm'de 30 dk çalkalanmıştır (Heidolph, Unimax 1010 orbital çalkalayıcı, Almanya). Ardından 3000 rpm'de 20 dk santrifüjlenmiştir (Nüve, NF 1200, Türkiye). Yağ tabakası uzaklaştırılmış ve proteini uzaklaştırmak ve su

tabakasını saflaştırmak için 3 mL Carez I ve 3 mL Carez II eklenerek 250 rpm'de 30 boyunca çalkalanmıştır. Ardından 3000 rpm'de 20 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Santrifüjden sonra falkon tüpünün proteinden oluşan üst katman, akrilamidin bulunduğu berrak ara katman ve numune tortusundan oluşan alt katman şeklinde üç katman içerdiği görülmüştür. Akrilamidin bulunduğu katman ayrıştırılmış, 3 mL Carez I ve 3 mL Carez II solüsyonu eklenmiştir. Numune tekrar 250 rpm'de 30 boyunca çalkalanmıştır. Ardından 3000 rpm'de 20 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Berrak tabaka 45 µm filtre kullanılarak süzölmüştür.

3.3.3. Akrilamid Analizi

Yemeklerdeki akrilamid analizi, akredite bir laboratuvar olan Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nden (TAUM) hizmet alımı şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Akrilamid analizi, Oroian ve ark. (2015) tarafından önerilen prosedüre göre yapılmıştır. Numune ekstratları, Agilent 1260 Serisi, sıvı kromatografi, otomatik örnekleyici, kolon fırını ve DAD ile donatılmış Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (HPLC) sistemi (Agilent, Kaliforniya, ABD) kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz koşulları; 190-240 nm dalga boyu, su/asetonitril (90:10, v/v) mobil faz tipi, 10 µl enjeksiyon hacmi ve 1ml/dk akış hızı olarak belirlenmiştir. Akrilamid miktar tayini; akrilamid alıkonma zamanındaki pik alanının ölçülmesi ve akrilamid çözeltilerinden (0,1, 1, 5, 10, 20, 25, 100, 400 ppm) oluşturulan kalibrasyon eğrisinin (EK 2) karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Akrilamid standardı için elde edilen kalibrasyon eğrisinin matematiksel formülü $y=92,54x+74,69$ ve regresyon katsayısı $R^2 = 0.999$ olarak belirlenmiştir. Tespit sınırı (Limit of Detection, LOD) 5,87 µg/kg ve ölçüm sınırı (Limit of Quantification, LOQ) 17,80 µg/kg olarak aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{LOD: } 3,3 \times 164,70 / 92,54 = 5,87 \text{ µg/kg}$$

$$\text{LOQ: } 10 \times 164,70 / 92,54 = 17,80 \text{ µg/kg}$$

Numuneler, iki tekrarlı olacak şekilde analiz edilmiş ve sonuçlar µg/kg olarak rapor edilmiştir.

3.3.4. Diyet Akrilamid Maruziyeti Tahmini

Öğrenci yemekhanesinde kısmi seçmeli menü sağlandığı için öncelikle araştırmacı tarafından menüler “Menü-1” ve “Menü-2” olarak sınıflandırılmıştır. Çorba, ana yemek, yardımcı yemek ve tamamlayıcı yemekten oluşan menü “Menü-1”; çorba, alternatif yemek,

yardımcı yemek ve tamamlayıcı yemekten oluşan menü ise “Menü-2” olarak isimlendirilmiştir. Her iki menü için de diyet akrilamid maruziyeti tahmini ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca maruziyet tahmini yapılırken tüm menülere bir roll (50 g) ekmek eklenmiştir. Öğrenci yemekhanesinde ekmekler haftalık olarak temin edildiği için iki adet ekmeğin akrilamid analizi de yukarıda açıklandığı şekilde yapılmış ve maruziyet tahminine dahil edilmiştir.

Maruziyetin olduğundan fazla tahmin edilmesini önlemek amacıyla LOQ değerinin (<17,80 µg/kg) altında akrilamid konsantrasyonuna sahip numunelerin akrilamid maruziyetine katkıları göz ardı edilmiştir González-Mulero ve ark. (2023). Çiğ besinlerin akrilamid içeriği ise 0 kabul edilmiştir. Her bir öğünden gelen akrilamid bireysel katkısı, akrilamid içeriği ve porsiyonun yenilebilir kısmının ağırlığı birleştirilerek hesaplanmıştır (Branciarı vd., 2020; EFSA, 2015).

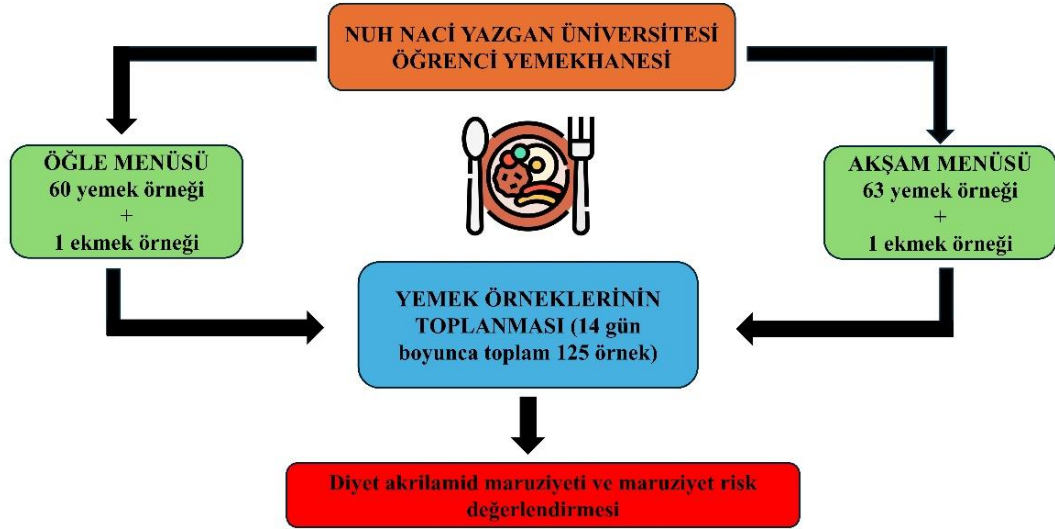
Diyet akrilamid maruziyeti, çalışma süresi boyunca her gün öğle ve akşam yemeğinde tüketilen besinlerin akrilamid içeriğinin toplanması ve ardından kadınlar ve erkekler için belirlenen ortalama vücut ağırlığı değerlerine bölünmesi ile hesaplanmıştır (EFSA, 2015). Diyet maruziyeti, 19-30 yaş Türk nüfusu için belirlenen ortalama vücut ağırlığı verileri (kadınlar için 62 kg, erkekler için 77 kg) kullanılarak hesaplanmıştır (TBSA, 2019).

$$\text{Tahmini diyet maruziyeti} = \frac{\text{Besin tüketimi} \left(\frac{\text{kg}}{\text{gün}} \right) \times \text{Besinin akrilamid içeriği}}{\text{Vücut ağırlığı (kg)}}$$

Son olarak, akrilamide maruz kalma risk değerlendirilmesi EFSA ve JECFA tarafından önerilen hem nörotoksik hem de karsinojenik etkiler için MOE değeri hesaplanarak gerçekleştirilmiştir (EFSA 2015; JECFA, 2011). Nörotoksik etkiler için MOE hesaplamasında, nörotoksisite için daha önce sıçanlarda hesaplanan BMDL10 dozu (430 µg/kg) kullanılmıştır. MOE<125 olması, nörotoksik etkiler için insan sağlığı açısından potansiyel bir endişe olduğunu göstermektedir. Karsinojenik etkiler için, daha önce erkek farelerde Harderian bezi tümörlerinde hesaplanan BMDL10 dozu (170 µg/kg) kullanılmıştır. Karsinojenik etkiler için MOE<10.000 olması potansiyel bir riske işaret etmektedir (EFSA, 2015). MOE hesaplamasına ait formül aşağıda özetlenmiştir:

$$\text{MOE} = \frac{\text{BMDL}_{10}(\mu\text{g/kg/gün})}{\text{Maruz kalınan miktar}(\mu\text{g/kg/gün})}$$

Araştırma planı Şekil 3.2.'de özetlenmiştir.



Şekil 3.2. Araştırma Planı

3.5. İstatistiksel Analizler

Verilerin değerlendirilmesinde Sosyal Bilimler için İstatistik Paket Programı (Statistical Package for Social Sciences, SPSS Versiyon 24), görselleştirilmesinde ise GraphPad Prism 8.0 Programı kullanılmıştır. Sayılar değişkenler, ortalama ($\bar{X}$) ve standart sapma (SD) olarak ifade edilmiş, en düşük ve en yüksek değerler verilmiştir. Bağımsız iki grup karşılaştırmalarında Bağımsız İki Örneklem T Testi, ikiden fazla grup karşılaştırmalarında Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) Testi kullanılmıştır. Tüm analizlerde $p < 0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

Yemekhaneden öğle öğününde servis edilen 60 yemek, akşam öğününde servis edilen 63 yemek ve ekmeklerden toplam 125 adet örnek toplanmıştır. Toplanan 125 adet yemek örneğinden 53 tanesinin akrilamid içeriği LOQ (17,80 µg/kg) değerinin üzerinde bulunmuştur.

Tablo 4.1.'de menülerde yer alan çorbaların akrilamid içerikleri verilmiştir. Arabaşı çorbanın en fazla akrilamid içeren (68,53 µg/kg) ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda (13,71 µg/porsiyon) bulunan çorba olduğu, ardından andoloz çorba (41,64 µg/kg, 8,33 µg/porsiyon) ve yüksük çorbanın (31,84 µg/kg, 6,37 µg/porsiyon) geldiği belirlenmiştir. Toplam 28 çorba örneğinin 20 tanesinin ise akrilamid içeriği LOQ değerinin (<17,80 µg/kg) altında bulunmuştur.

Tablo 4.1. Çorbaların akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi

Yemek Grubu	Sayı (S)	Akrilamid içeriği (µg/kg)*	Porsiyon miktarı (g)	Akrilamid maruziyetine katkısı (µg/porsiyon)*
Andoloz çorba	1	41,64	200	8,33
Arabaşı çorba	1	68,53	200	13,71
Domates çorba	4	25,27±5,59 (20,13–30,17)	200	5,05±1.12 (4,03–6,03)
Ezogelin çorba	1	<LOQ	200	0
Köylü çorba	4	<LOQ	200	0
Kremalı sebze çorba	1	<LOQ	200	0
Mercimek çorba	1	<LOQ	200	0
Soğuk çorba	2	<LOQ–22,33	200	0–4,47
Şehriye çorba	1	<LOQ	200	0
Tarhana çorba	2	<LOQ	200	0
Terbiyeli şehriye çorba	1	<LOQ	200	0
Toyga çorba	2	<LOQ	200	0
Tutmaç çorba	1	<LOQ	200	0
Yayla çorba	5	<LOQ	200	0
Yüksük çorba	1	31,84	200	6,37

Kısaltmalar: LOQ, Limit of Quantification. *Menüde birden fazla yer alan yemeklerin akrilamid içeriği, ortalama±standart sapma ($\bar{X}$ ±SD) (En düşük–En yüksek) olarak verilmiştir.

Ana yemeklerin akrilamid içerikleri Tablo 4.2.'de sunulmuştur. Ana yemekler içerisinde en fazla akrilamid içeren ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda bulunan ana yemeklerin sırasıyla susamlı tavuk (308,72µg/kg, 54,03 µg/porsiyon) ve fırında patatesli tavuk (282,14 µg/kg, 56,43 µg/porsiyon) olduğu belirlenmiştir. Toplam 28 ana yemek örneğinin ise 9 tanesinin akrilamid içeriği LOQ (17,80 µg/kg) altında bulunmuştur.

Tablo 4.2. Ana yemeklerin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi

Yemek Grubu	Sayı (S)	Akrilamid içeriği (µg/kg)*	Porsiyon miktarı (g)	Akrilamid maruziyetine katkısı (µg/porsiyon)*
Et yemekleri	2			
Sebzeli kebab	1	66,57	150	9,99
Kıymalı yumurta	1	<LOQ	150	0
Köfteler	8			
Kadınbudu köfte	2	44,88±6,63 (40,19–49,56)	100	4,49±0,66 (4,49–0,66)
Kasap köfte	2	25,19±6,40 (20,66–29,71)	100	2,52±0,64 (2,07–2,97)
Pürelı kadınbudu köfte	3	67,23±26,32 (40,19–92,77)	150	10,08±3,95 (6,03–13,92)
Rulo köfte	1	<LOQ	100	0
Tavuk yemekleri	14			
Fırında garnitürlü tavuk	1	<LOQ	200	0
Fırında patatesli tavuk	1	282,14	200	56,43
Nugget	3	174,61±108,77 (57,54–272,55)	150	26,19±16,32 (8,63–40,88)
Piliç fajita	1	<LOQ	200	0
Piliç roti	1	<LOQ	200	0
Piliç sarma	1	<LOQ	200	0
Sebzeli fırın tavuk	1	20,63	200	3,10
Susamlı tavuk	1	308,72	175	54,03
Schnitzel	3	80,57±28,12 (48,10–96,80)	150	12,09±4,22 (7,22–14,52)
Tavuk haşlama	1	<LOQ	200	0
Etli sebze yemekleri	2			
Fırın türlü	1	32,76	200	6,55
Kıymalı bezelye	1	28,28	200	5,66
Etli kuru baklagil yemekleri	2			
Etli barbunya	1	<LOQ	200	0
Pastırmalı kuru fasulye	1	<LOQ	200	0

Kısaltmalar: LOQ, Limit of Quantification. *Menüde birden fazla yer alan yemeklerin akrilamid içeriği, ortalama±standart sapma ($\bar{X}\pm SD$) (En düşük–En yüksek) olarak verilmiştir.



Alternatif yemeklerin akrilamid içerikleri Tablo 4.3.'te verilmiştir. Peynirli milföy böreğinin tüm alternatif yemekler içinde en yüksek akrilamid içeriğine sahip olduğu ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda bulunan yemek (659,89 µg/kg, 65,99 µg/porsiyon) olduğu belirlenmiştir. Zeytinyağlı/etsiz sebze yemeklerinden ise en fazla akrilamid içeren ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda bulunan yemeklerin sırasıyla beşamel soslu karnabahar (51,83±17,48 µg/kg, 10,37±3,50 µg/porsiyon) ve fırın karnabahar (48,40 µg/kg, 9,68 µg/porsiyon) olduğu görülmüştür. Kızartmalar içerisinde en fazla akrilamid içeren ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda bulunan patates kızartma (369,57 µg/kg, 54,43 µg/porsiyon) olmuştur. Toplam 26 alternatif yemek örneğinin 9 tanesinin ise akrilamid içeriği LOQ değerinin (<17,80 µg/kg) altında bulunmuştur.

Tablo 4.3. Alternatif yemeklerin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi

Yemek Grubu	Sayı (S)	Akrilamid içeriği (µg/kg)	Porsiyon miktarı (g)	Akrilamid maruziyetine katkısı (µg/porsiyon)
Zeytinyağlı/etsiz sebze yemekleri	13			
Beşamel soslu brokoli	1	<LOQ	200	0
Beşamel soslu karnabahar	2	51,83±17,48 (39,47–64,20)	200	10,37±3,50 (7,89–12,84)
Fırın karnabahar	1	48,40	200	9,68
Ispanak graten	1	<LOQ	200	0
Kabak çırpma	1	<LOQ	200	0
Zeytinyağlı bezelye	2	33,81±16,31 (22,28–45,34)	200	6,76±3,26 (4,46–9,07)
Zeytinyağlı ıspanak	4	<LOQ–28,52	200	0–7,70
Zeytinyağlı taze fasulye	1	<LOQ	200	0
Kızartmalar	9			
Karışık kızartma	1	25,33	150	3,80
Karnabahar kızartma	3	<LOQ–71,06±32,86 (<LOQ–94,29)	150	10,66±4,93 (0–14,14)
Karnabahar-brokoli kızartma	2	52,79±1,03 (52,06–53,51)	150	7,91±0,15 (7,81–8,03)
Patates kızartma	1	369,57	150	54,43
Patlıcan-kabak kızartma	2	<LOQ	150	0
Diğer	4			
Peynirli milföy böreği	1	659,89	100	65,99
Kumpir	1	<LOQ	150	0
Kıymalı yumurta	2	<LOQ	150	0

Kısaltmalar: LOQ, Limit of Quantification. *Menüde birden fazla yer alan yemeklerin akrilamid içeriği, ortalama±standart sapma ($\bar{X}$ ±SD) (En düşük–En yüksek) olarak verilmiştir.

Tablo 4.4.'te menülerde yer alan yardımcı yemeklerin akrilamid içerikleri verilmiştir. Peynirli milföy böreğinin en fazla akrilamid içeren ($445,68 \mu\text{g/kg}$) ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda ($44,57 \mu\text{g/porsiyon}$) bulunan yardımcı yemek olduğu belirlenmiştir. Makarnalar içinde erişte kavurma ($63,97 \pm 38,36 \mu\text{g/kg}$, $9,60 \pm 5,75 \mu\text{g/porsiyon}$), pilavlar içinde ise Avşar pilavının ($79,08 \pm 37,28 \mu\text{g/kg}$, $11,86 \pm 5,59 \mu\text{g/porsiyon}$) en yüksek akrilamid içeriğine sahip olduğu ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda bulunan yemek olduğu saptanmıştır. Toplam 28 yardımcı yemek örneğinin 18 tanesinin akrilamid içeriği LOQ değerinin ($<17,80 \mu\text{g/kg}$) altında bulunmuştur.

Tablo 4.4. Yardımcı yemeklerin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi

Yemek Grubu	Sayı (S)	Akrilamid içeriği ($\mu\text{g/kg}$) [*]	Porsiyon miktarı (g)	Akrilamid maruziyetine katkısı ($\mu\text{g/porsiyon}$) [*]
Börekler	6			
Ispanaklı börek	2	<LOQ	150	0
Peynirli kalem böreği	3	<LOQ- $275,08 \pm 148,17$ ($<LOQ-379,85$)	150	0- $82,53 \pm 22,22$ (0- $56,98$)
Peynirli milföy böreği	1	445,68	100	44,57
Makarnalar	10			
Erişte kavurma	3	<LOQ- $95,95 \pm 78,38$ ($<LOQ-151,37$)	150	0- $14,40 \pm 11,76$ (0- $22,71$)
Köri soslu makarna	1	<LOQ	150	0
Kremalı penne	2	<LOQ-17,87	150	0-2,68
Milones soslu makarna	1	<LOQ	150	0
Soslu makarna	2	<LOQ	150	0
Spagetti	1	<LOQ	150	0
Pilavlar	12			
Avşar pilavı	2	$79,08 \pm 37,28$	150	$11,86 \pm 5,59$
Meyhane pilavı	1	39,71	150	5,96
Mısırlı pirinç pilavı	2	<LOQ	150	0
Nohutlu pilav	1	<LOQ	150	0
Pirinç pilavı	4	<LOQ	150	0
Sarıköz pilavı	1	<LOQ	150	0
Şehriyeli pirinç pilavı	1	45,26	150	6,84

Kısaltmalar: LOQ, Limit of Quantification. *Menüde birden fazla yer alan yemeklerin akrilamid içeriği, ortalama $\pm$ standart sapma ($\bar{X} \pm SD$) (En düşük-En yüksek) olarak verilmiştir.

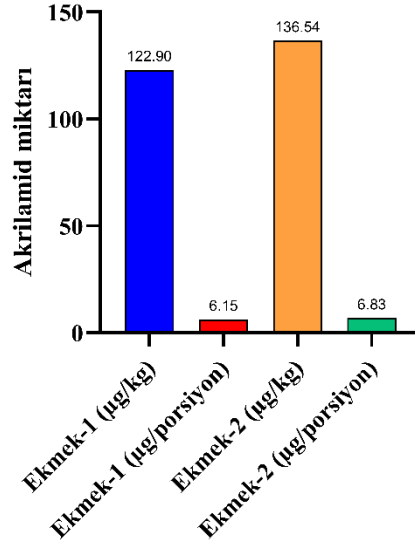
Tablo 4.5'te menülerde yer alan tamamlayıcı yemeklerin akrilamid içerikleri verilmiştir. Fırın patatesin en fazla akrilamid içeren (206,60 µg/kg) ve akrilamid maruziyetine (30,99 µg/porsiyon) en fazla katkıda bulunan tamamlayıcı yemek olduğu belirlenmiştir. Toplam 28 tamamlayıcı yemek örneğinin 18 tanesinin akrilamid içeriği LOQ değerinin (<17,80 µg/kg) altında bulunmuştur. Çiğ besinlerden elma, Malta eriği ve mısırlı salatanın ise akrilamid içeriği 0 kabul edilmiştir.

Tablo 4.5. Tamamlayıcı yemeklerin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi

Yemek Grubu	Sayı	Akrilamid içeriği (µg/kg) *	Porsiyon miktarı (g)	Akrilamid maruziyetine katkısı (µg/porsiyon) *
İçecekler	10			0
Ayran	2	<LOQ	200	0
Meyve suyu	8	<LOQ	200	0
Meyveler**	5		200	0
Elma	3	0	200	0
Malta eriği	2	0	200	0
Salatalar**	2			0
Mısırlı salata	2	0	200	0
Tatlılar	5			
Aşure	1	<LOQ	200	0
Çikolata soslu kakaolu kek	1	63,06	100	6,36
Puding	1	<LOQ	200	0
Sütlaç	2	<LOQ–27,17	200	0–5,43
Diğer	6			
Fırın patates	1	206,60	150	30,99
Haydari	1	<LOQ	100	0
Tarator	1	<LOQ	100	0
Turşu	1	<LOQ	100	0
Yoğurt	2	<LOQ	200	0

Kısaltmalar: LOQ, Limit of Quantification. * Menüde birden fazla yer alan yemeklerin akrilamid içeriği, ortalama±standart sapma ($\bar{X} \pm SD$) (En düşük–En yüksek) olarak verilmiştir. ** Çiğ besinlerin akrilamid içeriği 0 kabul edilmiştir.

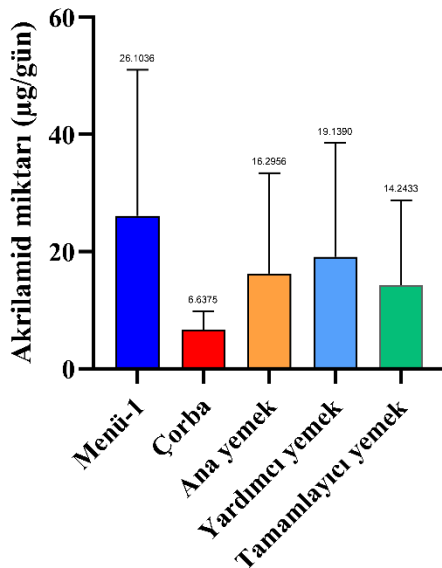
Şekil 4.1.'de alınan ekmek örneklerinin akrilamid içerikleri verilmiştir. Birinci hafta alınan ekmek örneğinin akrilamid içeriği 122,90 µg/kg, bir porsiyonunun akrilamid içeriği ise 6,15 µg iken; 2. hafta alınan ekmek örneğinin akrilamid içeriği 136,54 µg/kg, bir porsiyonunun akrilamid içeriğinin ise 6,83 µg olduğu belirlenmiştir.



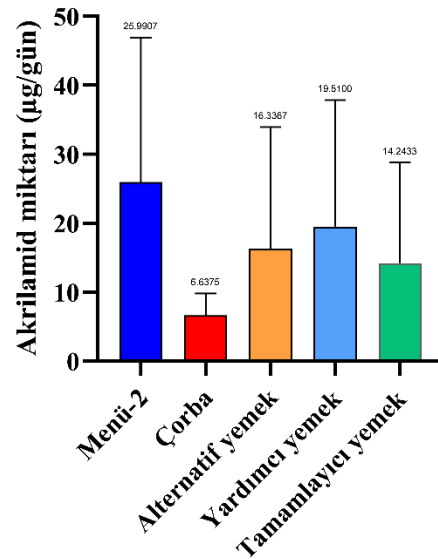
Şekil 4.1. Ekmeklerin akrilamid içeriği

Menü-1 ve Menü-2'nin seçiminde yemek gruplarının diyet akrilamid maruziyetine katkısı şekil 4.2.'de verilmiştir. Her iki menüde de diyet akrilamid maruziyetine en fazla katkısı olan yemek grubu yardımcı yemekler olmasına rağmen yemek grupları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p < 0,05$).

A.



B.



Şekil 4.2. (A) Menü-1 ve (B) Menü-2'nin seçiminde yemek gruplarının diyet akrilamid maruziyetine katkısı *Tek yönlü varyans analizi (ANOVA), $p < 0,05$.

Öğle ve akşam menülerinin akrilamid içeriğinin değerlendirmesi Tablo 4.6.'da özetlenmiştir. Menü-1'in seçimi ile en yüksek akrilamid maruziyetinin 2. hafta perşembe günü ($18,91 \pm 22,35 \mu\text{g/gün}$) olduğu, en düşük akrilamid maruziyetinin ise 1. hafta cumartesi günü ($4,00 \pm 1,99 \mu\text{g/gün}$) olduğu belirlenmiştir. Menü-2'nin seçimi ile en yüksek akrilamid maruziyetinin 2. hafta cuma günü ($26,55 \pm 34,16 \mu\text{g/gün}$), en düşük maruziyetin ise 1. hafta cumartesi ($5,45 \pm 2,40 \mu\text{g/gün}$) günü olduğu belirlenmiştir. Ancak her iki menünün seçiminde de günler arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($p > 0,05$).



Tablo 4.6. Öğle ve akşam menülerinin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi

MENÜLER	Akrilamid içeriği						
	Menü-1'in seçimi ile akrilamid maruziyeti ($\mu\text{g/gün}$) [*]						
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
1. Hafta	6,88±1,26	17,17±22,37	6,15	13,77±19,74	12,86±9,74	4,00±1,99	9,97±7,63
F=0,563; p=0,755 [†]							
2. Hafta	7,54±2,40	15,02±15,55	8,83±4,30	18,91±22,35	6,28±0,23	13,45±15,38	6,11±0,07
F= 0,617; p=0,715 [†]							
	Menü-2'nin seçimi ile akrilamid maruziyeti ($\mu\text{g/gün}$) [*]						
1. Hafta	7,92±1,37	18,17±21,94	8,60±2,87	6,28±1,25	11,87±9,93	5,45±2,40 ^{**}	9,23±7,97
F=0,852; p=0,542 [†]							
2. Hafta	6,83	11,70±14,52	13,13±12,30	10,44±6,88	26,55±34,16	13,72±15,22 ^{**}	6,83
F=0,526; p=0,783 [†]							

^{*}**Menü-1:** Çorba + Ana yemek + Yardımcı yemek + Tamamlayıcı yemek; **Menü-2:** Çorba + Alternatif yemek + Yardımcı yemek + Tamamlayıcı yemek. Hesaplamalara 50 g ekmek dahil edilmiştir. Akrilamid içeriği LOQ değerinin (<17,80 $\mu\text{g/kg}$) altında kalan yemekler hesaplamaaya dahil edilmemiştir.

^{**}Menüde alternatif yemek çıkmadığı için analizler, ana yemeğe göre yapılmıştır.

[†]Tek yönlü varyans analizi (ANOVA), p<0,05.

Tablo 4.7.'de öğünlere göre menülerin akrilamid içeriği verilmiştir. Menü-1'in seçimi ile öğle öğününde en fazla akrilamid alımının 2. gün (73,12 µg/gün) en az akrilamid alımının ise 1, 2. ve 3. gün (6,15 µg/gün) olduğu; akşam öğününde en fazla akrilamid alımının ise 9. gün (85,79 µg/gün) en az akrilamid alımının 2, 12 ve 14. gün (6,15 µg/gün) olduğu belirlenmiştir. Menü-2'nin seçimiyle öğle öğününde en fazla akrilamid alımının 2. gün (63,81µg/gün), en az akrilamid alımının 1, 8, 12 ve 14. gün (6,83 µg/gün) olduğu; akşam öğününde en fazla akrilamid alımının 12. gün (72,82 µg/gün), en az akrilamid alımının 6, 8 ve 14. gün (6,83 µg/gün) olduğu görülmüştür. İki haftalık genel ortalamaya bakıldığında, Menü-2'nin seçimi ile akşam öğününde (34,77±22,87 µg/gün) maruz kalınan diyet akrilamid miktarının öğle öğününden (17,21±14,91 µg/gün) anlamlı olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır (p=0,017).

Tablo 4.7. Öğünlere göre menülerin akrilamid içeriğinin değerlendirilmesi

Günler	Akrilamid maruziyeti			
	Menü-1'in seçimi ile akrilamid alımı (µg/gün)*		Menü-2'nin seçimi ile akrilamid alımı (µg/gün)*	
	Öğle	Akşam	Öğle	Akşam
1. gün	6,15	14,48	6,15	24,84
2. gün	73,12	12,23	63,81	20,22
3. gün	6,15	6,83	27,05	14,72
4. gün	66,14	16,49	12,79	24,87
5. gün	25,52	51,66	24,34	46,86
6. gün	10,9	9,12	9,51	6,83
7. gün	17,52	26,7	10,98	45,58
8. gün	6,15	16,46	6,15	6,83
9. gün	19,36	85,79	20,04	61,87
10. gün	21,49	40,36	14,74	64,08
11. gün	9,25	85,29	14,86	37,35
12. gün	12,7	6,83	6,15	72,82
13. gün	14,78	52,46	15,46**	53,14**
14. gün	12,18	6,83	6,15	6,83
Akrilamid alımı (X̄±SD)	21,53±21,25	30,68±28,18	17,21±14,91	34,77±22,87
	p=0,129 [†]		p=0,017 [†]	

* **Menü-1:** Çorba + Ana yemek + Yardımcı yemek + Tamamlayıcı yemek; **Menü-2:** Çorba + Alternatif yemek + Yardımcı yemek + Tamamlayıcı yemek. Hesaplamalara 50 g ekmek dahil edilmiştir. Akrilamid içeriği LOQ değerinin (<17,80 µg/kg) altında kalan yemekler hesaplamaaya dahil edilmemiştir.

** Menüde alternatif yemek çıkmadığı için analizler, ana yemeğe göre yapılmıştır.

[†] Bağımsız 2 Örneklem T Testi, p<0,05.

Üniversite yemekhanesinden yararlanan erkek ve kadın öğrencilerin diyet akrilamid maruziyetine ilişkin risk Tablo 4.8.'de verilmiştir. Toplam akrilamid maruziyeti erkekler için Menü-1 ve Menü-2'de 0,34 $\mu\text{g/kg/gün}$, kadınlar için ise 0,42 $\mu\text{g/kg/gün}$ olarak bulunmuştur. Nörotoksik etkiler için hesaplanan MOE değerlerinin tamamı 125'in üzerinde bulunmuştur. Karsinojenik etkiler için hesaplanan MOE değerlerinin ise 10.000'in altında olduğu görülmüştür.



Tablo 4.8. Üniversite yemekhanesinden yararlanan öğrencilerin diyet akrilamid maruziyetine ilişkin risk değerlendirmesi

Parametreler	Erkek						Kadın					
	Menü-1			Menü-2			Menü-1			Menü-2		
	Öğle	Akşam	Toplam	Öğle	Akşam	Toplam	Öğle	Akşam	Toplam	Öğle	Akşam	Toplam
Diyet akrilamid alımı ($\mu\text{g/kg/gün}$)	0,28	0,40	0,34	0,22	0,45	0,34	0,35	0,49	0,42	0,28	0,56	0,42
Nörotoksik etkiler için MOE	1537,85	1079,20	1268,58	1925	952,26	1273,95	1238,27	868,97	1021,46	1550	766,75	1025,78
Karsinojenik etkiler için MOE	607,99	426,66	501,53	761,05	374,47	503,66	489,55	343,55	403,83	612,79	303,13	405,54

Kısaltmalar: MOE, Marjin of Exposure

Menü-1: Çorba + Ana yemek + Yardımcı yemek + Tamamlayıcı yemek; **Menü-2:** Çorba + Alternatif yemek + Yardımcı yemek + Tamamlayıcı yemek. Hesaplamalara 50 g ekmek dahil edilmiştir. Akrilamid içeriği LOQ değerinin ($<17,80 \mu\text{g/kg}$) altında kalan yemekler hesaplama dahil edilmemiştir.

5. TARTIŞMA

Üniversite döneminde, öğrenciler genellikle ebeveyn kontrolünden uzaklaşmakta ve sağlıksız beslenme alışkanlıkları edinebilmektedir. Özellikle yoğun programlar, stres, sağlıklı yiyecek seçeneklerine sınırlı erişim nedeniyle, kolay ulaşılabilir ancak yüksek akrilamid düzeyine sahip işlenmiş hazır besinleri ve fast-food tarzı besinleri daha fazla tüketebilmektedir (Escoto vd., 2012). Ayrıca bazı yemek hizmeti veren kurum ve kuruluşlarda yüksek oranda işlenmiş besin içeren menüler yer almaktadır. Bu durumda öğrencilerin akrilamid içeriği yüksek besinler tüketme ihtimali daha yüksek olmaktadır (Gutiérrez vd., 2017). Adölesan ve genç yetişkinler, yüksek akrilamid düzeyine sahip atıştırmalıkları daha fazla tükettikleri için akrilamide daha fazla maruz kalabilirler (Kowalska vd., 2017). Ancak literatürde bu yaş grubunda akrilamid maruziyetini değerlendiren çalışmalar sınırlı olup (Gao vd., 2022; González-Mulero vd., 2023; Matthys vd., 2023), çoğu besin tüketim tahminleri ile besinlerdeki akrilamid referans seviyelerinin kullanıldığı yöntemlere dayanmaktadır (Gao vd., 2022; Wyka vd., 2015). Ayrıca toplu beslenme hizmetlerinde genellikle kızartılmış besinlerin hazırlanması, besinlerin hazırlanması sırasında gerekli kontrollerin yapılmaması ve kızartma yağının uzun süreli kullanılması gibi durumlar nedeniyle tüketiciler daha fazla akrilamide maruz kalabilmektedir (González-Mulero vd., 2021). Bu nedenle, bu çalışma bir üniversitesi yemekhanesinde öğrencilere servis edilen iki haftalık öğle ve akşam menülerinin akrilamid düzeyini belirlemek ve EFSA tarafından önerilen eş diyet yöntemini kullanarak öğrencilerin diyet akrilamid maruziyetini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Çalışmanın temel bulguları, üniversite öğrenci yemekhanesinde iki haftalık bir dönemde sunulan menülerin hem erkek hem de kadın öğrencilerde diyet akrilamid maruziyetinin karsinojenik etkiler için potansiyel bir riske yol açabileceğini göstermiştir. Çalışma, bu alanda Türkiye’de yapılan ilk çalışma olup, mevcut bulguların ileride yapılacak kapsamlı çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Akrilamid, besinlerde +120°C’de ve düşük nemde fırınlama, kavurma, kızartma ve endüstriyel işleme sırasında oluşan toksik bir maddedir (EFSA, 2015). Çorbalar da dahil olmak üzere besinlerin akrilamid içeriği, besin bileşenlerin türü ve konsantrasyonuna bağlıdır (Mogol vd., 2016). Çalışmamızda analiz edilen 28 çorbanın yalnızca 8 tanesinin akrilamid içeriği LOQ (<17,80 µg/kg) değerinin üzerinde bulunmuştur. En fazla akrilamid içeren ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda

bulunan çorbanın arabaşı çorba (68,53 µg/kg, 13,71 µg/porsiyon) olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, arabaşı çorba yapılırken unun kavrulması işlemi sırasında oluşan Maillard reaksiyonunun akrilamid oluşumuna yol açması olabilir. Aynı şekilde unun kavrulmuş olarak hazırlanması ile yapılan andaloz çorbanın da akrilamid içeriği ve maruziyete katkısı (41,64 µg/kg, 8,33 µg/porsiyon) diğer çorbalara göre fazla bulunmuştur (Bkz. Tablo 4.1).

Düşük nişasta içeriğine sahip et ve tavuk yemeklerinde akrilamid içeriği daha düşüktür. Ancak yemeklere sebze, salça, domates sosu gibi besinlerin eklenmesi ile asparajın ve indirgen şekerlerin reaksiyona girmesi sonucu akrilamid oluşumu artmaktadır (Avrupa Birliği, 2017). Çalışmamızda, iki haftalık bir süreçte öğrenci yemekhanesinde sunulan ana yemekler incelenmiş ve ana yemeklerin bir porsiyonunun akrilamid maruziyetine katkısının 0 ila 56,43 µg/porsiyon arasında değiştiği görülmüştür. En fazla akrilamid içeren ana yemeklerin sırasıyla susamlı tavuk (308,72 µg/kg, 54,03 µg/porsiyon) ve fırında patatesli tavuk (282,14 µg/kg, 56,43 µg/porsiyon) olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.2). Susamlı tavuk, daha fazla akrilamid içermesine rağmen fırında patatesli tavuğun porsiyonu daha büyük olduğu için daha fazla akrilamid maruziyetine neden olmuştur. Ayrıca susamın içerdiği sakkaroz, yüksek sıcaklıklarda glikoz ve fruktofuranosil katyonuna parçalanarak akrilamid oluşumuna yol açmaktadır. Buna ek olarak, asparajının 5-hidroksimetilfurfural ile reaksiyonu, kavrulmuş susam tohumlarında akrilamid oluşumunda rol almaktadır. Ayrıca kavrulmuş susam tohumlarının 135–633 µg/kg arasında değişen yüksek miktarlarda akrilamid içerebildiği belirtilmiştir (Berk vd., 2020). Bu durum, susamlı tavuk yemeğinin akrilamid içeriğinin artmasında rol oynamış olabilir. Ayrıca tavukta serbest asparajın bulunması, ısıtma işlemi sırasında akrilamid oluşumunun artmasına neden olabilir. Fırında patatesli tavuk yemeğinde ise içerdiği patatesten dolayı akrilamid içeriği artmış olabilir. González-Mulero ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada da patates bazlı besinlerin diyet akrilamid maruziyetinde baş rol oynadığını belirtmiştir. Ek olarak, yemeklere kırmızı biber ve karabiber gibi akrilamid oluşumunu artıracak baharatların eklenmesi de yemeklerin akrilamid içeriğinin artmasına neden olabilmektedir (Jeong vd., 2020). Çalışmamızda analiz edilen 3 nugget örneğinin ortalama akrilamid içeriği $174,61 \pm 108,77$ µg/kg bulunmuştur. En düşük akrilamid içeren nugget 57,54 µg/kg akrilamid içerirken en yüksek akrilamid içeren nugget ise 272,55 µg/kg akrilamid içermektedir. Bu farklılık

nuggetın tekrar ısıtılarak servis edilmesinden kaynaklanıyor olabilir. Pişirme sıcaklığı ve süresi akrilamid oluşumunu etkilemektedir. Ayrıca tavuk etinde akrilamid oluşumu çeşitli pişirme yöntemlerinden etkilenebilmektedir. Geleneksel kızartma yöntemleri endüstriyel kızartma yöntemlerine kıyasla daha yüksek akrilamid oluşumuna yol açmaktadır. Haşlama ve buharda pişirme gibi pişirme yöntemleri ise en az akrilamid oluşumuna sebep olmaktadır. Ayrıca pişirme sıcaklığı ve süresi akrilamid oluşumunu etkilemektedir. Daha yüksek sıcaklıklar ve daha uzun pişirme süreleri daha fazla akrilamid oluşumuna sebep olmaktadır (Seilani vd., 2021). Lee ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, tavuk etinin derin yağda kızartılmasının hava fritözünde kızartmaya kıyasla daha yüksek akrilamid oluşumuna yol açtığını bildirmiştir. Çalışmamızda da tavuk haşlama yemeğinin akrilamid içeriği LOQ değerinin ($<17,80 \mu\text{g/kg}$) altında bulunurken derin yağda kızartılarak hazırlanan nugget ($174,61 \pm 108,77 \mu\text{g/kg}$) ve schnitzelde ($80,57 \pm 28,12 \mu\text{g/kg}$) daha yüksek akrilamid içeriği saptanmıştır. Bu nedenle, pişirme yöntemi, sıcaklık ve süre gibi faktörlerin tümü, pişirme işlemi sırasında tavuk etinde akrilamid oluşumuna katkıda bulunabilir.

Çalışmamızda alternatif yemeklerin akrilamid maruziyetinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Peynirli milföy böreğinin tüm alternatif yemekler içinde en yüksek akrilamid içeriğine ve en fazla akrilamid maruziyetine katkıda bulunan yemek ($659,89 \mu\text{g/kg}$, $65,99 \mu\text{g/porsiyon}$) olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.3). Hamur işlerinde, 120°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda içeriğindeki indirgen şeker ve asparajinin tepkimeye girmesi sonucu akrilamid oluşmaktadır ve akrilamid seviyesini etkileyen en önemli faktörler serbest amino asit bulunması, pişirme süresi, sıcaklık ve nem içeriğidir (González-Mulero vd., 2021). Peynirli milföy böreğinde ise peynirin içerdiği amino asit miktarı, milföy hamurunun içerdiği indirgen şeker miktarı ve $+180^\circ\text{C}$ 'de kuru ısıda pişmesi sonucu akrilamid içeriği yüksek bulunmuş olabilir.

Zeytinyağlı/etsiz sebze yemeklerinden ise en fazla akrilamid içeren ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda bulunan yemeklerin sırasıyla beşamel soslu karnabahar ($51,83 \pm 17,48 \mu\text{g/kg}$, $10,37 \pm 3,50 \mu\text{g/porsiyon}$) ve fırın karnabahar ($48,40 \mu\text{g/kg}$, $9,68 \mu\text{g/porsiyon}$) olduğu görülmüştür. (Bkz. Tablo 4.3) Besinlerin yeniden ısıtılması sonucu çeşitli faktörlere bağlı olarak akrilamid oluşumu artmaktadır (Michalak vd., 2020). Çalışmamızda analiz edilen beşamel soslu karnabahar örneklerinden öğle öğününde pişirilen beşamel soslu karnabahar yemeği $39,47 \mu\text{g/kg}$ akrilamid içerirken, akşam

menüsünde tekrar ısıtılarak servis edilen beşamel soslu karnabahar yemeği 64,20 µg/kg akrilamid içermektedir. Bu yemeklerin pişirilmesi sırasında kullanılan sebzeler, yüksek sıcaklığa maruz kaldığında akrilamid oluşumunu destekleyen indirgen şeker ve asparajin tepkimeye girerek Maillard reaksiyonu sonucu akrilamid oluşumuna yol açmaktadır (Başaran, 2022). Ayrıca beşamel soslu karnabahar yemeğinde karnabaharların derin yağda kızartılması sonucu akrolein yolu ile ve beşamel sos hazırlanırken unun kavrularak kahverengileşmesi sonucu da akrilamid oluşabilir (Raffan vd., 2020; Zhang vd., 2020).

Çalışmamızda, kızartmalar içerisinde en fazla akrilamid içeren ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda bulunan yemek, patates kızartma (369,57 µg/kg, 36,96 µg/porsiyon) olmuştur. Bu sonuç, İspanya’da okul kantinlerinde patates kızartmasının akrilamid içeriğinin araştırıldığı çalışmanın bulguları ile (329 µg/kg) ile benzer bulunmuştur (Mesias vd., 2020). Ancak AB tarafından belirlenen referans değerin (500 µg/kg) altında bulunmuştur (Avrupa Birliği, 2017). Patatesin diğer besinlere göre daha yüksek akrilamid seviyesine sahip olmasının nedeni, içeriğinde fazla miktarda indirgen şeker ve asparajin bulunmasıdır (Mogol vd., 2016). Aynı zamanda pişirme yöntemi, sıcaklık, süre, pH, yüzey alanı, nem içeriği, yetiştirme ve depolama koşulları gibi çeşitli faktörler de akrilamid oluşumunu etkilemektedir (Govindaraju vd., 2024). Bu nedenle çalışma sonuçları farklılık gösterebilmektedir.

Mevcut menüde yardımcı yemekler, ana yemek ve alternatif yemeklerin yanında sunulan börekler, makarnalar ve pilavlardan oluşmaktadır. Çalışmamızda en fazla akrilamid içeren (445,68 µg/kg) ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda (44,57 µg/porsiyon) bulunan yardımcı yemeğin peynirli milföy böreği olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.4). Hamurun içerisinde bulunan indirgen şeker miktarına ve +180°C’de kuru ısıda uzun süre pişirilerek böreğin üstünün kızartılmasına bağlı olarak yüksek miktarda akrilamid oluşabilmektedir (Perera vd., 2014). Çalışmamızda analiz edilen üç peynirli kalem böreğinin ise bir tanesi LOQ (<17,80 µg/kg) değerinin altında bulunmuşken diğer ikisi 170,31 µg/kg ve 379,85 µg/kg bulunmuştur. Bu farklılık kalem böreğinin pişirilmesi esnasında kullanılan yağa, pişirme sıcaklığına ve süresine bağlı olabilir. Ayrıca çalışmamızda makarnalar içinde en fazla akrilamid içeren ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda bulunan yemeğin kavrulma işlemine bağlı olarak erişte kavurma olduğu belirlenmiştir (63,97±38,36 µg/kg, 9,60±5,75 µg/porsiyon).

Kavrulmadan haşlanan diğer makarnalarda ise akrilamid içeriği LOQ değerinin ($<17,80 \mu\text{g/kg}$) altında veya çok düşük bulunmuştur. Bu sonuç, pişirme yönteminin önemini vurgulayarak, haşlama ve buharda pişirme yönteminin daha az akrilamid oluşumuna yol açan güvenli pişirme yöntemleri olduğunu göstermektedir (Bignardi vd., 2019; Isleroglu vd., 2012). Pilavlar içinde ise Avşar pilavının ($79,08 \pm 37,28 \mu\text{g/kg}$, $11,86 \pm 5,59 \mu\text{g/porsiyon}$) en yüksek akrilamid içeriğine sahip olduğu ve akrilamid maruziyetine en fazla katkıda bulunan yemek olduğu saptanmıştır (Bkz. Tablo 4.4). Avşar pilavının hazırlanmasında kullanılan biber, soğan gibi sebzelerin sotelenmesi, akrilamid oluşumunun artmasına neden olmuş olabilir (Başaran, 2022).

Çalışmamızda, ana yemeğin yanında servis edilen öğünün besin değerini ve çeşitliliğini artıran tamamlayıcı yemekler değerlendirildiğinde, 18 tanesinin akrilamid içeriği LOQ değerinin ($<17,80 \mu\text{g/kg}$) altında bulunmuştur ve akrilamid maruziyetine katkısı olmamıştır. Genel olarak çığ besinlerden oluşan tamamlayıcı yemekler içerisinde en fazla akrilamid içeren ($206,60 \mu\text{g/kg}$) ve akrilamid maruziyetine ($30,99 \mu\text{g/porsiyon}$) en fazla katkıda bulunan tamamlayıcı yemeğin fırın patates olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.5). Bu bulgu, İspanya okul kantininde pişirilen fırın patates yemeğinin akrilamid içeriği ile benzerken ($242 \pm 120 \mu\text{g/kg}$), AB tarafından belirlenen referans değerden ($500 \mu\text{g/kg}$) daha düşük bulunmuştur (Avrupa Birliği, 2017). Hammadde, pişirme yöntemi, sıcaklık, süre, pH, yüzey alanı, nem içeriği, yetiştirme ve depolama koşulları gibi çeşitli faktörler akrilamid oluşumunu etkilemektedir (Govindaraju vd., 2024). Ek olarak çalışmamızda fırın patatesin akrilamid içeriği ($242 \pm 120 \mu\text{g/kg}$), derin yağda kızartılmış patatesin akrilamid içeriğinden ($369,57 \mu\text{g/kg}$) daha düşük bulunmuştur. Bu sonuç, 180°C ve 190°C 'de yağda kızartılan patateslerin akrilamid içeriğinin fırında pişirilen patatese göre daha fazla olduğu belirten çalışmanın sonuçları ile uyumludur (Palazoğlu vd., 2010). Fırın patates, patates kızartmasına göre daha sağlıklı bir tercih olmasına rağmen tamamlayıcı yemekler arasında genelde akrilamid içermeyen çığ besinler bulunduğu için en yüksek akrilamid içeriğine sahip olmuştur.

Ekmek ve tahıl grubu; proteinler, karbonhidratlar, diyet lifi ve vitaminler gibi temel besin öğelerinin içeriği nedeniyle birçok ülkede temel besin olarak kabul edilmektedir (Nachi vd., 2018). Ülkemizde ise ekmek ve tahıl grubunda yer alan beyaz ekmeğin %72,1 oranında sıklıkla her gün tüketildiği ve günlük ortalama ekmek tüketiminin $179,8 \pm 130,39 \text{ g}$ olduğu bildirilmiştir (TBSA, 2019). Bu nedenle, tüketim

miktarı göz önüne alındığında günlük diyetle en yüksek akrilamid alımına neden olan besinler arasında ekmek ve unlu mamullerin olduğu söylenebilir (Nematollahi vd., 2020). Çalışmamızda, ekmeğin yüksek tüketim miktarı göz önünde bulundurularak birinci hafta ve ikinci hafta alınan 2 ekmek numunesinin akrilamid içeriği analiz edilmiş ve menülerin akrilamid içeriğine eklenmiştir (Bkz. Şekil 4.1). Birinci hafta alınan ekmek örneğinin akrilamid içeriği 122,90 µg/kg, 1 porsiyonunun akrilamid içeriği ise 6,15 µg iken; 2. hafta alınan ekmek örneğinin akrilamid içeriği 136,54 µg/kg, 1 porsiyonunun akrilamid içeriğinin ise 6,83 µg olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, Türkiye’de yapılan bir başka çalışmadaki ekmeklerin akrilamid içeriği (121±103 µg/kg) ile benzer bulunmuştur (Boyacı Gündüz ve Cengiz, 2015). Mousavi Khaneghah ve ark. (2020)’nın Türkiye için belirtmiş olduğu ekmeklerdeki akrilamid içeriğinden (72 µg/kg) ise yüksek bulunmuştur. Ayrıca sonuçların AB tarafından belirlenen referans değerden de (50 µg/kg) daha yüksek olduğu saptanmıştır (Avrupa Birliği, 2017). Sonuçlardaki bu farklılıklar ekmek yapımında kullanılan buğday türünün asparajin ve indirgen şeker miktarından, yetiştirme ve depolama koşullarından, ekmek yapım sürecindeki mayalanma süresinden, pişirme yöntemi ve pişirme koşullarından kaynaklanabilir (Esfahani vd., 2017; Govindaraju vd., 2024).

Mevcut çalışmanın yürütüldüğü yemekhanede, öğrencilere ana yemek ve alternatif yemekler arasında seçim şansı sunan kısmi seçmeli menü bulunmaktadır. Ana yemekler; et ve tavuk içeren yemeklerden oluşurken, alternatif yemeklerin çoğunlukla et ve tavuk içermeyen, vejetaryen beslenmeye uygun menüler olduğu görülmüştür. Seçilen yemeğe göre öğrencilerin akrilamid maruziyeti değişeceği için çalışmamızda “Çorba+Ana yemek + Yardımcı yemek + Tamamlayıcı yemek”ten oluşan menü “Menü-1”, “Çorba + Alternatif yemek + Yardımcı yemek + Tamamlayıcı yemek”ten oluşan menü ise “Menü-2 olarak isimlendirilmiş ve diyet akrilamid maruziyetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Menü-1 ve Menü-2’nin seçiminde yemek gruplarının diyet akrilamid maruziyetine katkısı değerlendirildiğinde, her iki menüde de diyet akrilamid maruziyetine en fazla katkısı olan yemek grubunun yardımcı yemekler olduğu belirlenmiş, buna rağmen yemek grupları arasında akrilamid maruziyetine katkı açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$) (Bkz. Şekil 4.2). Ancak akrilamid maruziyeti, sebze ve tahıl ağırlıklı alternatif yemeğin seçildiği Menü-2’de (25,99 µg/kg)

et yemeği ağırlıklı ana yemeğin seçildiği Menü-1'e (26,10 µg/kg) göre daha yüksek bulunmuştur. Goerke ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada da veganlarda akrilamid maruziyetinin (0,38±0,23 µg/kg vücut ağırlığı/gün), omnivorlara (0,26±0,10 µg/kg vücut ağırlığı/gün) göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Vejetaryenlerde yapılan bir başka çalışmada ise diyetin ana kaynağının patates ve diğer tahıllar olduğu, bu durumun akrilamid maruziyetini artırdığı rapor edilmiştir (Fleury vd., 2017).

Çalışmamızda öğle ve akşam menülerinin akrilamid içeriği değerlendirildiğinde, Menü-1'in seçimi ile en yüksek akrilamid maruziyetinin 2. hafta perşembe günü akşam öğünü (18,91±22,35 µg/gün) olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.6). Menü incelendiğinde köylü çorba (0 µg/porsiyon), fırında patatesli tavuk (56,43 µg/porsiyon), erişte kavurma (22,71 µg/porsiyon) ve ayran (0 µg/porsiyon) olduğu görülmüştür. Menü-2'nin seçimiyle ise en yüksek akrilamid maruziyetinin 2. hafta cuma günü akşam öğünü (26,55±34,16 µg/gün) olduğu belirlenmiştir. Belirtilen günde tarhana çorba (0 µg/porsiyon) peynirli milföy böreğinin (65,99 µg/porsiyon), mısırlı pirinç pilavı (0 µg/porsiyon) ve yoğurt (0 µg/porsiyon) verilmiştir. Ancak her iki menünün seçiminde de günler arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır (p>0,05).

Çalışmamızda öğünlere göre menülerin akrilamid içeriği değerlendirildiğinde, Menü-1'in seçimi ile öğle öğününde en fazla akrilamid alımının 2. gün (73,12 µg/gün) olduğu görülmüştür (Bkz. Tablo 4.7). Menü incelendiğinde; köylü çorba (0 µg/porsiyon), sebzeli kebab (9,99 µg/porsiyon), peynirli kalem böreği (56,98 µg/porsiyon) ve elma (0 µg/porsiyon) olduğu görülmüştür. Menü-1'in seçimi ile akşam öğününde en fazla akrilamid alımının ise 9. gün (85,79 µg/gün) olduğu belirlenmiştir. Belirtilen menüde akşam yemeğinde domates çorba (6,01 µg/porsiyon), nugget (29,06 µg/kg), peynirli milföy böreği (44,57µg/porsiyon) ve meyve suyu (0 µg/porsiyon) sunulmuştur. Nugget gibi kaplanmış kızartılmış/kavrulmuş besinlerde akrilamid oluşumu esas olarak yüzeyde gerçekleşir ve kaplamanın bileşimine bağlıdır. Süt, yumurta, tuz, patates nişastası, baharatlar ve ekmek kırıntıları gibi kaplama malzemelerinin kullanılması, besindeki indirgen şeker ve asparajin seviyelerinin artışına sebep olarak akrilamid oluşumunu artırabilir (Perera vd., 2014). Ayrıca peynirli kalem böreği ve peynirli milföy böreğinde yukarıda açıklandığı gibi peynirin içerdiği amino asit miktarı, hamurunun içerdiği indirgen şeker miktarı ve böreğin yüksek sıcaklıkta pişmesi sonucu akrilamid içeriği yüksek bulunmuş olabilir.

Menü-2'nin seçimiyle öğle öğününde en fazla akrilamid alımının 2. gün (63,81 µg/gün) olduğu belirlenmiştir (Bkz. Tablo 4.7). Menü-2'de 2. gün öğle yemeğinde köylü çorba (<LOQ µg/kg), ıspanak graten (<LOQ µg/kg), peynirli kalem böreği (56,98 µg/porsiyon) ve elma (0 µg/porsiyon) verilmiştir. Menü-2'nin seçimiyle akşam öğününde en fazla akrilamid alımının 12. gün (72,82 µg/gün) olduğu görülmüştür. Menü-2'de 12. gün akşam yemeğinde tarhana çorba (0 µg/porsiyon), peynirli milföy böreği (65,99 µg/porsiyon), mısırlı pirinç pilavı (0 µg/porsiyon) ve yoğurt (0 µg/porsiyon) yer almıştır. EFSA'ya göre börekler de dahil olmak üzere hamur işlerindeki akrilamid içeriği değişkenlik göstermekle birlikte, akrilamid maruziyetine önemli katkıda bulunabilecekleri ve bunun da halk sağlığı açısından endişe verici olduğunu belirtilmiştir. Börekler için belirli bir değer verilmese de hamur işlerindeki ortalama akrilamid seviyelerinin hammaddesine ve pişirme koşullarına bağlı olarak 50-350 µg/kg olduğu saptanmıştır (EFSA,2015). Peynirli milföy böreğinin daha fazla akrilamid içermesi, içeriğinde bulunan asparajin ve indirgen şekerin Maillard reaksiyonu ile akrilamid oluşturmamasından kaynaklanabilir. Buna ek olarak, milföy hamurunun yağlı yapısından dolayı akrolein yolu ile de akrilamid oluşumunda artış olabilir (Perera vd., 2014).

İki haftalık genel akrilamid alım ortalamasına bakıldığında ise Menü-2'nin seçimi ile akşam öğününde (34,77±22,87 µg/gün) maruz kalınan diyet akrilamid miktarının öğle öğününden (17,21±14,91 µg/gün) anlamlı olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır (p=0,017). Menü 1'in seçiminde ise öğle ve akşam öğünü arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır (p=0,129).

Bu çalışmada, üniversite yemekhanesinden yararlanan öğrencilerin cinsiyete göre diyet akrilamid maruziyeti de değerlendirilmiştir. Literatürde bulunan çalışmaların çoğunda diyet maruziyet değerlendirmeleri besin tüketim sıklığı anketi, 24 saatlik geriye dönük hatırlatma gibi anketlere dayanmaktadır. Ancak bu anketler, kullanılan malzemeler ve pişirme teknikleri gibi her birey tarafından değişebilecek ve akrilamid maruziyetini etkileyecek değişkenleri takip edememektedir (Claeys vd., 2010; González vd., 2023; Nematollahi vd., 2020). Bu sınırlamaları ortadan kaldırmak için kimyasalın konsantrasyonu ve belirli bir grup tarafından tüketilen besin miktarını değerlendiren eş diyet çalışmaları, maruziyet ile ilişkili riski daha gerçekçi bir tahmin ile sunmaktadır (González-Mulero vd., 2023; Yamamoto vd., 2018). Bu nedenle, çalışmamızda diyet

akrilamid maruziyetinin değerlendirilmesinde eş diyet yönteminden yararlanılmıştır. Menü-1 ve Menü-2’de toplam akrilamid maruziyetinin erkekler için 0,34 $\mu\text{g/kg/gün}$, kadınlar için ise 0,42 $\mu\text{g/kg/gün}$ olduğu saptanmıştır (Bkz. Tablo 4.8). Kadınların daha düşük vücut ağırlığına sahip olmaları akrilamide daha fazla maruz kalmalarına neden olmuş olabilir. Erkekler ve kadınlar için her iki menüde de akşam öğününün akrilamid maruziyetine katkısı (erkek: 0,40 $\mu\text{g/kg/gün}$, kadın: 0,45 $\mu\text{g/kg/gün}$) öğle öğününe (erkek: 0,28 $\mu\text{g/kg/gün}$, kadın: 0,35 $\mu\text{g/kg/gün}$) göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun nedeni, bazı günlerde öğle öğününde pişirilen yemeklerin akşam tekrar ısıtılarak servis edilmesi olabilir. Gao ve ark. (2022) daha önce yapmış oldukları çalışmada, akrilamid maruziyetinin erkekler için 0,48 $\mu\text{g/kg/gün}$ kadınlar için ise 0,53 $\mu\text{g/kg/gün}$ olduğu belirlenmiştir. Peru’da besin tüketim sıklığı anketi kullanılarak akrilamid maruziyetinin hesaplandığı bir başka çalışmada ise akrilamid maruziyetinin erkek öğrencilerde 1,37 $\mu\text{g/kg/gün}$ ve kadın öğrencilerde 1,41 $\mu\text{g/kg/gün}$ olduğu bildirilmiştir (Tacca Ortiz, 2020). Ancak akrilamid maruziyetini belirlemede kullanılan yöntemlerdeki farklılıklar, literatürde bulunan çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Tüketim tahminleri kullanılarak akrilamid maruziyeti tahmininin, eş diyet yöntemi kullanılarak bulunan akrilamid maruziyet tahmininden daha yüksek olabileceği bildirilmiştir (Yamamoto vd., 2018). Ayrıca çalışmalar, farklı ülkelerde gerçekleştirildiği için mutfak kültürünün özellikleri ve toplumun beslenme alışkanlıklarının da diyet akrilamid maruziyetini etkilemesi muhtemeldir.

Akrilamid ve metaboliti glisidamid, DNA hasarına neden olarak kanser oluşumuna yol açabilen genotoksik ve karsinojen bileşiklerdir. Tolere edilebilir günlük alımın belirtilmediği genotoksik bileşikler için risk değerlendirmesinde MOE yaklaşımı kullanılmaktadır. MOE değerinin 125’ten küçük olması, nörotoksik etkiler için insan sağlığı açısından potansiyel bir endişe olabileceğini; 10.000’den küçük olması ise karsinojenik etkiler için potansiyel bir risk olabileceğini ifade etmektedir (EFSA, 2015). Çalışmamızda, nörotoksik etkiler için hesaplanan MOE değerlerinin tamamı 125’in üzerinde bulunmuştur ve öğrencilerin diyet akrilamid maruziyetinin nörotoksisite açısından potansiyel bir risk oluşturmadığı belirlenmiştir. Ancak karsinojenik etkiler için hesaplanan MOE değerlerinin 10.000’in altında olduğu; 303,13 ve 761,05 değerleri arasında değiştiği görülmüştür (Bkz. Tablo 4.8). Ayrıca karsinojenik etkiler için

hesaplanan MOE değerlerinin kadınlarda erkeklerden daha dūşük olduğu da bulunmuştur. Bu bulgu, kadınların erkeklere göre daha yüksek bir riske sahip olduklarını göstermektedir. Bu durum, kadınların ortalama vūcut ağırlığının erkeklerden dūşük olmasından kaynaklanabilir. González-Mulero ve ark. (2023)'nın üniversite öğrencilerinde yapmış olduğu çalışmada ise yalnızca öğle yemeği tüketiminden akrilamid maruziyet tahmini yapılmış ve nörotoksik etkiler için MOE değerleri 982 ile 5136 arasında, karsinojenik etkiler için MOE değerleri 388 ile 2031 arasında bulunmuştur. Benzer şekilde Çin'de üniversite öğrencilerinde, toplam diyetin akrilamid maruziyeti belirlenmiş ve MOE değerlerinin 10.000'in altında olduğu bildirilmiştir (Gao vd., 2022). Literatürde de çalışmamızla benzer şekilde, üniversite öğrencilerinde diyet akrilamid maruziyetinin nörotoksik etkiler açısından bir risk oluşturmadağı, ancak karsinojenik etkiler açısından dikkat edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir üniversite yemekhanesinde öğrencilere servis edilen yemeklerin akrilamid düzeyi belirlenmiş ve EFSA tarafından önerilen eş diyet yöntemi kullanılarak öğrencilerin diyet akrilamid maruziyeti ve maruziyet ile ilişkili riskler değerlendirilmiştir. Çalışmada:

- Analiz edilen 125 farklı numune içerisinde en yüksek düzeyde akrilamid içeriğine sahip olan yemekler peynirli milföy böreği (659,89 µg/kg), patates kızartma (369,57 µg/kg), fırın patates (206,60 µg/kg), peynirli kalem böreği (183,38±90,26 µg/kg), nugget (174,61±108,77 µg/kg) ve ekmek (122,90/138,54 µg/kg) olmuştur.
- Analiz edilen numunelerin 71 tanesinin akrilamid içeriği LOQ değerinin (<17,80 µg/kg) altında bulunmuştur.
- Arabaşı çorbanın (68,53 µg/kg, 13,71 µg/porsiyon) en fazla akrilamid içeren ve akrilamid alımına en fazla katkıda bulunan çorba olduğu bulunmuştur.
- Susamlı tavuğun (308,72µg/kg, 54,03 µg/porsiyon) en fazla akrilamid içeren, fırında patatesli tavuğun (282,14 µg/kg, 56,43 µg/porsiyon) ise akrilamid alımına en fazla katkıda bulunan ana yemek olduğu belirlenmiştir.
- Peynirli milföy böreğinin (659,89 µg/kg, 65,99 µg/porsiyon) en yüksek akrilamid içeriğine sahip olduğu ve akrilamid alımına en fazla katkıda bulunan alternatif yemek olduğu belirlenmiştir.
- Peynirli milföy böreğinin (445,68µg/kg, 44,57µg/porsiyon) en fazla akrilamid içeren ve akrilamid alımına en fazla katkıda bulunan yardımcı yemek olduğu saptanmıştır.
- Fırın patatesin (206,60 µg/kg, 30,99 µg/porsiyon) en fazla akrilamid içeren ve akrilamid alımına en fazla katkıda bulunan tamamlayıcı yemek olduğu belirlenmiştir.
- Menü-1'in seçimi ile en yüksek akrilamid alımının 18,91±22,35 µg/gün, en düşük akrilamid alımının ise 4,00±1,99µg/gün olduğu; Menü-2'nin

seçimi ile en yüksek akrilamid alımının $26,55 \pm 34,16 \mu\text{g/gün}$, en düşük alımının ise $5,45 \pm 2,40 \mu\text{g/gün}$ olduğu belirlenmiştir.

- Her iki menüde de diyet akrilamid alımına en fazla katkısı olan yemek grubu yardımcı yemekler olmasına rağmen yemek grupları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p < 0,05$).
- Menü-2'nin seçimi ile akşam öğününde ($34,77 \pm 22,87 \mu\text{g/gün}$) diyetle alınan akrilamid miktarının öğle öğününden ($17,21 \pm 14,91 \mu\text{g/gün}$) anlamlı olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p = 0,017$).
- Her iki menünün seçiminde de daha düşük vücut ağırlığına sahip olmaları nedeniyle kadınların ($0,42 \mu\text{g/kg/gün}$) erkeklere ($0,34 \mu\text{g/kg/gün}$) göre daha yüksek düzeyde akrilamide maruz kaldığı belirlenmiştir.
- Nörotoksik etkiler için hesaplanan MOE değerlerinin tamamının 125'in üzerinde olduğu ve nörotoksik etkiler açısından bir risk oluşturmadığı görülmüştür.
- Karsinojenik etkiler için hesaplanan MOE değerlerinin ise 10.000'in altında olduğu ve üniversite öğrencilerinde karsinojenik etkiler açısından risk oluşturabileceği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak; bir üniversitesi yemekhanesinde 2 haftalık süreçte öğrencilere servis edilen menülerin akrilamid içerikleri ve diyet akrilamid maruziyetine katkıları belirlenmiştir. Bu menülerin tüketimine bağlı diyet akrilamid maruziyet tahmini ve maruziyet risk değerlendirmesi yapılmıştır. Karsinojenik etkiler için hesaplanan MOE değerlerinin 10.000'den daha düşük olduğu ve bu nedenle üniversite öğrencilerinde karsinojenik etkiler için potansiyel bir risk oluşturabileceği görülmüştür.

Bu sonuçlar göz önünde bulundurularak aşağıdaki öneriler verilebilir:

- Toplu beslenme hizmetleri çalışanlarına sağlıklı besin hazırlama ve pişirme konusunda, üniversite öğrencilerine ise sağlıklı beslenme ve sağlıklı besin seçimi konusunda eğitimler verilerek akrilamid maruziyeti azaltılabilir.
- Ülkemizde öncelikle besin güvenliğini sağlamaya ve besinlerde maksimum akrilamid seviyelerini belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmalı ve resmi yönetmelikler oluşturulmalıdır. Politika yapıcıların akrilamid maruziyetinin sağlık üzerine etkileri konusunda bilinçlendirilmesi ve sorumlu

kurum/kuruluşların sağlıklı besin hazırlama ve pişirme konusunda toplu beslenme hizmetlerini daha sıkı kontrol etmesi akrilamid maruziyetini azaltma konusunda etkili bir strateji olabilir.

- Bu konuda daha fazla çalışma yapılarak toplumda farkındalığı artırmaya yönelik rehberler oluşturmak ve beslenme rehberlerinde bu konuya daha fazla yer vermek de önemlidir.
- Özellikle adölesanlar ve üniversite öğrencilerinin yüksek oranda fast-food ve işlenmiş paketli ürün tüketimleri göz önünde bulundurularak menülerde ve besin etiketlerinde besinlerin akrilamid düzeylerine ilişkin bilgilendirmeler yapılması da farkındalığı artırabilir.
- Çalışmalarda kullanılan metodolojik farklılıklar, çalışma sonuçlarının karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, gerçek porsiyonlar göz önüne alınarak besin numunelerinin toplandığı ve akrilamid konsantrasyonlarının analiz edildiği eş diyet yöntemini kullanan kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır.



7. KAYNAKLAR

- Aalaei, K., Rayner, M., & Sjöholm, I. (2019). Chemical methods and techniques to monitor early Maillard reaction in milk products; A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(12), 1829-1839.
- Abd Al Haleem, E. N., Hasan, W. Y. S., & Arafa, H. M. M. (2022). Therapeutic effects of thymoquinone or capsaicin on acrylamide-induced reproductive toxicity in rats mediated by their effect on oxidative stress, inflammation, and tight junction integrity. *Drug and Chemical Toxicology*, 45(5), 2328-2340.
- Aiswarya, R., & Baskar, G. (2018). Enzymatic mitigation of acrylamide in fried potato chips using asparaginase from *Aspergillus terreus*. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(2), 491-498.
- Akıllıoğlu, H. G., & Gökmen, V. (2014). Mitigation of acrylamide and hydroxymethyl furfural in instant coffee by yeast fermentation. *Food Research International*, 61, 252-256.
- Akkurt, K., Mogol, B. A., & Gökmen, V. (2021). Mitigation of acrylamide in baked potato chips by vacuum baking and combined conventional and vacuum baking processes. *Lwt*, 144, 111211.
- Al-Qahtani, F. A., Arafah, M., Sharma, B., & Siddiqi, N. J. (2017). Effects of alpha lipoic acid on acrylamide-induced hepatotoxicity in rats. *Cellular and Molecular Biology*, 63(6), 1-6.
- Alzahrani, H. A. S. (2011). Protective effect of l-carnitine against acrylamide-induced DNA damage in somatic and germ cells of mice. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 18(1), 29-36.
- Amrein, T. M., Schönbächler, B., Escher, F., & Amadò, R. (2004). Acrylamide in gingerbread: Critical factors for formation and possible ways for reduction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(13), 4282-4288.
- Bakhtiary, D., Asadollahi, S., & Ardakani, S. A. Y. (2014). The effect of blanching process on acrylamide formation in potato crisps. *Intl J Farm Alli Sci*, 3(12), 1220-1224.
- Başaran, B. (2022). The effect of different orders of vegetables in frying on acrylamide levels. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 9(1), 49-59.
- Bent, G. A., Maragh, P., & Dasgupta, T. (2012). Acrylamide in Caribbean foods—residual levels and their relation to reducing sugar and asparagine content. *Food Chemistry*, 133(2), 451-457.
- Berk, E., Hamzalıoğlu, A., & Gökmen, V. (2020). Multiresponse kinetic modelling of 5-hydroxymethylfurfural and acrylamide formation in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds during roasting. *European Food Research and Technology*, 246(12), 2399-2410.
- Biedermann-Brem, S., Noti, A., Grob, K., Imhof, D., Bazzocco, D. and Pfefferle, A. (2003). How much reducing sugar may potatoes contain to avoid excessive acrylamide formation during roasting and baking. *European Food Research and Technology*, 217(5), 369-373.

- Bignardi, C., Cavazza, A., Grimaldi, M., Laganà, C., Manzi, C., Rinaldi, M., & Corradini, C. (2019). Acrylamide determination in baked potatoes by HPLC–MS: effect of steam and correlation with colour indices. *European Food Research and Technology*, 245(11), 2393-2400.
- Boettcher, M. I., Schettgen, T., Kütting, B., Pischetsrieder, M., & Angerer, J. (2005). Mercapturic acids of acrylamide and glycidamide as biomarkers of the internal exposure to acrylamide in the general population. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 580(1-2), 167-176.
- Boyacı Gündüz, C. P., & Cengiz, M. F. (2015). Acrylamide contents of commonly consumed bread types in Turkey. *International Journal of Food Properties*, 18(4), 833-841.
- Boyaci Gunduz, C. P. (2023). Formulation and processing strategies to reduce acrylamide in thermally processed cereal-based foods. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 20(13), 6272.
- Branciarri, R., Roila, R., Ranucci, D., Altissimi, M. S., Mercuri, M. L., & Haouet, N. M. (2020). Estimation of acrylamide exposure in Italian schoolchildren consuming a canteen menu: health concern in three age groups. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 71(1), 122-131.
- Butler, S. M., Black, D. R., Blue, C. L., & Gretebeck, R. J. (2004). Change in diet, physical activity, and body weight in female college freshman. *American Journal Of Health Behavior*, 28(1), 24-32.
- Chen, C., Jiao, Y., Zeng, M., He, Z., Shen, Q., Chen, J., & Quan, W. (2022). The simultaneous formation of acrylamide, β -carboline, and advanced glycation end products in a chemical model system: effect of multiple precursor amino acids. *Frontiers in Nutrition*, 9, 852717.
- Claeys, W., Baert, K., Mestdagh, F., Vercammen, J., Daenens, P., De Meulenaer, B., ... & Huyghebaert, A. (2010). Assessment of the acrylamide intake of the Belgian population and the effect of mitigation strategies. *Food Additives and Contaminants*, 27(9), 1199-1207.
- Committee on Risk Assessment of Hazardous Air Pollutants. (1994). *Science and Judgment in Risk Assessment*. Routledge.
- Daniali, G., Jinap, S., Sanny, M., & Tan, C. P. (2018). Effect of amino acids and frequency of reuse frying oils at different temperature on acrylamide formation in palm olein and soy bean oils via modeling system. *Food Chemistry*, 245, 1-6.
- Duan, X., Wang, Q. C., Chen, K. L., Zhu, C. C., Liu, J., & Sun, S. C. (2015). Acrylamide toxic effects on mouse oocyte quality and fertility in vivo. *Scientific Reports*, 5(1), 11562.
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2015). Scientific opinion on acrylamide in food. *EFSA Journal*, 13(6), 4104.
- El Sayed, H. H., El-Shafei, M. M., & Toprak, L. (2015). Influence of dietary habits of university students on body mass index (BMI)(a comparative study among Egypt and Saudi Arabia and turkey). *Firat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 25(2), 315-328.

- Elmore, S. J., Koutsidis, G., Dodson, A. T., Mottram, D. S., & Wedzicha, B. L. (2005). Measurement of acrylamide and its precursors in potato, wheat, and rye model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(4), 1286-1293.
- European Union (1998). On the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*, 330, 32-54.
- Erdemli, M. E., Sahin, N., Turkoz, Y., Yilmaz, I., Cinar, K., Akgoz, M., & Cigremis, Y. (2017). The possible hepatoprotective effect of apricot against acrylamide induced hepatotoxicity in rats. *Journal of Turgut Ozal Medical Center*, 24(1), 1-53.
- Escoto KH, Laska MN, Larson N, et al. (2012) Work hours and perceived time barriers to healthful eating among young adults. *Am J Health Behav* 36, 786–796
- European Commission (2017). 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*, 304, 24-44.
- European Commission (2019). Commission recommendation (EU) 2019/1888 of 7 November 2019 on the monitoring of the presence of acrylamide in certain foods. *Off. J. Eur. Union*, 62, 31-33.
- FAO & WHO (2005). Dietary exposure assessment of chemicals in food. *Report of Joint FAO/WHO Consultation*. WHO Library.
- FAO & WHO (2011). *Safety evaluation of certain contaminants in food: prepared by the Seventy-second meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)*. World Health Organization.
- Farag, O. M., Abd-Elsalam, R. M., Ogaly, H. A., Ali, S. E., El Badawy, S. A., Alsherbiny, M. A., ... & Ahmed, K. A. (2021). Metabolomic profiling and neuroprotective effects of purslane seeds extract against acrylamide toxicity in rat's brain. *Neurochemical Research*, 46, 819-842.
- Fleury, S., Rivière, G., Allès, B., Kesse-Guyot, E., Méjean, C., Hercberg, S., ... & Bemrah, N. (2017). Exposure to contaminants and nutritional intakes in a French vegetarian population. *Food and Chemical Toxicology*, 109, 218-229.
- Friedman, M., & Levin, C. E. (2008). Review of methods for the reduction of dietary content and toxicity of acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15), 6113-6140.
- Galesa, K., Bren, U., Kranjc, A., & Mavri, J. (2008). Carcinogenicity of acrylamide: A computational study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(18), 8720-8727.
- Gao, Q., Xue, Y., Yuan, X., Gao, H., & Wu, C. (2022). Dietary exposure to acrylamide of university students in Ningxia of Northwest China and the effect on their neurobehavioral performance and oxidative stress in serum. *Food Science & Nutrition*, 11(2), 661-667.
- Gayef, A., Kaya, E., & Telatar, B. (2021). The Relationship between the Nutrition Habits, Body Mass Indexes and Academic Successes of the Health School Students. *Konuralp Medical Journal*, 13(1), 60-67.

- Girma, K. B., Lorenz, V., Blaurock, S., & Edelmann, F. T. (2005). Coordination chemistry of acrylamide. *Coordination Chemistry Reviews*, 249(11-12), 1283-1293.
- Glicksman, M. (1969). Gum technology in the food industry. *Starch - Stärke*, 23(10), 342-344.
- Goerke, K., Ruenz, M., Lampen, A., Abraham, K., Bakuradze, T., Eisenbrand, G., & Richling, E. (2019). Biomonitoring of nutritional acrylamide intake by consumers without dietary preferences as compared to vegans. *Archives of Toxicology*, 93(4), 987-996.
- González, N., Marquès, M., Calderón, J., Collantes, R., Corraliza, L., Timoner, I., Bosch, J., Castell, V., Domingo, J. L., & Nadal, M. (2022). Occurrence and dietary intake of food processing contaminants (FPCs) in Catalonia, Spain. *Journal of Food Composition and Analysis*, 106, Article 104272.
- González-Mulero, L., Delgado-Andrade, C., Morales, F. J., & Mesías, M. (2023). Assessment of dietary acrylamide exposure in children attending Spanish school canteens using the duplicate diet method. *Food and Chemical Toxicology*, 181, 114066.
- González-Mulero, L., Mesías, M., Morales, F. J., & Delgado-Andrade, C. (2021). Acrylamide exposure from common culinary preparations in Spain, in household, catering and industrial settings. *Foods*, 10(9), 2008.
- Govindaraju, I., Sana, M., Chakraborty, I., Rahman, M. H., Biswas, R., & Mazumder, N. (2024). Dietary Acrylamide: A Detailed Review on Formation, Detection, Mitigation, and Its Health Impacts. *Foods*, 13(4), 556.
- Gökmen, V., & Palazoğlu, T. K. (2008). Acrylamide formation in foods during thermal processing with a focus on frying. *Food and Bioprocess Technology*, 1, 35-42.
- Gutiérrez, J. M. C. (2017). Implantación, Seguimiento y Promoción de un Menú Saludable en la Universidad de Sevilla—"Comer Sano Suená Bien". *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 21, 48-49.
- Hagmar, L., Törnqvist, M., Nordander, C., Rosén, I., Bruze, M., Kautiainen, A., ... & Axmon, A. (2001). Health effects of occupational exposure to acrylamide using hemoglobin adducts as biomarkers of internal dose. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 219-226.
- Hölzl-Armstrong, L., Kucab, J. E., Moody, S., Zwart, E. P., Loutkotová, L., Duffy, V., Luijten, M., Gamboa da Costa, G., Stratton, M. R., Phillips, D. H., & Arlt, V. M. (2020). Mutagenicity of acrylamide and glycidamide in human TP53 knock-in (Hupki) mouse embryo fibroblasts. *Archives of Toxicology*, 94(12), 4173-4196.
- IARC (1994). Acrylamide In some industrial/chemicals; IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans; *International Agency for Research on Cancer: Lyon*, 60, 389-433.
- Isleroglu, H., Kemerli, T., Sakin-Yilmazer, M., Guven, G., Ozdestan, O., Uren, A., & Kaymak-Ertekin, F. (2012). Effect of Steam Baking on Acrylamide Formation and Browning Kinetics of Cookies. *Journal of Food Science*, 77(10).

- İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2005, 17 Şubat). Resmi Gazete (Sayı: 25730). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/02/20050217-3.htm>
- Jeong, H., Hwang, S., & Kwon, H. (2020). Survey for acrylamide in processed foods from Korean market and individual exposure estimation using a non-parametric probabilistic model. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 37(6), 916-930.
- Jia, R., Wan, X., Geng, X., Xue, D., Xie, Z., & Chen, C. (2021). Microbial L-asparaginase for application in acrylamide mitigation from food: Current research status and future perspectives. *Microorganisms*, 9(8), 1659.
- Jung, M. Y., Choi, D. S., & Ju, J. W. (2003). A novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chips and in french fries. *Journal of Food Science*, 68(4), 1287-1290.
- Kadawathagedara, M., Botton, J., de Lauzon-Guillain, B., Meltzer, H. M., Alexander, J., Brantsaeter, A. L., ... & Papadopoulou, E. (2018). Dietary acrylamide intake during pregnancy and postnatal growth and obesity: Results from the Norwegian Mother and Child Cohort Study (MoBa). *Environment international*, 113, 325-334.
- Karimi, M. Y., Fatemi, I., Kalantari, H., Mombeini, M. A., Mehrzadi, S., & Goudarzi, M. (2020). Ellagic Acid Prevents Oxidative Stress, Inflammation, and Histopathological Alterations in Acrylamide-Induced Hepatotoxicity in Wistar Rats. *Journal of Dietary Supplements*, 17(6), 651-662.
- Kavcar, P. (2005). Assessment of exposure and risk associated with trihalomethanes and other volatile organic compounds in drinking water. *Izmir Institute of Technology* (Turkey).
- Kawahara, J., Zheng, Y., Terui, M., Shinohara, A., Uyama, K., Yoneyama, M., ... & Adachi, S. (2019). Dietary exposure to acrylamide in a group of Japanese adults based on 24-hour duplicate diet samples. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(1), 15-25.
- Kısabay, A., Korkmaz, T., Çakıroğlu, E., & Selçuki, D. (2004). Kısa süreli akrilamid maruziyeti sonucu gelişmiş toksik polinoropati olgusu. *Causa Pedia*, 3(1), 701-702.
- Kirman, C., Gargas, M., Deskin, R., Tonner-Navarro, L., & Andersen, M. (2003). A physiologically based pharmacokinetic model for acrylamide and its metabolite, glycidamide, in the rat. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 66(3), 253-274.
- Kowalska, M., Żbikowska, A., Onacik-Gür, S., & Kowalska, D. (2017). Acrylamide in food products-eating habits and consumer awareness among Medical School students. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 24(4).
- Kumar, D., Singh, B. P., & Kumar, P. (2004). An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. *Annals of Applied Biology*, 145(3), 247-256.
- Larsen, J. C. (2006). Risk assessment of chemicals in European traditional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(9), 471-481.

- Lee, J. S., Han, J. W., Jung, M., Lee, K. W., & Chung, M. S. (2020). Effects of thawing and frying methods on the formation of acrylamide and polycyclic aromatic hydrocarbons in chicken meat. *Foods*, 9(5), 573.
- Matthys, C., Bilau, M., Govaert, Y., Moons, E., De Henauw, S., & Willems, J. L. (2005). Risk assessment of dietary acrylamide intake in Flemish adolescents. *Food and Chemical Toxicology*, 43(2), 271–278.
- Medeiros Vinci, R., Mestdagh, F., Van Poucke, C., Kerkaert, B., De Muer, N., Denon, Q., ... & De Meulenaer, B. (2011). Implementation of acrylamide mitigation strategies on industrial production of French fries: Challenges and pitfalls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(3), 898-906
- Mesias, M., Delgado-Andrade, C., Holgado, F., & Morales, F. J. (2020). Acrylamide in French fries prepared at primary school canteens. *Food & Function*, 11(2), 1489-1497.
- Mestdagh F, De Wilde T, Fraselle S, Govaert Y, Ooghe W, Degroodt J-M, Verhé R, Van Peteghem C, De Meulenaer B (2008) Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. *LWT Food Sci Technol* 41(9):1648–1654.
- Michalak, J., Czarnowska-Kujawska, M., Klepacka, J., & Gujska, E. (2020). Effect of microwave heating on the acrylamide formation in foods. *Molecules*, 25(18), 4140.
- Mogol, B. A., & Gökmen, V. (2016). Thermal process contaminants: Acrylamide, chloropropanols and furan. *Current Opinion in Food Science*, 7, 86-92.
- Mojcka, H., Gielecińska, I., Jasińska-Melon, E., Winiarek, J., & Sawicki, W. (2020). Are AAMA and GAMA levels in urine after childbirth a suitable marker to assess exposure to acrylamide from passive smoking during pregnancy?—a pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7391.
- Morales, F., Capuano, E., & Fogliano, V. (2008). Mitigation strategies to reduce acrylamide formation in fried potato products. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1126(1), 89-100.
- Mousavi Khaneghah, A., Fakhri, Y., Nematollahi, A., Seilani, F., & Vasseghian, Y. (2022). The concentration of acrylamide in different food products: a global systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Food Reviews International*, 38(6), 1286-1304.
- Nachi, I., Fhoula, I., Smida, I., Taher, I. B., Chouaibi, M., Jaunbergs, J., ... & Hassouna, M. (2018). Assessment of lactic acid bacteria application for the reduction of acrylamide formation in bread. *LWT*, 92, 435-441.
- Nasiri Esfahani, B., Kadivar, M., Shahedi, M., & Soleimanian-Zad, S. (2017). Reduction of acrylamide in whole-wheat bread by combining lactobacilli and yeast fermentation. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(11), 1904-1914.
- Navruz-Varlı, S., & Mortaş, H. (2023). Acrylamide formation in air-fried versus deep and oven-fried potatoes. *Frontiers in Nutrition*, 10.
- Nematollahi, A., Kamankesh, M., Hosseini, H., Ghasemi, J., Hosseini-Esfahani, F., Mohammadi, A., & Mousavi Khaneghah, A. (2020). Acrylamide content of collected food products from Tehran's market: a risk assessment study. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(24), 30558-30570.

- Noda, K., Ando, H., Tada, K., Satake, M., Nakauchi, F., Tsutsuura, S., ... & Murata, M. (2022). Acrylamide formation during pan-frying of mung bean sprouts. *Food Science and Technology Research*, 28(4), 307-315.
- O'Brien, J., Renwick, A. G., Constable, A., Dybing, E., Müller, D. J. G., Schlatter, J., ... & Wolfreys, A. (2006). Approaches to the risk assessment of genotoxic carcinogens in food: a critical appraisal. *Food and Chemical Toxicology*, 44(10), 1613-1635.
- Ofosu, I. W., Ankar-Brewoo, G. M., Lutterodt, H. E., Benefo, E. O., & Menyah, C. A. (2019). Estimated daily intake and risk of prevailing acrylamide content of alkalized roasted cocoa beans. *Scientific African*, 6, e00176.
- Oroian, M., Amariei, S., & Gutt, G. (2015). Acrylamide in Romanian food using HPLC-UV and a health risk assessment. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 8(2), 136-141.
- Palazoğlu, T. K., Savran, D., & Gökmen, V. (2010). Effect of cooking method (baking compared with frying) on acrylamide level of potato chips. *Journal of Food Science*, 75(1).
- Pelucchi, C., Galeone, C., Levi, F., Negri, E., Franceschi, S., Talamini, R., ... & La Vecchia, C. (2006). Dietary acrylamide and human cancer. *International Journal of Cancer*, 118(2), 467-471.
- Perera, C., & Embuscado, M. E. (2014). Texture design for breaded and battered foods. *Food Texture Design and Optimization*, 128-158.
- Qin, L., Zhang, Y. Y., Xu, X. B., Wang, X. S., Liu, H. W., Zhou, D. Y., ... & Thornton, M. (2017). Isotope dilution HPLC-MS/MS for simultaneous quantification of acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF) in thermally processed seafood. *Food Chemistry*, 232, 633-638.
- Raffan, S., Oddy, J., & Halford, N. G. (2020). The sulphur response in wheat grain and its implications for acrylamide formation and food safety. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(11), 3876.
- Rayappa, M. K., Viswanathan, P. A., Rattu, G., & Krishna, P. M. (2021). Nanomaterials enabled and bio/chemical analytical sensors for acrylamide detection in thermally processed foods: Advances and outlook. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(16), 4578-4603.
- Rifai, L., & Saleh, F. A. (2020). A Review on Acrylamide in Food: Occurrence, Toxicity, and Mitigation Strategies. *International Journal of Toxicology*, 39(2), 93-102.
- Rommens, C. M., Yan, H., Swords, K., Richael, C., & Ye, J. (2008). Low- acrylamide French fries and potato chips. *Plant Biotechnology Journal*, 6(8), 843-853.
- Rosen, C., Sun, N., Olsen, N., Thornton, M., Pavek, M., Knowles, L., & Richard Knowles, N. (2018). Impact of agronomic and storage practices on acrylamide in processed potatoes. *American Journal of Potato Research*, 95, 319-327.
- Sansano, M., Heredia, A., Peinado, I., & Andrés, A. (2017). Dietary acrylamide: What happens during digestion. *Food chemistry*, 237, 58-64.

- Seilani, F., Shariatifar, N., Nazmara, S., Khaniki, G. J., Sadighara, P., & Arabameri, M. (2021). The analysis and probabilistic health risk assessment of acrylamide level in commercial nuggets samples marketed in Iran: effect of two different cooking methods. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19, 465-473.
- Shakeri, F., Shakeri, S., Ghasemi, S., Troise, A. D., & Fiore, A. (2019). Effects of formulation and baking process on acrylamide formation in Kolompeh, a traditional cookie in Iran. *Journal of Chemistry*, 2019(1), 1425098.
- Sharif, R., Shahar, S., Rajab, N. F., & Fenech, M. (2022). Dietary Pattern, Genomic Stability and Relative Cancer Risk in Asian Food Landscape. *Nutrition and Cancer*, 74(4), 1171-1187.
- Sogari G, Velez-Argumedo C, G'omez MI, et al. (2018) College students and eating habits: a study using an ecological model for healthy behavior. *Nutrients* 10, 1823.
- Stok FM, Renner B, Clarys P, et al. (2018) Understanding eating behavior during the transition from adolescence to young adulthood: a literature review and perspective on future research directions. *Nutrients* 10, 667.
- Sumner, S. C., Fennell, T. R., Moore, T. A., Chanas, B., Gonzalez, F., & Ghanayem, B. I. (1999). Role of cytochrome P450 2E1 in the metabolism of acrylamide and acrylonitrile in mice. *Chemical Research in Toxicology*, 12(11), 1110-1116.
- Sun, N., Rosen, C. J., & Thompson, A. L. (2018). Acrylamide formation in processed potatoes as affected by cultivar, nitrogen fertilization and storage time. *American Journal of Potato Research*, 95, 473-486.
- Sun, N., Wang, Y., Gupta, S. K., & Rosen, C. J. (2020). Potato tuber chemical properties in storage as affected by cultivar and nitrogen rate: Implications for acrylamide formation. *Foods*, 9(3), 352.
- Sung, W. C., Chang, Y. W., Chou, Y. H., & Hsiao, H. I. (2018). The functional properties of chitosan-glucose-asparagine Maillard reaction products and mitigation of acrylamide formation by chitosans. *Food Chemistry*, 243, 141-144.
- Tacca Ortiz, C. M. (2020). Conocimiento e ingesta de acrilamida en estudiantes de nutricion de la UNFV, 2018.
- Tafari, A., Zuccaro, M., Ravaglia, S., Pirona, R., Masci, S., Sestili, F., ... & Baldoni, E. (2023). Exploring variability of free asparagine content in the grain of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties cultivated in Italy to reduce acrylamide-forming potential. *Plants*, 12(6), 1349.
- Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., & Törnqvist, M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural And Food Chemistry*, 50(17), 4998-5006.
- Tennant, D. R. (2012). *Food Chemical Risk Analysis*. Springer Science & Business Media.
- Thompson, F. E., & Subar, A. F. (2017). Dietary assessment methodology. *Nutrition in the Prevention and Treatment of Disease*, 5-48.
- Tucker, G., & Featherstone, S. (2021). Essentials of thermal processing. *John Wiley & Sons*.

- Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması (TBSA), T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 1132, Ankara, 2019
- U.S. Environmental Protection Agency (2010). Toxicological review of acrylamide in support of summary information on the integrated risk information systems (IRIS). *US Environmental Protection Agency*.
- Vass, M., Amrein, T. M., Schonbachler, B., Escher, F., & Amado, R. (2018). Ways to reduce the acrylamide formation in cracker products. *Czech Journal of Food Sciences*, 22(I), 19.
- Wang, X., & Xu, L. (2014). Influence factors on the formation of acrylamide in the amino acid/sugar chemical model system. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(7), 344-348.
- Williams, J. S. E. (2005). Influence of variety and processing conditions on acrylamide levels in fried potato crisps. *Food Chemistry*, 90(4), 875-881.
- Wlakhdari, S., Benlemlih, M., Faid, M., Zinedine, A., Chaoui, A., & Belhcen, R. (2004). Aflatoxins reduction in sourdough bread fermentation. *Alimentaria: Revista de Tecnología e Higiene de Los Alimentos*, (353), 97-100.
- World Health Organization. (2008). Principles and Methods for the Risk Assessment of Chemicals in Food-Environmental Health Criteria 240.
- Wyka, J., Tajner-Czopek, A., Broniecka, A., Piotrowska, E., Bronkowska, M., & Biernat, J. (2015). Estimation of dietary exposure to acrylamide of Polish teenagers from an urban environment. *Food and Chemical Toxicology*, 75, 151-155.
- Yamamoto, J., Ishihara, J., Kotemori, A., Nakadate, M., & Sobue, T. (2018). Validity of estimated acrylamide intake by the dietary record method and food frequency questionnaire in comparison with a duplicate method: a pilot study. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 64(5), 340-346.
- Yang, Y., Achaerandio, I., & Pujolà, M. (2016). Influence of the frying process and potato cultivar on acrylamide formation in French fries. *Food Control*, 62, 216-223.
- Yu, D., Liu, Q., Qiao, B., Jiang, W., Zhang, L., Shen, X., ... & Kuang, H. (2020). Exposure to acrylamide inhibits uterine decidualization via suppression of cyclin D3/p21 and apoptosis in mice. *Journal of Hazardous Materials*, 388, 121785.
- Yu, M., Ou, S., Liუმengzi, D., Huang, C., & Zhang, G. (2013). Effect of ten amino acids on elimination of acrylamide in a model reaction system. *Afr. J. Food Sci*, 7(9), 329-333.
- Yuan, X. F., Wang, Y. K., Wu, P. T., & Feng, H. (2005). Effects of polyacrylamide application on the decrease of soil fertilizer and its mechanism. *Journal of Agricultural & Environmental Science*, 24(5), 929-934.
- Zhang, X., Zhang, M., & Adhikari, B. (2020). Recent developments in frying technologies applied to fresh foods. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 68-81.
- Zhou, X., Duan, M., Gao, S., Wang, T., Wang, Y., Wang, X., & Zhou, Y. (2022). A strategy for reducing acrylamide content in wheat bread by combining acidification

- rate and prerequisite substance content of *Lactobacillus* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Current Research in Food Science*, 5, 1054-1060.
- Zokaei, M., Kamankesh, M., Abedi, A. S., Moosavi, M. H., Mohammadi, A., Rezvani, M., ... & Khaneghah, A. M. (2020). Reduction in acrylamide formation in potato crisps: application of extract and hydrocolloid-based coatings. *Journal of Food Protection*, 83(5), 754-761.



8. EKLER

EK 1: Üniversite Yemekhane Menüsü (1.hafta)

1. Hafta	1.gün Pazartesi		Öğle	Akşam
		Çorba	Kremalı Sebze Çorba	Andoloz Çorba
		Ana Yemek	Piliç Fajita	Piliç Roti
		Alternatif Yemek	Kabak Çırpma	Fırın Karnabahar
		Yardımcı Yemek	Spagetti	Milones Soslu Makarna
		Tamamlayıcı Grup	Meyve Suyu	Malta Eriği
	2.gün Salı	Çorba	Köylü Çorba	Köylü Çorba
		Ana Yemek	Sebzeli Kebap	Tavuk Haşlama
		Alternatif Yemek	Ispanak Graten	Karnabahar Kızartma
		Yardımcı Yemek	Peynirli Kalem Böreği	Erişte Kavurma
		Tamamlayıcı Grup	Elma	Meyve Suyu
	3.gün Çarşamba	Çorba	Terbiyeli Şehriye Çorba	Mercimek Çorba
		Ana Yemek	Rulo Köfte	Fırında Garnitürlü Tavuk
		Alternatif Yemek	Beş.Soslu Karnabahar	Beş.Soslu Karnabahar
		Yardımcı Yemek	Sarıköz Pilavı	Pirinç Pilavı
		Tamamlayıcı Grup	Meyve suyu	Yoğurt
	4.gün Perşembe	Çorba	Tutmaç Çorba	Domates Çorba
		Ana Yemek	Susamlı Tavuk	Kıymalı Yumurta
		Alternatif Yemek	Zeytinyağlı Ispanak	Zeytinyağlı Ispanak
		Yardımcı Yemek	Meyhane Pilavı	Soslu Makarna
		Tamamlayıcı Grup	Mısırlı Salata	Çikolata Soslu Kakaolu Kek
	5.gün Cuma	Çorba	Arabaşı Çorba	Yayla Çorba
		Ana Yemek	Kıymalı Bezelye	Schnitzel
		Alternatif Yemek	Karışık Kızartma	Zeytinyağlı Bezelye
		Yardımcı Yemek	Nohutlu Pilav	Pirinç Pilavı
		Tamamlayıcı Grup	Aşure	Fırın Patates
	6.gün Cumartesi	Çorba	Yayla Çorba	Yayla Çorba
		Ana Yemek	Kasap Köfte	Kasap Köfte
		Alternatif Yemek	Kıymalı Yumurta	Kıymalı Yumurta
		Yardımcı Yemek	Kremalı Penne	Kremalı Penne
		Tamamlayıcı Grup	Malta Eriği	Elma
	7.gün Pazar	Çorba	Domates Çorba	Domates Çorba
		Ana Yemek	Schnitzel	Schnitzel
		Alternatif Yemek	Karnabahar Kızartma	Karnabahar Kızartma
		Yardımcı Yemek	Peynirli Kalem Böreği	Peynirli Kalem Böreği
		Tamamlayıcı Grup	Meyve Suyu	Meyve Suyu

EK 1: Üniversite Yemekhane Menüsü (2.hafta)

			Öğle	Akşam
2.Hafta	8.gün Pazartesi	Çorba	Ezogelin Çorba	Şehriye Çorba
		Ana Yemek	Piliç Sarma	Pürelı Kadınbudu Köfte
		Alternatif Yemek	Yalancı Kumpir	Zeytinyağlı Ispanak
		Yardımcı Yemek	Köri Soslu Makarna	Soslu Makarna
		Tamamlayıcı Grup	Meyve Suyu	Ayran
	9.gün Salı	Çorba	Yüksük Çorba	Domates Çorba
		Ana Yemek	Pastırmalı Kuru Fasulye	Nugget
		Alternatif Yemek	Zeytinyağlı Ispanak	Zeytinyağlı Bezelye
		Yardımcı Yemek	Şehriyeli Pirinç Pilavı	Peynirli Milföy Böreği
		Tamamlayıcı Grup	Meyve Suyu	Meyve Suyu
	10.gün Çarşamba	Çorba	Soğuk Çorba	Soğuk Çorba
		Ana Yemek	Kadınbudu Köfte	Pürelı Kadınbudu Köfte
		Alternatif Yemek	Taze Fasulye	Patates Kızartması
		Yardımcı Yemek	Avşar Pilavı	Avşar Pilavı
		Tamamlayıcı Grup	Elma	Turşu
	11.gün Perşembe	Çorba	Köylü Çorba	Köylü Çorba
		Ana Yemek	Sebzeli Fırın Tavuk	Fırında Patatesli Tavuk
		Alternatif Yemek	Karnabahar-Brokoli Kızartma	Karnabahar-Brokoli Kızartma
		Yardımcı Yemek	Erişte Kavurma	Erişte Kavurma
		Tamamlayıcı Grup	Haydari	Ayran
	12.gün Cuma	Çorba	Tarhana Çorba	Tarhana Çorba
		Ana Yemek	Fırın Türlü	Etli Barbunya
		Alternatif Yemek	Beşamel Soslu Brokoli	Peynirli Milföy Böreği
		Yardımcı Yemek	Mısırlı Pirinç Pilavı	Mısırlı Pirinç Pilavı
		Tamamlayıcı Grup	Mısırlı Salata	Yoğurt
	13.gün Cumartesi	Çorba	Yayla Çorba	Yayla Çorba
		Ana Yemek	Nugget	Nugget
		Alternatif Yemek	-	-
		Yardımcı Yemek	Ispanaklı Börek	Ispanaklı Börek
		Tamamlayıcı Grup	Sütlaç	Sütlaç
	14.gün Pazar	Çorba	Toyga Çorba	Toyga Çorba
		Ana Yemek	Pürelı Kadınbudu Köfte	Kadınbudu Köfte
		Alternatif Yemek	Patlıcan-Kabak Kızartması	Patlıcan-Kabak Kızartması
		Yardımcı Yemek	Pirinç Pilavı	Pirinç Pilavı
		Tamamlayıcı Grup	Tarator	Puding

EK 2: Kalibrasyon Değerleri

Calibration Table

Calib. Data Modified : 7/12/2024 7:00:26 AM

Rel. Reference Window : 5.000 %
Abs. Reference Window : 0.000 min
Rel. Non-ref. Window : 5.000 %
Abs. Non-ref. Window : 0.000 min
Uncalibrated Peaks : not reported
Partial Calibration : Yes, identified peaks are recalibrated
Correct All Ret. Times: No, only for identified peaks

Curve Type : Linear
Origin : Included
Weight : Equal

Recalibration Settings:
Average Response : Average all calibrations
Average Retention Time: Floating Average New 75%

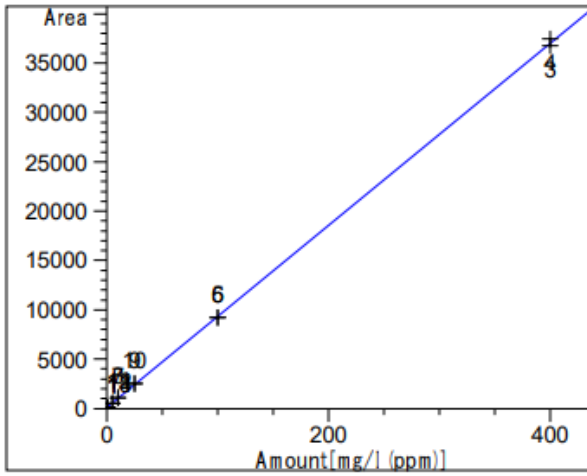
Calibration Report Options :
Printout of recalibrations within a sequence:
Calibration Table after Recalibration
Normal Report after Recalibration
If the sequence is done with bracketing:
Results of first cycle (ending previous bracket)

Signal 1: DAD1 A, Sig=200,4 Ref=off

EK 2: Kalibrasyon Değerleri (Devamı)

RetTime [min]	Lvl Sig	Amount mg/I (ppm)	Area	Amt/Area	Ref Grp Name
4.590	1	1.00000e-1	13.77402	7.26004e-3	AKRILAMIT
	13	1.00000	135.53848	7.37798e-3	
	14	1.00000	135.79445	7.36407e-3	
	11	5.00000	496.17557	1.00771e-2	
	12	5.00000	525.57404	9.51341e-3	
	7	10.00000	1059.90576	9.43480e-3	
	8	10.00000	1060.62292	9.42842e-3	
	9	25.00000	2518.92017	9.92489e-3	
	10	25.00000	2578.16821	9.69681e-3	
	5	100.00000	9219.75391	1.08463e-2	
	6	100.00000	9226.25488	1.08386e-2	
	3	400.00000	3.67670e4	1.08793e-2	
	4	400.00000	3.74423e4	1.06831e-2	

Peak Sum Table



AKRILAMIT at exp. RT: 4.590
DAD1 A, Sig=200,4 Ref=off
Correlation: 0.99993
Residual Std. Dev.: 164.70354
Formula: $y = mx + b$
m: 92.53692
b: 74.68997
x: Amount
y: Area

EK 3: Orijinallik Raporu

TEZİN TAM BAŞLIĞI: Bir Üniversite Yemekhanesinde Yemek Hizmetlerinden

Yararlanan Öğrencilerin Diyet Akrilamid Maruziyetinin Değerlendirilmesi

ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI: Elmas Kübra KÜÇÜKSÜLLÜ

DOSYANIN TOPLAM SAYFA SAYISI: 80

ORJİNALLİK RAPORU

%8

BENZERLİK ENDEKSİ

%7

İNTERNET KAYNAKLARI

%2

YAYINLAR

%1

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

acikerisim.akdeniz.edu.tr:8080

İnternet Kaynağı

%2

2

acikerisim.nku.edu.tr

İnternet Kaynağı

%1

3

dergipark.org.tr

İnternet Kaynağı

%1

4

acikbilim.yok.gov.tr

İnternet Kaynağı

<%1

5

cityhealthj.org

İnternet Kaynağı

<%1

6

docplayer.biz.tr

İnternet Kaynağı

<%1

7

readgur.com

İnternet Kaynağı

<%1

8

Amin Mousavi Khaneghah, Yadolah Fakhri, Amene Nematollahi, Fatemeh Seilani, Yasser Vasseghian. "The Concentration of Acrylamide in Different Food Products: A Global Systematic Review, Meta-Analysis, and

<%1