

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**İNERT VE İNHİBİTÖR GAZ ORTAMLARINDA PIŞIRME İŞLEMLERİNİN  
EKMEKLERİN HMF VE AKRİLAMİD İÇERİĞİNİ AZALTICI ETKİLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**Ümmügülsüm GÜLCAN**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EKİM 2017**

**ANTALYA**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**

**İNERT VE İNHİBİTÖR GAZ ORTAMLARINDA PİŞİRME İŞLEMLERİNİN  
EKMEKLERİN HMF VE AKRİLAMİD İÇERİĞİNİ AZALTICI ETKİLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**Ümmügülsüm GÜLCAN**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EKİM 2017**

**ANTALYA**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNERT VE İNHİBİTÖR GAZ ORTAMLARINDA PİŞİRME İŞLEMLERİNİN  
EKMEKLERİN HMF VE AKRİLAMİD İÇERİĞİNİ AZALTICI ETKİLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**Ümmügülsüm GÜLCAN**  
**GIDA MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez çalışması Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon  
Birimi tarafından 2011.02.0121.028 proje numarasıyla desteklenmiştir.**

**EKİM 2017**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNERT VE İNHİBİTÖR GAZ ORTAMLARINDA PİŞİRME İŞLEMLERİNİN  
EKMEKLERİN HMF VE AKRİLAMİD İÇERİĞİNİ AZALTICI ETKİLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**Ümmügülsüm GÜLCAN**  
**GIDA MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 26/10/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ (Danışman)

Doç. Dr. Mustafa Kemal USLU

Doç. Dr. Hülya GÜL

## ÖZET

# İNERT VE İNHİBİTÖR GAZ ORTAMLARINDA PIŞIRME İŞLEMLERİNİN EKMEKLERİN HMF VE AKRİLAMİD İÇERİĞİNİ AZALTICI ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Ümmügülsüm GÜLCAN

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ

Ekim 2017, 32 sayfa

Bu araştırma ile ekmeğin pişirilmesi sırasında farklı gazlar kullanılarak oksijenin ortamdan uzaklaştırılması ve sağlanan anaerobik ve inhibitör gaz ortamlarının Maillard reaksiyon hızınının yavaşlatması amaçlanmıştır. Bu amaçla ekmeğin örnekleri normal atmosfer, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> gazı olmak üzere dört farklı gaz ortamında 250°C’de 20 dakika süre ile pişirilmiştir. Bu şekilde üretilen ekmeğin spesifik hacim, renk, tekstür profili, kurumadde, akrilamid, HMF ve duyu analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan fiziksel analizlerle ortalama spesifik hacim değerinin 3.12 cm<sup>3</sup>/g ve en düşük sertlik değerinin ise kükürtdioksit gazı ortamında pişirilen ekmeğin 277.67 g olduğu belirlenmiştir. Ayrıca örneklerin en yüksek L\* renk değeri kükürtdioksit gazı altında pişirilen ekmeğin 71.2 olarak tespit edilmiştir.

Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulaması ekmeğin akrilamid içeriğinde önemli bir azalışa neden olmuştur. Kontrol ekmeğinin akrilamid içeriği 39.06 µg/kg, HMF içeriği ise 16.97 g/kg olarak tespit edilirken bu değerler kükürtdioksit gazı altında pişirilen örneklerde akrilamid için 0.25 µg/kg, HMF için ise 14.85 g/kg olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, farklı gaz atmosferlerinde pişirme işlemlerinin ekmeğin HMF ve özellikle akrilamid içeriğini önemli derecede azalttığı, duyu özelliklerini ise olumsuz etkilemediği tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Akrilamid, Azot, Ekmeğin, HMF, Karbondioksit, Kükürtdioksit

**JÜRİ:** Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ (Danışman)

Doç. Dr. Mustafa Kemal USLU

Doç. Dr. Hülya GÜL

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF DECREASING EFFECTS OF BAKING IN INERT AND INHIBITOR GAS ATMOSPHERES ON HMF AND ACRYLAMIDE CONTENTS OF BREADS

Ümmügülsüm GÜLCAN

MSc. Thesis in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ

September 2017, 32 pages

In this research, during bread production oven's cabinets filled up by different gas atmosphere baking process for slowing down The Maillard reaction providing inert or inhibitory gas atmosphere by removal of oxygen from oven. On this purpose, fermented dough samples were baked in four different gas atmospheres (ambient atmosphere-control, nitrogen, carbondioxide and sulphurdioxide) at 250°C for 20 minutes. Specific volume, color ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ), texture profile, dry matter, acrylamide, HMF and sensorial properties were analyzed to determine the effects of different oven atmosphere on breads.

Mean specific volume value for bread samples were determined as 3.12 cm<sup>3</sup>/g. Lowest hardness and highest  $L^*$  values were belonged to the breads baked in sulphur dioxide gas atmosphere determined as 277.67 g and 71.2, respectively.

Baking practice in different gas atmospheres, significantly affected the acrylamide and HMF content of bread samples. Acrylamide content of bread samples were decreased from 39.06 µg/kg to 0.25 µg/kg by using sulphurdioxide instead of ambient atmosphere in oven. HMF content of bread samples were decreased by same atmosphere conditions from 16.97 mg/g to 14.85 mg/g.

In conclusion, baking practice in different gas atmosphere has decreasing effect on acrylamide and HMF contents of bread samples without any negative affect on the sensorial properties. Especially baking breads by sulphurdioxide atmosphere was successful to prevent acrylamide formation almost completely.

**KEYWORDS:** Acrylamide, Bread, Carbondioxide, HMF, Nitrogen, Sulphurdioxide

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ (Supervisor)

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU

Assoc. Prof. Dr. Hülya GÜL

## ÖNSÖZ

Kolay ulaşılabilir ve nispeten ucuz bir gıda maddesi olan ekmek; karbonhidrat, yağ, protein, mineraller ve vitaminler bakımından önemli bir kaynak olarak yüksek miktarda tüketimi toplum beslenmesinde yer almaktadır. Ekmeğin önemli duyuşal özelliklerinden biri olan kabuk rengi, temel olarak indirgen şekerler ve protein türevi bileşiklerin amino grupları arasında bir seri reaksiyon ile gerçekleşen Maillard reaksiyonu ve karbonhidratların yüksek sıcaklığa maruz kalmaları sonucu meydana gelen karamelizasyon ile oluşmaktadır. Günlük beslenmede çok fazla miktarda tüketilmekte olan ekmek, bu esmerleşme reaksiyonları nedeniyle sağlık bakımından da önemli riskler içermektedir.

Maillard reaksiyonu ısı işlem görmüş gıdaların kalitesi bakımından önemlidir. Bu reaksiyon gıdalarda esmerleşme, aroma gelişimi, antioksidan madde oluşumu gibi olumlu değişikliklerin olmasını sağlarken, amino asitler ve şekerler gibi besin maddelerinin kaybına ve HMF ve akrilamid gibi toksik bileşiklerin oluşumuna neden olmaktadır. Buğday proteinlerinin yapısındaki ve serbest haldeki lisinlerin Maillard reaksiyonu yolu ile indirgen şekerlere bağlanmaları sonucu besinsel yararlılıkları azalmaktadır.

Bu araştırma ile ekmek üretiminin fermantasyon ve pişirme aşamalarında farklı gazlar ( $N_2$ ,  $CO_2$  ve  $SO_2$ ) ile oksijenin ortamdan uzaklaştırılıp anaerobik gaz ortamının Maillard reaksiyonu hızını yavaşlatmasından ve özellikle kükürtdioksidin Maillard reaksiyonu üzerine inhibitör etkisinden yararlanarak ekmek kabuğunda Maillard reaksiyonuna bağlı olarak oluşan HMF ve akrilamid gibi toksik bileşiklerin oluşumunu azaltmak ve bu ekmeklerin bazı fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bana yardım ve destekte bulunan danışman hocam Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ'a, çalışma sırasında benden maddi manevi desteklerini esirmeyen canım aileme, çalışma sırasında bana yardımcı olan çalışma arkadaşlarım Sultan ARSLAN TONTUL, Ceren MUTLU, Cihadiye CANDAL ve A.Nur DURAK'a ve çalışmaya maddi destekte bulunan Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
AKADEMİK BEYAN.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Maillard Reaksiyonu ve Ekmek Üzerine Etkisi.....	3
2.1.1. HMF oluşumu .....	5
2.1.2. Akrlamid oluşumu .....	5
2.2. Fırın Ürünlerinin Akrlamid İçeriğinin Azaltılması.....	7
3. MATERYAL VE METOT.....	12
3.1. Materyal .....	12
3.2. Metot.....	12
3.2.1. Deneysel ekmek üretimi.....	12
3.2.2. Farklı gaz ortamlarının sağlanması ve ekmeklerin pişirilmesi .....	12
3.3. Deneme Ekmeklerinde Yapılan Fiziksel Analizler .....	13
3.3.1. Renk ölçümü .....	13
3.3.2. Spesifik hacmin belirlenmesi .....	13
3.3.3. Tekstürel kabuk sertliği.....	13
3.4. Deneme Ekmeklerinde Yapılan Kimyasal Analizler.....	14
3.4.1. Kurumadde analizi .....	14
3.4.2. Akrlamid analizi.....	14
3.4.3. HMF analizi .....	14
3.5. Duyusal analiz.....	14
3.6. İstatistiksel analizler .....	15
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	16
4.1. Üretilen Ekmeklerin Fiziksel Analiz Sonuçları .....	16
4.1.1. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin spesifik hacim özellikleri üzerine etkisi.....	16
4.1.2. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin renk özellikleri üzerine etkisi.....	16
4.1.3. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin kabuk sertliği üzerine etkisi.....	18
4.2. Üretilen Ekmeklerin Kimyasal Analiz Sonuçları .....	19
4.2.1. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin kurumadde özellikleri üzerine etkisi .....	19
4.2.2. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin akrlamid içeriği üzerine etkisi .....	20



4.2.3. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin HMF içeriği üzerine etkisi.....	21
4.3. Üretilen Ekmeklerin Duyusal Analiz Sonuçları .....	22
5. SONUÇ.....	24
6. KAYNAKLAR.....	25
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İnert ve İnhibitör Gaz Ortamlarında Pişirme İşlemlerinin Ekmeklerin HMF ve Akrlamid İçeriğini Azaltıcı Etkilerinin Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

26/10/2017

Ümmügülsüm GÜLCAN

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

dk	Dakika
g	Gram
kg	Kilogram
L	Litre
mg	Miligram
mL	Mililitre
$\mu$ g	Mikrogram
$\mu$ m	Mikrometre
rpm	Devir sayısı/Dakika
h	Saat
s	Saniye

### Kısaltmalar

HMF	Hidroksimetilfurfural
F	İstatistik hesaplamalarda F değeri
KO	Kareler ortalaması
SD	Serbestlik derecesi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Deneme ekmeklerinin üretimi. ....	13
Şekil 3.2. Üretilen ekmekler için hazırlanan duyuşal panel.....	15

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin spesifik hacim değerleri (cm <sup>3</sup> /g) üzerine etkisi .....	16
Çizelge 4.2. Ekmeklerin spesifik hacim değerlerine ait varyans analizi sonuçları .....	16
Çizelge 4.3. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmek kabuğunun renk değerleri üzerine etkisi .....	17
Çizelge 4.4.Ekmek kabuğunun renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	17
Çizelge 4.5.Ekmek kabuğunun renk değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları .....	18
Çizelge 4.6. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin kabuk sertliği özelliği üzerine etkisi .....	19
Çizelge 4.7. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin kabuk sertliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları .....	19
Çizelge 4.8. Ekmeklerin kabuk sertliği değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları .....	19
Çizelge 4.9. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin kurumadde içeriği üzerine etkisi .....	20
Çizelge 4.10. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin kurumadde değerlerine ait varyans analizi sonuçları .....	20
Çizelge 4.11. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin akrilamid içeriği (µg/kg) üzerine etkisi .....	21
Çizelge 4.12. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin akrilamid içeriğine ait varyans analizi sonuçları .....	21
Çizelge 4.13. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin akrilamid içeriğine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları .....	21
Çizelge 4.14. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin HMF içeriği (mg/kg) üzerine etkisi .....	22
Çizelge 4.15. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin HMF içeriğine ait varyans analizi sonuçları .....	22
Çizelge 4.16. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin HMF içeriğine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları .....	22
Çizelge 4.17. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin duyusal özellikleri üzerine etkisi .....	23

Çizelge 4.18. Farklı gaz ortamlarında pişirilen ekmeklerin duyuşal özelliklerine ait varyans analizi sonuçları .....	23
Çizelge 4.19. Farklı gaz ortamlarında pişirilen ekmeklerin duyuşal özelliklerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları .....	23

## 1. GİRİŞ

Gıda bilimi ve teknolojisinin temel amaçlarından biriside, gıdaların yüksek gıda güvenliği ile üretilmesidir. Bilimsel Teknoloji Yüksek Kurulu'nun toplantılarında gıda güvenliği ve güvenilirliğinin sağlanması, toplumun yeterli ve dengeli beslenmesi, ürün kalitesinin güvence altına alınması, gıdalardan kaynaklanan sağlık risklerinin azaltılması, tüketici haklarının korunması, gıda üretiminin artırılmasının ve daha nitelikli ürünler elde edilmesi gereklidir” kararları alınarak konunun önemine işaret edilmiştir (Anonim 2007).

Ekmek; esas olarak; un, tuz, maya ve suyun belli oranlarda karıştırılması ile oluşturulan hamurun şekillendirilmesi, fermantasyona bırakılması ve pişirilmesiyle elde edilen temel bir gıda maddesidir.

Ekmekğin önemli duyuşal özelliklerinden biri olan kabuk rengi, temel olarak indirgen şekerler ve protein türevi bileşiklerin amino grupları arasında bir seri reaksiyon ile gerçekleşen Maillard reaksiyonu (Martins vd. 2000; Burdurlu ve Karadeniz 2002; Jaeger vd. 2010) ve karbonhidratların yüksek sıcaklığa maruz kalmaları sonucu meydana gelen karamelizasyon ile oluşmaktadır. Bu nedenle de fırın ürünlerinde kabuk rengi oluşumunu anlamak, beslenme ve sağlık açısından önemli bir konudur (Purlis 2010). Günlük beslenmede çok fazla miktarda tüketilmekte olan ekmek, Maillard reaksiyonları nedeniyle sağlık bakımından da önemli riskler içermektedir (Purlis 2010).

Maillard reaksiyonunun başlangıç aşamasında indirgen şekerdeki karbonil grubu proteinlerin amino grubundaki azot ile reaksiyona girmekte ve su kaybıyla beraber aromatik glikozilaminler (Schiff bazı) oluşmaktadır. Reaksiyon ilerledikçe indirgen ve doymamış özellikte pek çok polikarbonil bileşik meydana gelmektedir. Bu maddelerden  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin aminoasitlerle tekrar reaksiyona girmesi sonucu aldehitler ve ketonlar oluşmaktadır (Martins vd. 2000; Burdurlu ve Karadeniz 2002; Purlis 2010). Maillard reaksiyonunun son aşamasında ise şekerlerin dehidrasyonu ile furfural bileşikleri meydana gelmekte ve kompleks bir seri reaksiyon sonunda oluşan ürünlerin kondensasyonu ve polimerizasyonu ile çözünmeyen ve koloidal nitelikte olan melanoidin bileşikleri oluşmaktadır (Martins vd. 2000; Burdurlu ve Karadeniz 2002). Maillard reaksiyonunun oluşma şartlarını ve hızını reaksiyona giren bileşiklerin miktar ve çeşidi, sıcaklık, su aktivitesi, ortamın pH değeri, katalizörler ve inhibitörler etkilemektedir (Martins vd. 2000; Morales ve Jimenez-Perez 2001; Purlis ve Salvadori 2007; Jaeger vd. 2010).

Maillard reaksiyonu, ürünlerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi sonucu ortaya çıkmakta ve gıdalarda olumlu ve olumsuz değişikliklere neden olmaktadır. Olumlu değişiklikler olarak çoğunlukla ürünün duyuşal özelliklerindeki iyileşmeler kabul edilirken, olumsuz değişiklikler ise üründe toksik işlem kontaminantlarının oluşmasıdır. Toksik bileşiklerin göstergesi 5-hidroksimetil-2-furfural (HMF) ve akrilamid gibi bileşikler kabul edilmektedir. Bu bileşiklerin toplumun yaygın ve yüksek miktarlarda tükettiği ekmek gibi bir gıdada oluşması toplum için önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır.

Maillard reaksiyonunun toksik bileşenlerinden olan HMF'ye genotoksik, sitotoksik ve mutajenik olabileceği şüphesiyle bakılmakta ve limit değerler belirlenmektedir (Edris vd. 2007).

Maillard reaksiyonu sonucu oluşan toksik bileşenlerden olan akrilamid ise insanda muhtemel kanserojen bir bileşik olarak kabul edilmektedir (IARC 1994). Bu sınıflandırma 2002'de Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından onaylanmıştır. Son dönemlerde ise akrilamidin monomer halinin sinir sistemine toksik etkileri olduğu ortaya konulmuştur (Mojska vd. 2010). Tüm bu nedenlerle akrilamid oluşum mekanizmasının anlaşılması ve gıdalardaki içeriğinin azaltılması için uygun ingredient seçimi ve işleme teknolojilerinin kullanımı önemlidir (Claus vd. 2008; Anese vd. 2010).

Maillard reaksiyonu, protein türevi bileşiklerin amino grubu ile indirgen şekerlerin karbonil grubu arasında gerçekleşen bir dizi reaksiyonla oluşmaktadır. Ekmek üretim sürecinde bu reaksiyon, özellikle fermantasyon aşamasında nişasta ve proteinlerden hidroliz edilen indirgen şekerler ve serbest aminoasitler arasında pişirme sırasında ekmek kabuğunda gerçekleşmektedir. Eğer hamur yüzeyinden pişme sırasında Maillard reaksiyonunu teşvik eden oksijen (Kim ve Lee 2003) uzaklaştırılırsa, bu reaksiyon anaerobik (inert ortam) pişirme koşullarında yavaşlayacak ve böylelikle HMF ve akrilamid gibi toksik bileşiklerin oluşum hızları da yavaşlatılabilecektir. Özellikle kükürtün azota göre daha nükleofilik olması nedeniyle indirgen şekerin karbonil grubuna öncelikle bağlanarak Maillard reaksiyonunu inhibe edeceği ve bu reaksiyona bağlı olarak oluşan toksik bileşiklerin miktarını da azaltılabileceği düşünülmektedir.

Bu araştırma ile ekmeğin pişirilmesi sırasında farklı gazlar kullanılarak (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub>) oksijenin ortamdan uzaklaştırılması ve sağlanan anaerobik ve inhibitör gaz ortamlarının Maillard reaksiyon hızını yavaşlatması yoluyla ekmeğin içerdiği toksik madde içeriğinin azaltılması amaçlanmıştır.



## 2. KAYNAK TARAMASI

Ekmek; esas olarak; un, tuz, maya ve suyun belli oranlarda karıştırılması ile oluşturulan hamurun şekillendirilmesi, fermantasyona bırakılması ve pişirilmesiyle elde edilen temel bir gıda maddesidir. İnsanlar farklı teknikler ve formülasyonlar kullanarak çok eski tarihlerden beri farklı özelliklerde ekmekler üretmektedir. Günümüz ekmeğine benzer mayalı ekmek ilk kez Mısırlılar tarafından M.Ö. 2600 yıllarında üretilmiştir. Ekmek mayası (*Saccharomyces cerevisiae*) hakkındaki bilgilerin artması ve teknolojinin gelişmesi sonucu ekmek üretimi bir sanayi dalı haline gelmiştir (Elgün ve Ertugay 2002).

İnsanlar tarafından 4000 yılı aşkın bir süredir üretilen ve tüketilen ekmek (Dewettinck vd. 2008) tahıla dayalı beslenme alışkanlığı olan ülkelerde doyurucu ve ucuz olması sebebiyle günlük diyetinde fazla miktarda yer almaktadır. Türkiye ve dünyada insanların ihtiyaç duyduğu günlük enerji ve proteinin yaklaşık yarısını karşılamakta olan ekmeğin (Dağlıoğlu 1998; FAO 2001; Elgün ve Ertugay 2002) kişi başına yıllık tüketiminin; Mısır'da 180 kg, İran'da 150 kg, Kuveyt'te 98 kg, İtalya'da 73 kg ve ABD'de 34 kg olduğu bildirilmiştir (Karaoğlu vd. 2008). Türkiye'de ise ortalama ekmek tüketiminin yıllık yaklaşık 116 kg olduğu belirlenmiştir (ANONİM 2012).

Ekmeğin önemli duyuşal özelliklerinden biri olan kabuk rengi, temel olarak indirgen şekerler ve protein türevi bileşiklerin amino grupları arasında bir seri reaksiyon ile gerçekleşen Maillard reaksiyonu (Martins vd. 2000; Burdurlu ve Karadeniz 2002; Jaeger vd. 2010) ve karbohidratların yüksek sıcaklığa maruz kalmaları sonucu meydana gelen karamelizasyon ile oluşmaktadır. Bu nedenle de fırın ürünlerinde kabuk rengi oluşumunu anlamak, beslenme ve sağlık açısından önemli bir konudur (Purlis 2010). Günlük beslenmede çok fazla miktarda tüketilmekte olan ekmek, Maillard reaksiyonları nedeniyle sağlık bakımından da önemli riskler içermektedir (Purlis 2010).

### 2.1. Maillard Reaksiyonu ve Ekmek Üzerine Etkisi

Maillard reaksiyonunun başlangıç aşamasında indirgen şekerdeki karbonil grubu proteinlerin amino grubundaki azot ile reaksiyona girmekte ve su kaybıyla beraber aromatik glikozilaminler (Schiff bazı) oluşmaktadır. Reaksiyon ilerledikçe indirgen ve doymamış özellikte pek çok polikarbonil bileşik meydana gelmektedir. Bu maddelerden  $\alpha$ -dikarbonil bileşiklerinin aminoasitlerle tekrar reaksiyona girmesi sonucu aldehitler ve ketonlar oluşmaktadır (Martins vd. 2000; Burdurlu ve Karadeniz 2002; Purlis 2010). Maillard reaksiyonunun son aşamasında ise şekerlerin dehidrasyonu ile furfural bileşikleri meydana gelmekte ve kompleks bir seri reaksiyon sonunda oluşan ürünlerin kondensasyonu ve polimerizasyonu ile çözünmeyen ve kolloidal nitelikte olan melanoidin bileşikleri oluşmaktadır (Martins vd. 2000; Burdurlu ve Karadeniz 2002). Maillard reaksiyonunun oluşma şartlarını ve hızını reaksiyona giren bileşiklerin miktar ve çeşidi, sıcaklık, su aktivitesi, ortamın pH değeri, katalizörler ve inhibitörler etkilemektedir (Martins vd. 2000; Morales ve Jimenez-Perez 2001; Purlis ve Salvadori 2007; Jaeger vd. 2010).

Her ne kadar indirgen şekerler ve serbest amino asitler gibi Maillard reaksiyonu bileşikleri unda düşük seviyelerde bulunsalar da ekmek yapımının fermantasyon

aşamasında enzim ve maya faaliyeti sonucu bu reaktantların çeşitliliği ve miktarı önemli derecede artmaktadır. Bu reaktant artışı ve fermantasyon işlemi sırasında oluşan organik asitlerin hamurun pH değerini düşürmesi sonucu pişirme sırasında ekmek kabuğunda Maillard reaksiyonu oluşumu hızı daha da artmaktadır (Erbaş 2006).

Maillard reaksiyonu her sıcaklık ve su aktivitesi değerlerinde oluşabilmekle birlikte 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ve yaklaşık 0.7 su aktivitesi değerinde iken, maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Su aktivitesi 0.7 değerinin altındayken reaktantların hareketliliğinin azalması, 0.7 değerinin üzerinde ise reaktantların seyrelmesi nedeniyle reaksiyonun hızı azalmaktadır (Fennema 1996). Gıdanın yapısındaki suyun buhar basıncının ( $p$ ) aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına ( $p^0$ ) oranı olarak tanımlanan su aktivitesi ( $a_w = p/p^0$ ), aynı zamanda denge nem içeriğinin 100'e oranı ( $a_w = ERH/100$ ) olarak da hesaplanabilmektedir. Su aktivitesi değeri, suyun fizikokimyasal ve termodinamik özelliklerini de içeren bir parametre olduğundan su içeriğine (%m) göre gıda işleme ve depolama süreçlerinde daha belirleyici bir parametredir (Aykın vd. 2015). Sıcaklık ve su aktivitesi birlikte değerlendirildiğinde ise düşük su aktivitesi ve yüksek sıcaklıkların Maillard reaksiyonunu teşvik ettiği bildirilmektedir (Rufian-Henares vd. 2009). Ekmeğin pişirilmesi sırasında ekmek kabuğunun sıcaklık ve su aktivitesi değerleri Maillard reaksiyonunu yüksek hızlara çıkartabilmektedir. Çünkü pişirme sırasında ekmek yüzeyindeki sıcaklık ve buharlaşma sebebiyle ekmek kabuğundan hızlı bir su kaybı gerçekleşmekte ve bu da ekmek kabuğunun su aktivitesi değerini düşürmektedir (Purlis ve Salvadori 2007). Genelde gıdalara uygulanan sıcaklığın yüksek ve sürenin uzun olması Maillard reaksiyon hızını artırmaktadır (Delgado-Andrade vd. 2010). Ayrıca pişirmeye bağlı ağırlık kaybı ve esmerleşme hızı arasında doğrusal bir ilişki olduğu da tespit edilmiştir (Vanin vd. 2009). Maillard reaksiyonu sonucu oluşan toksik bileşenlerden olan akrilamid çoğunlukla iç kabuğa kıyasla ekmeğin dış kabuğunda oluşmakta, ekmek içindeki akrilamid oluşumu ise iz miktarlarda kalmaktadır (Sadd ve Hamlet 2005; Sadd vd. 2008).

Maillard reaksiyonu ısıl işlem görmüş gıdaların kalitesi bakımından oldukça önemlidir. Bu reaksiyon gıdalarda esmerleşme, aroma gelişimi, antioksidan madde oluşumu gibi olumlu değişikliklerin olmasını sağlarken, amino asitler ve şekerler gibi besin bileşenlerinin kaybına ve HMF ve akrilamid gibi toksik bileşiklerin de oluşumuna neden olmaktadır (Martins vd. 2000; Morales ve Jimenez-Perez 2001; Gokmen vd. 2007; Vanin vd. 2009; Purlis 2010). Buğday proteinlerinin yapısında bulunan lizin amino asitinin, Maillard reaksiyonu yolu ile indirgen şekerlere bağlanması sonucu miktarı ve biyoyararlılığı azalmaktadır (Gerrard vd. 2003).

Maillard reaksiyonu, bazı enzim reaksiyonları üzerine de olumsuz etkilerde bulunarak gıdaların sindirilebilirliğini de azaltmaktadır (Schumacher ve Kroh 1996; Martins vd. 2000; Burdurlu ve Karadeniz 2002). Ayrıca toksik ve mutajenik ürünlerin oluşmasına da neden olabilmektedir (Fennema 1996; Martins vd. 2000; Jagerstad ve Skog 2005).

Maillard reaksiyonu gıdalarda oluştuğu gibi canlı hücrelerinde de oluşmakta ve buna glikasyon adı verilmektedir. (Advanced glycation end products, AGEs) sarı-kahve renkte olup göz merceğine, kollojenlere ve diğer birçok proteince bağlanarak birikmekte ve zamanla birikim yaptığı yerlerin fonksiyonlarını bozmaktadır (Baynes

2001). Bunun sonucu olarak da diyabet, diyabetik böbrek yetmezliği, arteriosiklorisiz, Parkinson, Alzheimer ve katarakt gibi hastalıklar oluşabilmektedir. (AGEs) ilk kez 1988 yılında diyabetik hasta serumlarında ve dokularında rastlanmış ve diyabetik komplikasyonlar ile ilişkisi gösterilmiştir. Aynı zamanda Maillard reaksiyonu ürünlerini yüksek oranda içeren gıdalarla yoğun beslenme sırasında da glikasyonunun son ürünleri (karboksimetillisin, pentosidin vb.) vücuda alınmakta ve birikerek sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu nedenle Maillard reaksiyonu ürünlerinin beslenme ile gıdalardan alımı, çeşitli hastalıklara ve hızlı yaşlanmaya neden olabilmektedir (Monnier vd. 2002; Enomoto vd. 2006; Reddy ve Beyaz 2006).

Maillard reaksiyonu sırasında oluşan yüksek miktardaki dikarbonilli bileşikler (glioksal, metilglioksal vb) reaksiyonun sonunda oluşan glikasyonunun son ürünleri miktarının da yüksek olmasına neden olmaktadır (Reddy ve Beyaz 2006; Sassi-Gaha vd. 2010). Ayrıca ortamda metilglioksal varlığının akrilamid oluşumunu arttırdığı da rapor edilmiştir (Yuan vd. 2008).

### 2.1.1. HMF oluşumu

Maillard reaksiyonunun toksik bileşenlerinden olan HMF'nin toksikolojik yönü tam olarak açıklanabilmiş değildir. Yapılan mutajenik ve genotoksik *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarda tartışmalı sonuçlar elde edilmiştir (Cuzzoni vd. 1988; Janzowski vd. 2000; Ameer vd. 2007). Janzowski vd. (2000) yaptıkları çalışmalar sonunda HMF'nin zayıf bir genotoksik ve mutajenik bileşik olduğunu ve tüketilen konsantrasyonlar nedeniyle bir risk oluşturmadığını belirtmişlerdir. Ancak HMF içeriği yüksek (kuru meyveler, karamelli gıdalar vb.) gıdalarla zengin beslenen grupların dikkat etmesi gerektiğini de ayrıca bildirmişlerdir. Deney hayvanları üzerinde yapılan bir çalışmada HMF'nin 3.1 g/kg vücut ağırlığında alımının toksik olduğu ve gözlerde, üst solunum sisteminde, deri ve mukozalarda tahrişe neden olduğu bildirilmiştir (Ulbricht vd. 1984). Isıl işlem gören birçok gıdada oluşan HMF'ye genotoksik, sitotoksik ve mutajenik olabileceği şüphesiyle bakılmakta ve limit değerler belirlenmektedir (Edris vd. 2007).

### 2.1.2. Akrilamid oluşumu

Maillard reaksiyonu sonucu oluşan toksik bileşenlerden olan akrilamid ise insanda muhtemel kanserojen bir bileşik olarak kabul edilmektedir (IARC 1994). Bu sınıflandırma 2002'de Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından onaylanmıştır. Son dönemlerde ise akrilamidin monomer halinin sinir sistemine toksik etkileri olduğu ortaya konulmuştur (Mojska vd. 2010). Yapılan çalışmalar akrilamidin insanlarda nörotoksik ve mutajenik ve kemirgenlerde ise kanserojenik olduğunu göstermiştir (Mojska vd. 2010; Capuano ve Fogliano 2011; Krishnakumar ve Visvanathan 2014). Akrilamidin diyetle alımı ise böbrek ve meme kanseri riskini artırmaktadır (Hogervorst vd. 2008, Olesen vd. 2008). Tüm bu nedenlerle akrilamid oluşum mekanizmasının anlaşılması ve gıdalardaki içeriğinin azaltılması için uygun ingredient seçimi ve işleme teknolojilerinin kullanımı önemlidir (Claus vd. 2008; Anese vd. 2010).

Akrilamid bir amino asit olan asparajin ve indirgen şekerler gibi karbonil grubu içeren bileşikler arasında Maillard reaksiyonu aracılığıyla yüksek sıcaklıkta oluşmaktadır. Serbest asparajinin amino grubu karbonil kaynağıyla reaksiyona girerek

schiff bazını oluşturmakta, schiff bazı ise yüksek sıcaklıkta dekarboksile ve hidrolize olarak 3-aminopropionamidi oluşturmakta ve bu bileşik de akrilamide (2-propenamid) dönüşmektedir (Doğan ve Meral 2006; Gokmen ve Senyuva 2007; Anese vd. 2010; Krishnakumar ve Visvanathan 2014). Dolayısıyla özellikle patatesten ve tahıllarda indirgen şekerleri ve asparajini kontrol altında tutmak akrilamidi azaltmak için iyi bir yoldur (David vd. 2012).

Maillard reaksiyonu hızına etki eden bileşen çeşitliliği ve derişimi, sıcaklık, işlem süresi, pH ve su aktivitesi gibi faktörler ısı işlem görmüş gıdalarda akrilamid oluşum miktarını da etkilemektedir (Özkaynak ve Ova 2006).

Akrilamid en başta bitkisel esaslı gıdalar olan ısı işlem görmüş patates, hububatlar ve unlu mamüller gibi karbonhidratlı gıdalarda yüksek miktarda bulunmaktadır (Medeiros vd. 2012; Riboldi vd. 2014).Yapılan çalışmalar sonucunda ekmek, kek ve kurabiyelerde 70–430 µg/kg, bisküvi ve krakerlerde 30–3200 µg/kg, gevrek ekmeklerde 800–1200 µg/kg ve kızarmış parmak patatesten 200–12000 µg/kg, bebek ve küçük çocuklar için üretilen keklerde ise 633 µg/kg akrilamid bulunabildiği belirlenmiştir (Burdurlu ve Karadeniz 2002; Jagerstad ve Skog 2005). Gıda bileşenlerindeki farklılık, yüksek sıcaklıklar (120°C üstü), yüksek miktarda karbonhidrat içeriği, serbest asparajin, indirgen şekerler, pH, su içeriği, amonyum bikarbonat ve yüksek konsantrasyonlardaki amino asitler gibi kaynaklar akrilamid seviyesindeki farklılığı etkilemektedir (Medeiros vd. 2012).

Pişirme esnasındaki sıcaklık ve zaman kombinasyonu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır ve pişirme sıcaklığı ve zaman arasında akrilamid oluşumunu etkileyen güçlü bir korelasyon olduğu belirlenmiştir (Elmore vd. 2005; Mustafa vd. 2005; Ahrne vd. 2007; Lukac vd. 2007).

Ekmeklerin pişirilmesinde süre ve sıcaklık kombinasyonunun ve buhar uygulamasının ekmeklerin akrilamid içeriği üzerine etkisini belirlemek için yapılan bir araştırmada, düşük sıcaklık uygulamasının, kısa pişirme süresinin ve buhar uygulamasının ekmeklerin kabuğunda oluşan akrilamid miktarını önemli derecede azalttığı belirlenmiştir. Pişirmenin son 10 dakikası boyunca buhar uygulamasının ekmeklerin dış kabuk sıcaklığını düşürmesi nedeniyle akrilamid içeriğini yaklaşık %50 oranında azalttığı bildirilmiştir (Ahrne vd. 2007).

Biedermann ve Grob (2003) yaptıkları bir çalışmalarında 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda da akrilamid oluşabildiğini tespit etmişlerdir. Konvansiyonel pişirme koşullarına kıyasla sıcaklık ve nisbi nemin ayarlanmış olduğu optimize koşullarda akrilamid oluşumu %50 oranında azalmaktadır. Kondüksiyon ve radyasyon ısı transferleri, konveksiyon ısı transferli fırınlara göre akrilamidi azaltmada daha etkilidir. Bunlara ek olarak konveksiyon ve dielektrik (mikrodalga) kombinasyonlu ısı işlemler de akrilamidi azaltmada kullanılabilir uygun yöntemlerdir. Yüksek nisbi nemli ortamlarda pişirme işleminin unlu mamüllerde etkili bir akrilamid azaltma yöntemi olduğu kanıtlanmıştır (Krishnakumar ve Visvanathan 2014). Bunun sebebi ise ürün yüzeyindeki ısı transferinin, akrilamid oluşumu için önemli bir parametre olup düşük nem içeriğinin daha fazla akrilamid oluşumuna neden olmasıdır. Yapılan bir diğer çalışmada da, konveksiyon fırınların hızlı kuruma sağlaması nedeniyle, kondüksiyon

fırınlara göre daha fazla akrilamid oluşumuna neden olduğu tespit edilmiştir (Claus vd. 2008).

Ekmek üretiminde asparajin ve glisin amino asitleri ilavesinin ve fermantasyon süresinin akrilamid içeriği üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; artan asparajin dozunun doğrudan akrilamid içeriğini artırdığı ve artan fermantasyon süresi ve glisin dozunun ise akrilamid içeriğini azalttığı tespit edilmiştir (Mustafa vd. 2009).

## 2.2. Fırın Ürünlerinin Akrilamid İçeriğinin Azaltılması

Fırın ürünlerinde akrilamid içeriğinin azaltılmasında kullanılan yöntemlerden biriside, hamura asparajinaz enzimi ilave edilmesidir. Bu enzim, asparajin amino asitini aspartik asit ve amonyağa hidrolize ederek reaktant miktarını azaltmakta ve böylece daha düşük miktarda akrilamid oluşumunu sağlamaktadır (Capuano ve Fogliano 2011; Pedreschi vd. 2011). Yapılan bir çalışmada asparajinaz enzimi ilavesinin bisküvilerin akrilamid içeriğini azaltmada etkili olduğu ve son ürün rengini olumsuz etkilemediği belirlenmiştir (Anese vd. 2011). Bisküvilerde akrilamid içeriğinin azaltılmasının amaçlandığı bir başka çalışmada ise glikoz şurubu yerine sakkaroz şurubu ve kabartma ajanı olarak ise amonyum bikarbonat yerine sodyum bikarbonat kullanımının örneklerin akrilamid içeriğini %70 oranında azalttığı belirlenmiştir (Graf vd. 2006).

Aminoasit veya proteince zengin maddeler eklenmesi de gıdalardaki akrilamid içeriğini azaltmaktadır (Rydberg vd. 2003). Glisin, sistein, methionin, glutatyon ve lisin gibi aminoasitlerin akrilamid oluşumu ve yok edilmesindeki kinetiği, yapılan birçok çalışmada değerlendirilmiştir. Kraker hamuru ve patatesli hamura sistein ve methionin eklendiğinde akrilamid oluşumunun %50 oranında azaldığı belirlenmiştir (Levine ve Smith 2005).

Bir çalışmada farklı unlar kullanılarak üretilen baget ekmekler, dilimlendikten sonra ekmek kızartma makinasında kızartılmış ve asparajinaz ilavesinin ekmeklerin akrilamid içeriğini ortalama %88 oranında azaltırken, ürünün rengini ve antioksidant kapasitesini etkilemediği tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada glisin ilavesinin ise kızartılmış ekmeklerin akrilamid içeriğini azaltırken, ürünün esmerleşmesini, HMF içeriğini ve antioksidant kapasitesini arttırdığı tespit edilmiştir (Capuano vd. 2009)

Bisküvilerde pişirme sırasında akrilamid ve HMF oluşumunu inceleyen başka bir çalışmada ise 4 çeşit buğday unu ve farklı molaritede fruktoz ve glikoz oranlarının asparajine dönüşümü araştırılmıştır. Her dört bisküvi için de pişirmeden sonra elde edilen veriler akrilamid ve HMF oluşumunun asparajinle ilişkilendirilen mekanizmasına ulaşmak için kullanılmıştır. Akrilamid oluşumu için Amadori ürünleri ve şeker parçalanması olmaksızın; asparajin, dekarboksilasyon öncesi schiff bazı için öncelikle fruktozla reaksiyona girmektedir. Dört çeşit bisküvide de fruktoz, karamelizasyon sırasında akrilamid ve HMF oluşumuna katkıda bulunmuştur. Buğday unlarındaki toplam glikoz ve fruktoz konsantrasyonlarının asparajinle bağıntısında olduğu gibi pişirilmiş bisküvilerde de HMF ve akrilamid arasında net bir korelasyona ulaşılamamıştır (Nguyen vd. 2017).

Akrilamidi azaltma çalışmalarından birinde de ekmek hamurunda asparajın miktarı azaltılmış ve elenmiş tam tahıllı buğday unu (1:1) kullanılmıştır. Bu çalışmada maya miktarı, fermantasyon süresi, fermantasyon sıcaklığı ve kullanılan mayanın tipinin de etkileri test edilmiştir. Akrilamid ve akrilamid oluşumundaki temel bileşen olan asparajinin analizinde LC-MS/MS kullanılmıştır. Sonuç olarak hamurda asparajinin azaltılmasına (%68-89) fermantasyon süresi ve kullanılan maya tipi önemli derecede etkilerken, ekmeklerde akrilamidin azaltılmasına ise maya miktarı, fermantasyon süresi ve kullanılan maya tipi etkili olmuştur (Katsaiti ve Granby 2016).

Biberiye ve yeşil çay ekstraktlarından ve bambu yapraklarından elde edilen antioksidanlar da farklı derecelerde ısı işlem görmüş gıdalarda akrilamid oluşumunu önemli derecede azaltmıştır. Akrilamidin oluşum mekanizması tam olarak anlaşılmasa da antioksidanların aktif aldehitlerle etkileşime girerek akrolein oksidasyonunu engelleyerek akrilamid oluşumunu azalttığı varsayılmaktadır (Totlani ve Peterson 2006; Granby vd. 2008).

Buğday unlarında besin değerindeki eksikliği gidermek için zaman zaman farklı tane ürünler de kullanılmaktadır. Ancak, fırın ürünlerinde protein içeriği yüksek bitkisel katkıları kullanılması, akrilamid içeriğini yükseltebilmektedir. Bir çalışmada akrilamidi azaltmak için, bisküvilerde kullanılacak buğday unu lupin ve yağsız keten tohumu ile katkılanarak *Lactobacillus sakei*, *Pediococcus pentosaceus* ve *Pediococcus acidilactici* suşları ile fermente edilmiştir. Fermantasyon sonrası katkılardaki asparajın miktarındaki azalma sırasıyla ortalama olarak %67.6 ve %80.6 değerleri arasında iken indirgen şeker miktarındaki azalma ise %18 ve %79.4 olarak belirlenmiştir. Bisküvilerde akrilamidi azaltan en etkili bakteri fermantasyonu *Pediococcus acidilactici* ile sağlanmış olup bu azalma oranları keten tohumu katkısı ile %78, lupin katkısı ile ise %85 oranında sağlanmıştır (Bartkiene vd. 2016).

Hidrokolloidlerin akrilamid oluşumu üzerine etkisinin araştırıldığı bir model sistemde ayrı ayrı %2 pektin ve %2 aljinik asit ilavelerinin akrilamid içeriğini yaklaşık %50 kadar azalttığı ve ksantan gam ilavesinin ise yaklaşık %20 kadar bir azalma sağladığı belirlenmiştir (Zeng vd. 2010).

Glikoz ve asparajın içeren bir model sistemde farklı katkı maddeleri ilavesinin akrilamid oluşum hızını azaltıcı etkilerinin incelendiği bir çalışmada; ferulik asit ve kateşinin etkili olmadığı, L-sistein, kalsiyum klorür ve sodyum bisülfid katkılarının ise etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada 5 g/L CaCl<sub>2</sub> içeren ve sıcaklığı 85°C olan çözeltide 2.5 dakika bekletildikten sonra kızartılan patates cipslerinin akrilamid içeriğinin %85 oranında azaldığı belirlenmiştir (Ou vd. 2008).

Eşit molaritede fruktoz ve asparajın içeren bir model sistemde sodyum ve kalsiyum gibi tek ve çift değerlikli katyon tuzlarının akrilamid oluşumu üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, akrilamid oluşumunun sodyum tarafından yarı yarıya ve kalsiyum tarafından ise tamamen engellendiği ve kalsiyum uygulamasının patates cipslerinin akrilamid içeriğini %95 oranında azalttığı belirlenmiştir (Gokmen ve Senyuva 2007).

Yapılan başka bir çalışmada da mono ve divalent katyonlar ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ) hamura eklendiğinde akrilamid oluşumunda dikkate değer bir azalma olduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak polivalent katyonlar da ısıl işlem sırasında akrilamidi azaltabilmektedir. Bu iyonlar asparajinle reaksiyona girmekte ve schiff bazı oluşumunu engelleyerek akrilamid içeriğini azaltmaktadır (Kolek vd. 2006; Pedreschi vd. 2010).

Bir çalışmada glikoz/asparajin ve 2,4-dekadienal/asparajinden oluşan iki farklı model sistemde bir aminofosfolipit olan dipalmitilfosfotidiletanolamin (PE) ve lesitinin akrilamid azaltıcı etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada akrilamid içeriğinin glikoz-asparajin model siteminde PE tarafından %59 ve lesitin tarafından ise %35 kadar azaltıldığı tespit edilmiştir (Zamora vd. 2011).

Haşlama işlemi de patates cipsleri için kızartmadan önce indirgen şekerleri yıkaması nedeniyle akrilamid oluşumunu azaltması yönünden önemli bir aşamadır.  $70^\circ\text{C}$ 'de 10-15 dk haşlamak akrilamid oluşumunu patates kızartmalarında %65, patates cipslerinde ise %96 oranında azaltmaktadır (Samir vd. 2013). Akrilamid oluşumu kızartma işleminin sonunda meydana gelen Maillard reaksiyonu ile oluşan renk oluşumu ile ilişkilendirilmiştir. Yoğun kızartma koşulları (sıcaklık ve zaman) daha koyu renkli patates kızartmalarına, dolayısıyla yüksek oranda akrilamid oluşumuna sebebiyet vermektedir. Akrilamid oluşumunun azaltılmasında kızartma sıcaklığı  $175^\circ\text{C}$ 'den düşük olmalıdır. Düşük basınçlı ortamlarda vakumlu tavalarda kızartma işlemi de akrilamidi azaltmada yüksek başarı göstermektedir (Granda vd. 2004).

Patates cipsi üretiminin bir ön işlemi olan haşlama aşamasında, haşlama suyuna ilave edilen kalsiyum iyonları, sodyum pirofosfat, glisin ve lizin amino asitleri ve bazı organik asitlerin (sitrik asit, asetik asit ve laktik asit) ürünün akrilamid içeriğini önemli derecede azalttığı rapor edilmiştir (Mestdagh vd. 2008). Bu çalışmada dondurulmuş parmak patateslerin mikrodalgada çözüldürüldükten sonra  $170$ ,  $180$  ve  $190^\circ\text{C}$  sıcaklıklarda kızartılmasıyla elde edilen ürünlerin akrilamid içeriğinin kontrol örneklerine göre sırasıyla %10, %89 ve %64 oranlarında daha az olduğu tespit edilmiştir.  $170^\circ\text{C}$ 'deki sıcaklık uygulamasında akrilamid içeriğindeki azalışın düşük olmasının nedeninin ise bu bileşiğin oluşumunun  $175^\circ\text{C}$  ve üstü sıcaklıklarda artması nedeniyle olabileceği bildirilmiştir (Tuta vd. 2010).

Tortilla cipsleri üretilirken tortillanın su aktivitesi değeri ve akrilamid içeriği arasında bir bağlantı kurmayı amaçlayan bir çalışmada; tortilla parçaları  $30^\circ\text{C}$ 'de 0.11-0.84 su aktivitesinde 4 gün boyunca depolanmış ve daha sonra  $180^\circ\text{C}$ 'de 25 saniye kızartılmıştır. En düşük akrilamid içerikleri depolanmamış olan tortilladan ( $a_w=0.98$ ) yapılan cipslerde ve 0.53 su aktivitesi değerinde depolanmış olan tortilladan yapılan cipslerde belirlenmiştir (Delgado vd. 2014).

Kükürt içeren bir amino asit olan taurinin Maillard reaksiyonu üzerine inhibe edici etkide bulunarak ürünün akrilamid içeriğini azaltabildiği bildirilmiştir (Shin vd. 2010). Kükürt atomu, azota göre daha nükleofilik olduğu için sülfidril grubu indirgen şekerlerin karbonil grubuna bağlanma hızı, amino grubunun bağlanma hızından 200-300 kez daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Burdurlu ve Karadeniz 2002). İndirgen şekerlerin karbonil atomlarının, bir inhibitör madde tarafından bloke edilmesi Maillard reaksiyonunun gerçekleşmesini engellemektedir. Kükürtlü bileşikler, kükürt elementinin

nükleofilik özellikleri nedeniyle karbonil karbonlara bağlanmada aminlerden öncelikli olmakta ve bu özellikleri ile de Maillard reaksiyonunu inhibe etmektedirler (Isaac vd. 2006).

Bazı akrilamid azaltma yöntemleri ise gıdaların organoleptik özelliklerini de değiştirmektedir. Bir aminoasit olan glisinin akrilamid azalışını sağlamak için katkı maddesi olarak kullanılması üründe aşırı esmerleşmeye ve istenmeyen lezzet gelişimine neden olmaktadır. Üründe istenmeyen bu gelişmeler kaliteyi ve tüketici memnuniyetini olumsuz etkilemektedir. Tüketiciler duyuşal özelliklerinin kabul edilebilir düzeyde olmayışı nedeniyle iyileştirilmiş ürünleri değil alışlagelmiş olanları tercih etmektedir (Capuano ve Fogliano 2011).

Akrilamid miktarını azaltma çalışmaları sırasında gıdaların olumlu özelliklerinin kaybedilmemesine ve/veya yeni risklerin oluşmamasına dikkat edilmelidir. Ekmeklerde maya fermentasyon süresinin uzatılmasının akrilamid konsantrasyonunu etkili bir şekilde azalttığı bildirilmiş olmakla birlikte, bir kanserojen olduğu bilinen 3-monokloropropandiol (3-MCPD) bileşiğı de ortamdaki maya faaliyeti sonucu arttığı belirlenmiştir (Mustafa vd. 2009; Capuano ve Fogliano 2011).

Akrilamidi azaltma yöntemlerinden farklı olarak, akrilamidi üründen uzaklaştırma mekanizmaları üzerine ise daha fazla araştırmalar yapılması gerekmektedir (Capuano ve Fogliano 2011). Son ürüne vakum uygulanarak bisküvi ve patates cipsinden akrilamid uzaklaştırmayı amaçlayan bir çalışmada; ürünlerin su aktivitesi 0.83 değerinden daha yüksek iken 60°C'de, 5-15 dk süre ile 6.67pa vakum uygulamasının bisküvilerde %43'lük ve patates cipslerinde %18'lik bir akrilamid azalışı sağladığı bildirilmiştir (Anese vd. 2010).

Yapılan bir çalışmada ise kurabiyeleri vakumla pişirme yönteminin akrilamid oluşumunu azalttığı mekanizma konvansiyonel pişirme ve vakum kombineli pişirme yöntemleri sırasında sürekli olarak ortalama yüzey sıcaklıkları ölçülerek açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışma sırasında atmosferik ortam ve vakumlu ortamlardaki ısı transfer kat sayısı da belirlenmiştir. Dairesel kurabiye hamuru örnekleri (0.3x5 cm) 180°C'de atmosferik basınç altında (101kPa) veya atmosferik basınç ve düşük basınç kombinasyonlu (61 kPa ve 41 kPa) ortamlarda pişirilmiştir. Pişirme süresi kurabiyeler için uygun nem içeriğı olan %3-3.5 değerine ulaşmalarına göre ayarlanmıştır. Yüzey ve iç sıcaklıkları yapılan pişirme uygulamasına göre ayrı ayrı termal kamera ile ölçülmüştür. Vakum kombinasyonu ile pişirilen kurabiyelerin akrilamid içeriğı ortalama 300 µg/kg olarak bulunmuştur. Bu da konvansiyonel yöntemle pişirilen kurabiye örnekleriyle kıyaslandığında (445 µg/kg) vakum kombinasyonu ile pişirilen kurabiye örneklerinin %30 daha az akrilamid içeriğine sahip olduğunu göstermiştir (Yıldız vd. 2017).

Depolamanın öğütülmüş gevrek çavdar ekmeklerinin akrilamid içeriğı üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, negatif sıcaklıklarda depolamanın akrilamid içeriğinin azalması üzerine bir etkisinin olmadığı, 20 ve 40°C'lerde 70 gün depolamanın ise sırasıyla akrilamid içeriğinde %22 ve %29 oranında bir azalma sağladığı ve bu azalışın 40°C'de örneklerin artan nem içeriğı ile %80'e kadar ulaştığı tespit edilmiştir (Mustafa vd. 2008).



Anaerobik gaz uygulamasının da Maillard reaksiyonu hızını yavaşlattığı bilinmektedir. Bu yöntemle ortamda bulunan oksijen uzaklaştırılarak oluşan karbonilli bileşik sayısı azaltılmakta ve böylelikle daha az sayıda karbonilli bileşimin aminoasitlerle reaksiyona girerek Maillard reaksiyonunun oluşum hızını yavaşlattığı belirlenmiştir (Eskin 1990; Burdurlu ve Karadeniz 2002; Kim ve Lee 2003).

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Araştırmada ilgili yasal hükümlere uygun olarak üretilmiş olan ekmeklik un, maya, tuz ve iyi kalitede içme suyu kullanılmıştır. Kimyasal malzemeler, analizin niteliğine göre analitik veya kromatografik saflıklarda temin edilmiştir.

#### 3.2. Metot

##### 3.2.1. Deneysel ekmek üretimi

2000 g un, 80 g maya, 30 g tuz ve 1200 mL su hamur yoğurma makinesine (Ayhandemir, Konya, Türkiye) aktarılmış ve 20 dakika yoğrularak hamur haline getirilmiştir (Elgün ve Ertugay 2002).

Yoğrulduktan sonra makinadan alınan hamur 30 dakika kitle fermantasyonuna bırakılmıştır. Fermantasyon sonunda küçük yuvarlak ekmek (roll ekmeği) üretmek üzere 70 g ağırlığında hamurlar kesilerek, küresel şekil verilmiş ve 15 dk ara fermantasyon uygulandıktan sonra elle tekrar şekil verilen hamurlar tavaya alınmıştır. Tavaya alınmış olan hamurlar sıcaklığı 32°C ve nisbi nemi %85 olan fermantasyon kabininde 1 saat süre ile son fermantasyona bırakılmıştır.

##### 3.2.2. Farklı gaz ortamlarının sağlanması ve ekmeklerin pişirilmesi

Pişirme kabinlerinin içerisinde farklı gaz ortamlarının sağlanması için, kabinin içerisi 1 cm çapındaki delikli metal boru ile çevrelenmiştir. Kabinlerin içerisi ilgili gazı içeren tüpten pişirme işleminden önce beslenmeye başlanarak doldurulmuş ve ayrıca pişirme işlemleri boyunca da atmosfere karşı bir pozitif gaz basıncı sağlayacak şekilde ilgili gaz beslenmeye devam edilmiştir. Böylelikle kabinlerin başlangıç doğal atmosferleri önceden ilgili gazlarca oksijen içeriğini en aza indirecek kadar süre ile süpürülerek fırın bacasından dışarı atılmış, kabinlerin içerisinin ilgili gazla sürekli beslenmesiyle de dışarıdan hava giremeyeceği için pişirme süreleri boyunca hedeflenen farklı gaz ortamları sağlanmıştır.

Fermantasyon süresi sonunda alınan hamurlar, önceden 250°C'lik pişirme sıcaklığına ayarlanmış ekmek fırınında (Fimak, Konya, Türkiye) 20 dk süre ile pişirilmiştir. Ekmekler; N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> olmak üzere üç farklı gaz ortamında üretilmiştir. Kontrol ekmek örneği ise atmosferik gaz ortamı kullanılarak normal şartlarda 250°C' de 20 dk pişirme sonunda elde edilmiştir (Şekil 3.1).

Üretilen ekmeklerin fiziksel ve duyu analizleri pişirme sonunda oda sıcaklığına getirildikten sonra aynı gün içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ekmeklerin kimyasal analizleri ise soğutulduktan sonra öğütülen ve -18°C'de depolanan tüm ekmek örneklerinde yapılmıştır.



**Şekil 3.1.**Deneme ekmeklerinin üretimi. a) Ekmek hamurunun yoğurulması; b) Fırın içine yerleştirilen gaz kanalı; c) Farklı gaz ortamında pişirme (karbondioksit gazı) d) Farklı gaz ortamında pişirme (Azot gazı) e)Pişirme ortamı f) Elde edilen roll ekmekler

### 3.3. Deneme Ekmeklerinde Yapılan Fiziksel Analizler

#### 3.3.1. Renk ölçümü

Ekmeklerin rengi, renk ölçer (Chromameter CR-400, KonicaMinolta, Japonya) kullanılarak, kabuk ve içte ayrı ayrı olarak farklı 5 noktadan ölçüm alındıktan sonra  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin ölçülmesi ile belirlenmiştir.

#### 3.3.2. Spesifik hacmin belirlenmesi

Ekmeklerin spesifik hacim değerleri, kolza tohumu ile yer değiştirme prensibine göre ölçülmüştür. Spesifik hacim; ekmek hacminin, ağırlığına bölümü ile  $\text{cm}^3/\text{g}$  olarak tespit edilmiştir (Elgün vd. 2002).

#### 3.3.3. Tekstürel kabuk sertliği

Ekmeklerde tekstürel kabuk sertliği, tekstür analiz cihazı (TA, Stable Micro systems, Godalming, Surrey, UK) kullanılarak yapılmıştır. Bütün ekmeklerde kabuk sertliği analizi 100 mm ölçüsünde silindir prob ve 5 kg'lık yük hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test öncesi prob hızı 2 mm/s, test hızı 3 mm/s, test sonrası hızı 3 mm/s, bekleme süresi 5 s, tetik kuvveti 10 g, uzaklık ise %50 deformasyon olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Gambaro vd. 2002).

### 3.4. Deneme Ekmeklerinde Yapılan Kimyasal Analizler

#### 3.4.1. Kurumadde analizi

Öğütülmüş tam ekmek örneklerinden 3g tartılarak 105°C'de sabit tartıma gelinceye kadar kurutma kabininde bekletilmiştir (Elgün vd. 2002; AACC 2003).

#### 3.4.2. Akrilamid analizi

Akrilamid analizi için 2.5 g öğütülmüş tam ekmek örneği, 5 mL saf su ve 10mLasetonitril ilave edilerek homojenize edilmiştir. Akrilamid ekstraksiyonu için homojenize edilen örnek, QuEChERS kartuşu içerisine aktarılmış ve 1 dk girdap karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından kartuşlar 3000 rpm dönüş hızında 3 dk karıştırılmış ve faz ayrımı gerçekleşmesi sağlanmıştır. Üst fazdan alınan 2 mL süpernatant, azot altında kurutulduktan sonra tüp tabanında kalan örnek tabakası 1 mL saf su ilave edilerek çözülmüştür. Örnek çözeltisi 0.22 µm filtreden geçirildikten sonra 20 µL örnek LC-MS sistemine (ThermoScientific, TSQ Quantum Access MAX, ABD) enjekte edilmiştir.

Analiz sırasında hareketli faz olarak %0.1 formik asit içeren ultra saf su (A) ve metanol (B) kullanılmış olup isokratik akış ise 0.25mL/dk olarak ayarlanmıştır. Ayırıcı kolon olarak ise Thermo Hypersil Gold kolon (1.9 µm, 50 x 2.1 cm) kullanılmıştır (De Paola vd. 2017).

#### 3.4.3. HMF analizi

HMF analizi için tartılan 0.5 g tam ekmek örneği üzerine 5 mL saf su ilave edilerek 11000 rpm dönüş hızında ultratüraks (IKA, Staufen, Germany) ile 1 dk homojenize edilmiştir. Homojenize edilen örnek üzerine 0.25 mL Carrez I ve Carrez II çözeltilerinden ayrı ayrı eklendikten sonra çökelti 7500xg dönüş hızında 10 dk santrifüj edilerek uzaklaştırılmıştır. Elde edilen berrak süpernatant saf su ile 10mL'ye tamamlanmış ve 0.45µm filtreden geçirildikten sonra HPLC sistemine (20AD, Shimadzu, Kyoto, Japonya) 20 µL olarak enjekte edilmiştir.

Analiz sırasında hareketli faz olarak %5'lik asetonitril:su karışımı kullanılmış olup akış ise 1 mL/dk olarak ayarlanmıştır. HMF ayrımı, C<sub>18</sub> kolon (5µm, 25 x 0.4cm) ile yürütülmüş olup, tespiti ise dedektörde (SPDM20A DiodeArrayDetector, Shimadzu, Kyoto, Japonya) 280nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. HMF miktarı hazırlanan standart kurvenin eğiminden kurumadde bazında hesaplanmıştır (Rufian-Henares vd. 2009).

### 3.5. Duyusal analiz

Üretilen ekmekler; kabuk rengi, tekstür, koku, tat ve kabul-ret açısından duyusal panel konusunda bilgilendirilmiş 10 adet Gıda Mühendisliği lisansüstü öğrencisi tarafından duyusal değerlendirmeye alınmıştır. Duyusal değerlendirme her kriter için 1 (en az beğenilen) ve 5 (en çok beğenilen) arasında puanlandırma ile yapılmıştır (Şekil

3.2). Sonuçlar, kontrol örnekleri ile karşılaştırılarak uygulamaların ekmeğin duyuşal özellikleri üzerine etkisi belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Üretilen ekmekler için hazırlanan duyuşal panel

### 3.6. İstatistiksel analizler

Araştırma denemesi, fermente hamurların farklı gaz ortamlarında (atmosferik ortam, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub>) pişirilmesiyle elde edilen ekmekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Denemede atmosferik ortam kontrol ekmeklerin üretimi için kullanılmıştır. Deneme iki tekerrürlü; analizler ise paralelli olarak yapılmıştır. Verilere varyans analizi ve önemli bulunan faktörlere Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi uygulanmıştır. Tüm istatistik hesaplamalar SAS istatistik programı ile gerçekleştirilmiş olup değerler ortalama ± standart sapma şeklinde düzenlenmiştir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Üretilen Ekmeklerin Fiziksel Analiz Sonuçları

#### 4.1.1. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin spesifik hacim özellikleri üzerine etkisi

Denemede üretilen ekmeklerin spesifik hacim değerlerine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.1’de ve bunlara uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan ekmeklerin spesifik hacim değerleri üzerine inert ve inhibitör gaz ortamlarında pişirme uygulamasının istatistiki olarak önemli ( $p>0.05$ ) bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Farklı gaz ortamında üretilen ekmekler kontrol örneği ile benzer spesifik hacim değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ise pişirme ortamı atmosferinin ekmeklerin hacim özellikleri üzerine bir etkisinin olmadığını göstermiştir.

Üretim sonunda elde edilen ekmeklerin ortalama spesifik hacim değeri  $3.12 \text{ cm}^3/\text{g}$  olarak belirlenmiştir. Spesifik hacim değeri ekmek diliminin kalitesi ve ağırlığı hakkında fikir verdiği için önemli bir parametredir (Mudgil vd 2016). Ekmeğin hacmi, fermantasyon sırasında ekmek mayasının ürettiği karbondioksit gazının pişirme sırasında ortaya çıkan ve fırın sıçraması olarak adlandırılan hızlı sıcaklık artışı nedeniyle genişmesi sonucu oluşmaktadır. Benzer spesifik hacim değerleri yapılan diğer çalışmalarda da elde edilmiştir (Mudgil vd. 2016; Sharafi vd. 2017).

**Çizelge 4.1.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin spesifik hacim değerleri ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) üzerine etkisi (I. ve II. tekerrür)

	Farklı gaz ortamı uygulamaları			
	Kontrol	Azot	Karbondioksit	Kükürt dioksit
Spesifik hacim	3.43	3.40	3.05	2.90
	2.94	3.23	2.88	3.10

**Çizelge 4.2.** Ekmeklerin spesifik hacim değerlerine ait varyans analizi sonuçları

V.K.	S.D.	K.O.	F
Uygulama	3	0.05	1.25
Hata	4	0.04	

#### 4.1.2. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin renk özellikleri üzerine etkisi

Ekmek kabuk ve içinin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  renk değerlerine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.3’te, bunlara uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.4’te ve önemli bulunan varyasyon kaynakları ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Ekmek örneklerinin varyans analiz sonuçlarına göre; farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmek kabuklarının  $L^*$  ve  $a^*$  renk değerleri üzerine önemli ( $p < 0.01$ ;  $p < 0.05$ ) bir etkisinin olduğu ancak  $b^*$  renk değeri üzerine önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmek için yalnızca  $a^*$  renk değerleri üzerine önemli ( $p < 0.05$ ) bir etkisinin olduğu ve  $L^*$  ve  $b^*$  renk değeri üzerine önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; en yüksek  $L^*$  ve en düşük  $a^*$  değerinin kükürtdioksit atmosferi altında pişirilen ekmek kabuklarında ölçüldüğü belirlenmiştir. Kükürtdioksit ortamında pişirme işlemi örneklerin renginin açık olmasına ve böylece  $L^*$  değerinin yüksek,  $a^*$  değerinin ise düşük olmasına neden olmuştur.  $L^*$  değeri, 100=beyaz ve 0=siyah olarak gruplandırılan bir renk skalasıdır.  $L^*$  değerinde meydana gelen bir artış rengin parlak ve beyaz renkli olması anlamına gelmektedir (Cemeroğlu 2007).

**Çizelge 4.3.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmek kabuğunun renk değerleri üzerine etkisi (I. ve II. tekerrür)

Farklı gaz ortamı uygulamaları	Renk değeri		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$
	Kabuk	Kabuk	Kabuk
Kontrol	49.62	15.74	31.48
	48.65	16.94	32.56
Azot	63.19	10.01	33.13
	60.24	11.84	34.63
Karbondioksit	57.79	12.93	29.95
	54.62	13.78	33.62
Kükürtdioksit	69.27	1.76	28.82
	73.10	2.37	30.22

**Çizelge 4.4.** Ekmek kabuğunun renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları

V.K.	SD	Kabuk							
		$L^*$			$a^*$			$b^*$	
		KO	F		KO	F	KO	F	
Uygulama	3	173.1	40.34*		75.61	103.1**	6.39	2.68	
Hata	4	4.29			0.73		2.38		

**Çizelge 4.5.**Ekmek kabuğunun renk değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Renk değeri	
	L*	a*
	Kabuk	Kabuk
Kontrol	49.1 <sup>c</sup> ± 0.7	16.3 <sup>a</sup> ± 0.8
Azot	61.7 <sup>b</sup> ± 2.1	10.9 <sup>c</sup> ± 1.3
Karbondioksit	56.2 <sup>b</sup> ± 2.2	13.4 <sup>b</sup> ± 0.6
Kükürtdioksit	71.2 <sup>a</sup> ± 2.7	2.1 <sup>d</sup> ± 0.4

Ekmek kabuk renginin oluşmasından birinci derecede Maillard reaksiyonları sonucu oluşan melanoidinler sorumlu olmaktadır. İleri derecede oluşan Maillard reaksiyonları, ekmek örneklerinin  $L^*$  renk değerlerinin azalarak koyulaşmasına ve  $a^*$  değeri ile ifade edilen kırmızılık değerinde yükselmesine neden olmaktadır. Bu araştırmada yapılan renk analizi sonuçlarına göre en yüksek  $L^*$  ve en düşük  $a^*$  renk değerinin kükürtdioksit atmosferi altında pişirilen ekmek örneklerinde elde edilmiş olması, ilgili gaz ortamının Maillard reaksiyonlarını önemli derecede yavaşlattığını göstermektedir. Kükürtdioksitin, Maillard reaksiyonlarını inhibe edici etkileri yapılan bazı çalışmalarda ortaya koyulmuştur (Isaac vd. 2006). Yapılan bir çalışmada artan dozlarda ekmeğe ilave edilen sodyum metabisülfite, ekmek kabuğunun  $L^*$  değerini arttırırken  $a^*$  değerinde ise bir düşüşe neden olduğu bildirilmiştir (Erbaş vd. 2012).

#### 4.1.3. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin kabuk sertliği üzerine etkisi

Farklı gaz ortamında üretilen ekmeklerin, kabuk sertliği özelliğine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.6'da, bu verilere uygulanan varyans analizi sonuçları ise Çizelge 4.7'de ve önemli bulunan varyasyon kaynakları ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Ekmek örneklerinin varyans analiz sonuçlarına göre; farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin kabuk sertliği üzerine önemli ( $p < 0.01$ ) bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; en yüksek kabuk sertliği değeri 4533 g değeri ile kontrol örneğinde elde edilirken en düşük sertlik örneği ise 277.67 g değeri ile kükürtdioksit atmosferi altında pişirilen ekmek örneklerinde elde edilmiştir.



**Çizelge 4.6.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin kabuk sertliği özelliği üzerine etkisi (I. ve II. tekerrür)

Uygulama	Kabuk sertliği (g)
Kontrol	5283
	3782
Azot	2747
	1817
Karbondioksit	3070
	1730
Kükürtdioksit	282
	272

**Çizelge 4.7.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin kabuk sertliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları

V.K.	SD	Kabuk sertliği	
		KO	F
Uygulama	3	6043318	9.8*
Hata	4	614522	

**Çizelge 4.8.** Ekmeklerin kabuk sertliği değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Kabuk sertlik (g)
Kontrol	4533.0 <sup>a</sup> ± 1061
Azot	2282.6 <sup>b</sup> ± 657
Karbondioksit	2400.8 <sup>ab</sup> ± 947
Kükürtdioksit	277.67 <sup>c</sup> ± 7

Ekmeğin sertliği kabuğundan kaynaklanmaktadır. Sertliğin kükürtdioksit ortamında pişirilen ekmeklerde düşük değerde tespit edilmiş olması bu ortamın Maillard reaksiyonunu engellemesi ve bunun da ekmek kabuğu sertliğinin azalmasına neden olmuş olabileceği şeklinde değerlendirilmiştir.

## 4.2. Üretilen Ekmeklerin Kimyasal Analiz Sonuçları

### 4.2.1. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin kurumadde özellikleri üzerine etkisi

Denemede üretilen ekmeklerin kuru madde içeriklerine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.9'da, bu verilere uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Ekmeğin örneklerinin varyans analiz sonuçlarına göre; farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin kurumadde değerleri üzerine önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisinin

olmadığı tespit edilmiştir. Araştırmada deneme ekmeklerinin ortalama kurumadde %73.96 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.9.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin kurumadde içeriği üzerine etkisi (I. ve II. tekerrür)

	Farklı gaz ortamı uygulamaları			
	Kontrol	Azot	Karbondioksit	Kükürt dioksit
Kurumadde	76.86	75.76	71.36	72.34
	76.50	75.72	70.98	72.21

**Çizelge 4.10.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin kurumadde değerlerine ait varyans analizi sonuçları

V.K.	S.D.	K.O.	F
Uygulama	3	14.12	383.40
Hata	4	0.03	

#### 4.2.2. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin akrilamid içeriği üzerine etkisi

Denemede üretilen ekmeklerin akrilamid içeriklerine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.11’de, bu verilere uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12’de ve önemli bulunan varyasyon kaynakları ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.13’te verilmiştir.

Ekmek örneklerinin varyans analiz sonuçlarına göre; farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin akrilamid içeriği üzerine önemli ( $p < 0.01$ ) bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; azot ve karbondioksit ortamlarında pişirme işlemi ekmeklerin akrilamid içeriğini %50’den fazla, kükürtdioksit ortamında pişirme ise %99’dan fazla azalttığı tespit edilmiştir. Azot ve karbondioksit ortamı pişirme sırasında oksijen içermediği ve kükürtdioksit ortamı ise ilave olarak inhibitör gaz içerdiği için akrilamid oluşumunu önemli derecede azaltıcı etki göstermiş oldukları değerlendirilmiştir. Kükürtdioksit ortamının akrilamid oluşumunu neredeyse tamamen engellemiş olmasının kükürt atomunun, nükleofilik özellikleri nedeniyle amino grubu bileşiklerden önce şekerlerin karbonil grubuna bağlanarak Maillard reaksiyonunu inhibe etmesinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Yapılan bir çalışmada ekmek hamuruna sodyum metabisülfid ilavesinin akrilamid içeriğini yaklaşık 3 kat oranında azalttığı bildirilmiştir (Erbaş vd. 2012). Yuan vd. (2011) sarımsağın etkin maddesi olan allil sülfür ilavesinin model sistemde akrilamid oluşumunu %50’nin üzerinde azalttığını tespit etmiştir.

**Çizelge 4.11.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin akrilamid içeriği ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) üzerine etkisi (I. ve II. tekerrür)

	Uygulama			
	Kontrol	Azot	Karbondioksit	Kükürt dioksit
Akrilamid	39.96	17.90	18.89	0.26
	38.10	20.97	16.33	0.23

**Çizelge 4.12.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin akrilamid içeriğine ait varyans analizi sonuçları

V.K.	SD	KO	F
Uygulama	3	503.39	207.40**
Hata	4	2.43	

**Çizelge 4.13.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin akrilamid içeriğine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Akrilamid ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Kontrol	$39.03^a \pm 0.93$
Azot	$19.44^b \pm 1.53$
Karbondioksit	$17.61^b \pm 1.28$
Kükürtdioksit	$0.25^c \pm 0.02$

#### 4.2.3. Farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin HMF içeriği üzerine etkisi

Denemede üretilen ekmeklerin HMF içeriklerine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.14'te, bu verilere uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.15'de, önemli bulunan varyasyon kaynakları ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Ekmek örneklerinin varyans analiz sonuçlarına göre; farklı gaz ortamlarında pişirme işleminin ekmeklerin HMF içeriği üzerine önemli ( $p < 0.01$ ) bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; en düşük HMF içeriği kükürtdioksit atmosferi altında pişirilen ekmek örneklerinde elde edilmiştir. Bu sonuçların oksijen yokluğunun Maillard reaksiyonunu yavaşlatıcı etkisinden dolayı olduğu değerlendirilmiştir.

Akrilamid ve HMF Maillard reaksiyonu sonucu oluşan toksik bileşiklerdir. Bisküvilerde pişirme sırasında akrilamid ve HMF oluşumunu inceleyen bir araştırmada bisküvilerde akrilamid ve HMF oluşumlarıyla ilgili net bir korelasyon belirlenmemiştir (Nyugen vd. 2017). Bu araştırmada da belirlendiği gibi her iki bileşikte Maillard reaksiyonu ile oluşmasına rağmen reaksiyon sırasında akrilamid ve HMF oluşum hızları ve miktarları farklı olabilmektedir. Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasıyla özellikle kükürtdioksit gaz ortamında pişirilen ekmeklerde akrilamid oluşumu

neredeşye tamamen engellenebilirken, HMF oluşumunun sınırlı oranda azaltılabildiği tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.14.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin HMF içeriği (mg/kg) üzerine etkisi (I. ve II. tekerrür)

	Uygulama			
	Kontrol	Azot	Karbondioksit	Kükürtdioksit
HMF	17.01	17.17	15.42	14.86
	16.92	17.03	16.34	14.82

**Çizelge 4.15.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin HMF içeriğine ait varyans analizi sonuçları

V.K.	SD	KO	F
Uygulama	3	2.23	20.75**
Hata	4	0.10	

**Çizelge 4.16.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin HMF içeriğine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	HMF (mg/kg)
Kontrol	16.97 <sup>a</sup> ± 0.06
Azot	17.11 <sup>a</sup> ± 0.09
Karbondioksit	15.88 <sup>b</sup> ± 0.65
Kükürtdioksit	14.85 <sup>c</sup> ± 0.02

### 4.3. Üretilen Ekmeklerin Duyusal Analiz Sonuçları

Denemede üretilen ekmeklerin duyusal özelliklerine ait I. ve II. tekerrür verileri Çizelge 4.17’de, bu verilere uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.18’de ve önemli bulunan varyasyon kaynakları ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Ekmek örneklerinin varyans analiz sonuçlarına göre; duyusal özelliklerinden olan kabuk rengi, şekil simetrisi, kabuk ve kenar özelliği, iç rengi ve tekstür özellikleri üzerine farklı gaz ortamı uygulamasının önemli ( $p < 0.01$ ;  $p < 0.05$ ) bir etkisinin olduğu ancak diğer özellikleri üzerine önemli ( $p > 0.05$ ) bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Farklı gaz ortamında pişirme uygulamasının ekmeklerin genel tat ve aroma özelliklerini istatistiksel olarak olumsuz etkilemediği ve kontrol örneği ile benzer duyusal özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. Kükürtdioksit gaz ortamında pişirilen ekmek örneklerinin ise duyusal tekstürü bakımından diğer ekmeklere göre daha kabul edilebilir olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 4.17.** Farklı gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekmeklerin duyuşal özellikleri üzerine etkisi (I. ve II. tekerrür)

Ekmek dış özellikleri					
Uygulama	Renk	Simetri	P. düzgünlüğü	Kab.-ken. oranı	Hacim
Kontrol	3.5	3.0	3.5	2.9	2.6
	3.6	3.5	3.8	2.7	2.8
Azot	2.6	2.8	3.1	2.7	2.8
	2.3	3.1	3.2	2.3	3.7
Karbon dioksit	3.8	3.4	3.9	3.3	3.1
	3.3	3.5	3.5	3.1	3.0
Kükürtdioksit	2.5	4.2	3.4	4.0	4.3
	2.4	4.1	3.7	3.5	4.0
Ekmek iç özellikleri					
Uygulama	Renk	Aroma	Tat	Çiğnenme	Tekstür
Kontrol	3.9	3.4	3.3	2.1	2.4
	4.0	3.3	2.8	2.0	2.1
Azot	3.8	3.6	3.4	2.8	2.6
	3.8	2.3	2.6	1.8	2.2
Karbon dioksit	4.1	3.5	3.3	2.6	2.8
	4.0	2.6	2.6	2.4	2.7
Kükürtdioksit	3.1	3.3	3.2	3.4	3.7
	3.5	1.9	1.9	2.8	3.2

**Çizelge 4.18.** Farklı gaz ortamlarında pişirilen ekmeklerin duyuşal özelliklerine ait varyans analizi sonuçları

Ekmek dış özellikleri											
		Renk		Simetri		Pişme düzgünlüğü		Kabuk-kenar oranı		Hacim	
V.K.	SD	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Uygulama	3	0.81	17.9**	0.52	11.5*	0.12	2.85	0.58	9.4*	0.76	6.44
Hata	4	0.04		0.04		0.04		0.06		0.12	
Ekmek iç özellikleri											
		Renk		Aroma		Tat		Çiğnenme		Tekstür	
V.K.	SD	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Uygulama	3	0.22	9.85*	0.19	0.34	0.10	0.27	0.40	2.28	0.57	8.96*
Hata	4	0.02		0.56		0.38		0.18		0.06	

**Çizelge 4.19.** Farklı gaz ortamlarında pişirilen ekmeklerin duyuşal özelliklerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Kabuk rengi	Simetri	Kabuk/kenar oranı	İç rengi	Tekstür
Kontrol	3.55 <sup>a</sup> ±0.07	3.25 <sup>b</sup> ±0.35	2.80 <sup>b</sup> ±0.14	3.95 <sup>a</sup> ±0.07	2.25 <sup>b</sup> ±0.21
Azot	2.45 <sup>b</sup> ±0.21	2.95 <sup>b</sup> ±0.21	2.50 <sup>b</sup> ±0.28	3.80 <sup>a</sup> ±0.00	2.40 <sup>b</sup> ±0.28
Karbon dioksit	3.55 <sup>a</sup> ±0.35	3.45 <sup>b</sup> ±0.07	3.20 <sup>ab</sup> ±0.14	4.05 <sup>a</sup> ±0.07	2.75 <sup>ab</sup> ±0.07
Kükürtdioksit	2.45 <sup>b</sup> ±0.07	4.15 <sup>a</sup> ±0.07	3.75 <sup>a</sup> ±0.35	3.30 <sup>b</sup> ±0.28	3.45 <sup>a</sup> ±0.35

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, ekme örnekleri normal atmosfer, azot, karbondioksit ve kükürtdioksit gazı olmak üzere dört farklı gaz ortamında 250°C'de 20 dk süre ile pişirilmiştir. Bu şekilde üretilen ekmelerde spesifik hacim, renk, tekstür profili, kurumadde, akrilamid, HMF ve duyusal analizler gerçekleştirilmiştir.

- Ekmelerin spesifik hacim değerleri üzerine inert ve inhibitör gaz ortamlarında pişirme uygulamasının istatistikî olarak önemli ( $p>0.05$ ) bir etkisinin olmadığı belirlenmiş olup ekmelerin ortalama spesifik hacim değerleri 3.12 cm<sup>3</sup>/g olarak tespit edilmiştir.
- Elde edilen sonuçlardan ekme kabuğunun renk değerleri üzerine inert ve inhibitör gaz ortamlarında pişirme uygulamasının istatistikî olarak önemli etkilerinin ( $p<0.01$ ;  $p<0.05$ ) olduğu ve en yüksek  $L^*$  değerinin kükürtdioksit gazı altında pişirilen ekmelerde elde edildiği tespit edilmiştir.
- Ekmelerin tekstürel değerlerinden kabuk sertliği için inert ve inhibitör gaz ortamlarında pişirme uygulamasının istatistikî olarak önemli bir etkisinin ( $p<0.05$ ) olduğu ve en düşük sertlik değerinin kükürtdioksit gazı altında pişirilen ekmelerde elde edildiği tespit edilmiştir.
- Farklı gaz ortamlarında pişirilen ekme örneklerden en düşük ( $p<0.01$ ) akrilamid içeriğinin 0.25 µg/kg değeri ile kükürtdioksit gazı altında pişirilen ekmelerde elde edildiği tespit edilmiştir.
- Ekmelerin inert ve inhibitör gaz ortamlarında pişirme uygulamasının ekme HMF içeriğine istatistikî olarak önemli bir etkisinin ( $p<0.01$ ) olduğu ve en düşük HMF içeriğinin 14.85 mg olarak kükürtdioksit gazı altında pişirilen ekmelerde elde edildiği tespit edilmiştir.
- Ekmelerin duyusal özellikleri değerlendirildiğinde ise farklı gaz ortamı uygulamalarının ekmelerin genel tat ve aroma özelliklerini olumsuz olarak etkilemediği ve kontrol örneği ile benzer duyusal özellikler gösterdiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak ekme üretiminde pişirme ortamında kükürtdioksit gaz uygulamasının ekmekte meydana gelen Maillard reaksiyonlarını engelleyerek, akrilamid ve HMF içeriğinde önemli bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kullanılan farklı gazlar ekmelerde herhangi bir olumsuz duyusal etkiye neden olmayarak kontrol ekme örneği ile benzer sonuçlar göstermiştir. Tüm bunların sonucunda fırıncılık ürünlerinde toksik Maillard reaksiyon ürünlerinin azaltılmasında veya oluşumun durdurulmasında kükürtdioksit gaz atmosferi altında pişirme işleminin üründe herhangi bir olumsuz duyusal etki yaratmadan kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- AACC, 2003. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, St. Poul Minnesota ABD s.
- Ahrne, L., Andersson, C.-G., Floberg, P., Rosen, J.ve Lingnert, H. 2007. Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread: Steam and falling temperature baking. *Lwt-Food Science and Technology*, 40 (10): 1708-1715.
- Ameur, L.A., Mathieu, O., Lalanne, V., Trystram, G. ve Birlouez-Aragon, I. 2007. Comparison of the effects of sucrose and hexose on furfural formation and browning in cookies baked at different temperatures. *Food Chemistry*, 101 (4): 1407-1416.
- Anese, M., Quarta, B.ve Frias, J. 2011. Modelling the effect of asparaginase in reducing acrylamide formation in biscuits. *Food Chemistry*, 126 (2): 435-440.
- Anese, M., Suman, M.ve Nicoli, M.C. 2010. Acrylamide removal from heated foods. *Food Chemistry*, 119 (2): 791-794.
- Anonim, 2007. 10 Mart 2005 Tarihli Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu Onbirinci Toplantısı, Gelişmelere İlişkin Değerlendirmeler ve Kararlar, Tübitak-Ankara.
- Anonim, 2012. Ekmek Tüketimiyle İlgili Tutum ve Davranışlar ile Ekmek İsrafi ve İsrif Üzerinde Etkili Olan Faktörler Araştırması, Şubat 2013, Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü.
- Aykin E., Arslan S., Durak A.N., Erbaş M. 2014. Gıdalarda Bulunan Suyun Fizikokimyasal Durumu ve Sorpsiyon İzotermi. *Gıda*, 40:1-8
- Bartkiene E., Jakobsone I., Pugajeva I., Bartkevics V., Zadeike D., Juodeikiene G. 2016. Reducing of acrylamide formation in wheat biscuits supplemented with flaxseed and lupine. *LWT-Food Science and Technology*. 65:275-282
- Baynes, J.W. 2001. The role of AGEs in aging: causation or correlation. *Experimental Gerontology*, 36 (9): 1527-1537.
- Biedermann M., Grob K. 2003. Model studies on acrylamide formation in potato, wheat flour and corn starch, ways to reduce acrylamide contents in bakeryware. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene* 94: 406-422.
- Burdurlu, H.S.ve Karadeniz, F. 2002. Gıdalarda Maillard Reaksiyonu. *Gıda*, 27 (2): 77-83.
- Capuano, E., Ferrigno, A., Acampa, I., Serpen, A., Acar, O.C., Gokmen, V.ve Fogliano, V. 2009. Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation

- during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies. *Food Research International*, 42 (9): 1295-1302.
- Capuano, E.ve Fogliano, V. 2011. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *Lwt-Food Science and Technology*, 44 (4): 793-810.
- Cemeroğlu, B. 2007. Gıda Analizleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları s.
- Claus, A., Mongili, M., Weisz, G., Schieber, A.ve Carle, R. 2008. Impact of formulation and technological factors on the acrylamide content of wheat bread and bread rolls. *Journal of Cereal Science*, 47 (3): 546-554.
- Cuzzoni, M.T., Stoppini, G., Gazzani, G.ve Mazza, P. 1988. Influence Of Water Activity And Reaction Temperature Of Ribose-Lysine And Glucose-Lysine Maillard Systems On Mutagenicity, Absorbance And Content Of Furfurals. *Food And Chemical Toxicology*, 26 (10): 815-822.
- Dağlıoğlu, O. 1998. Ekmeğin önemi ve beslenmemizdeki yeri. *Unlu Mamüller Dünyası*, 7: 38-44.
- David RL., James RC., Richard HS. 2012. Acrylamide in foods: A review of the science and future considerations. Annual Review. *Food Science Technology*, 3: 15-35.
- De Paola, E.L., Montevecchi, G., Masino, F., Garbini, D., Barbanera, M.ve Antonelli, A. 2017. Determination of acrylamide in dried fruits and edible seeds using QuEChERS extraction and LC separation with MS detection. *Food Chemistry*, 217: 191-195.
- Delgado RM., Luna-Barcenas R., Arambula-Villa G., Azuara E., Lopez-Perea P., Salazar R. 2014. Effect of water activity in tortilla and its relationship on the acrylamide content after frying. *Journal of Food Engineering*, 143:1-7
- Delgado-Andrade, C., Seiquer, I., Haro, A., Castellano, R.ve PilarNavarro, M. 2010. Development of the Maillard reaction in foods cooked by different techniques. Intake of Maillard-derived compounds. *Food Chemistry*, 122 (1): 145-153.
- Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kuhne, B., De Walle, D.V., Courtens, T.M.ve Gellynck, X. 2008. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48 (2): 243-257.
- Doğan, İ.S.ve Meral, R., 2006. Gıdalarda Akrilamid ve Önemi, 9. Gıda Kongresi, Bolu Türkiye.
- Edris, A.E., Murkovic, M.ve Siegmund, B. 2007. Application of headspace-solid-phase microextraction and HPLC for the analysis of the aroma volatile components of



- treacle and determination of its content of 5-hydroxymethylfurfural (HMF). *Food Chemistry*, 104 (3): 1310-1314.
- Elgün, A.ve Ertugay, Z. 2002. Tahıl işleme teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Yayınları, 411 s.
- Elgün, A., Ertugay, Z., Certel, M.ve Kotancilar, H.G. 2002. Tahıl ve Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü ve Laboratuvar. Uygulama Klavuzu. Atatürk Üniversitesi Yayın No.867, Erzurum s.
- Elmore JS., Koutsidis G., Dodson AT., Mottram DS. 2005. Measurement of acrylamide and its precursors in potato, wheat, and rye model systems. *J.Agric. Food Chem.*53: 1286-1293.
- Enomoto, M., Adachi, H., Yamagishi, S.I., Takeuchi, M., Furuki, K., Hino, A., Hiratsuka, A., Takajo, Y.ve Imaizumi, T. 2006. Positive association of serum levels of advanced glycation end products with thrombogenic markers in humans. *Metabolism-Clinical and Experimental*, 55 (7): 912-917.
- Erbaş, M., Sekerci, H., Arslan, S.ve Durak, A.N. 2012. Effect Of Sodium Metabisulfite Addition And Baking Temperature On Maillard Reaction In Bread. *Journal of Food Quality*, 35 (2): 144-151.
- Erbaş, M., 2006. Fırın ürünlerinde maillard reaksiyonu ve hidroksimetilfurfural (HMF) oluşumu, Hububat Ürünleri Teknolojisi Kongresi, Gaziantep.
- Eskin, N.A.M. 1990. Biochemistry of food processing :Browning reactions in foods. *Biochemistry of Foods. Academic Press London*, 240-295 s.
- FAO, 2001. Nutrition Country Profile of Turkey, Food and Nutrition Division, Rome.
- Fennema, O.W. 1996. Food Chemistry. Marcel Dekker Inc, New York, USA.s.
- Gambaro, A., Varela, P., Gimenez, A., Aldrovandi, A., Fiszman, S.M.ve Hough, G. 2002. Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 33 (5): 401-413.
- Gerrard, J.A., Brown, P.K.ve Fayle, S.E. 2003. Maillard crosslinking of food proteins II: the reactions of glutaraldehyde, formaldehyde and glyceraldehyde with wheat proteins in vitro and in situ. *Food Chemistry*, 80 (1): 35-43.
- Gokmen, V.ve Senyuva, H.Z. 2007. Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. *Food Chemistry*, 103 (1): 196-203.
- Gokmen, V., Acar, O.C., Koksel, H.ve Acar, J. 2007. Effects of dough formula and baking conditions on acrylamide and hydroxymethylfurfural formation in cookies. *Food Chemistry*, 104 (3): 1136-1142.

- Graf, M., Amrein, T.M., Graf, S., Szalay, R., Escher, F.ve Amado, R. 2006. Reducing the acrylamide content of a semi-finished biscuit on industrial scale. *Lwt-Food Science and Technology*, 39 (7): 724-728.
- Granby K, Nielsen NJ, Hedegaard RV, Christensen T, Kann M, 2008. Acrylamide-asparagine relationship in baked/toasted wheat and rye breads. *Food Addit. Contam., Part A* 25: 921-929.
- Granda C., Moreira RG., Tichy SE. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato chips by low temperature vacuum frying. *Journal of Food Science*, 69:405-411.
- Hogervorst JG, Schouten LJ, Konings EJ, Goldbohm RA, Van DenBrandt PA. 2008. Dietary acrylamide intake and the risk of renal cell, bladder, and prostate cancer. *Am J Clin Nutr*, 87: 1428-1438.
- IARC, 1994. Some Industrial Chemicals. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.
- Isaac, A., Livingstone, C., Wain, A.J., Compton, R.G.ve Davis, J. 2006. Electroanalytical methods for the determination of sulfite in food and beverages. *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, 25 (6): 589-598.
- Jaeger, H., Janositz, A.ve Knorr, D. 2010. The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies. *Pathologie Biologie*, 58 (3): 207-213.
- Jagerstad, M.ve Skog, K. 2005. Genotoxicity of heat-processed foods. *Mutation Research-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 574 (1-2): 156-172.
- Janzowski, C., Glaab, V., Samimi, E., Schlatter, J.ve Eisenbrand, G. 2000. 5-hydroxymethylfurfural: assessment of mutagenicity, DNA-damaging potential and reactivity towards cellular glutathione. *Food and Chemical Toxicology*, 38 (9): 801-809.
- Karaoğlu, N., Karabudak, E., Yavuz, S., Yüksek, O., Dinçer, D., Tosunbayraktar, G.ve Eren, F.H. 2008. Çeşitli ekmeklerin protein, yağ, nem, kül, karbonhidrat ve enerji değerleri. *Gıda*, 33 (1): 19-25.
- Katsaiti T., veGranby K. 2016. Mitigation of the processing contaminant acrylamide in bread by reducing asparagine in the bread dough. *Food Additives and Contaminants, Part A*. 33(9): 1402-1410.
- Kim, K.W.ve Lee, S.B. 2003. Inhibitory effect of Maillard reaction products on growth of the aerobic marine hyperthermophilic archaeon *Aeropyrum pernix*. *Applied and Environmental Microbiology*, 69 (7): 4325-4328.

- Kolek E., Simko P., Simon P. 2006. Effect of NaCl on the decrease of acrylamide content in a heat-treated model food matrix. *Journal of Food and Nutrition Research* 45: 17-20.
- Krishnakumar, T. ve Visvanathan, R. 2014. Acrylamide in Food Products: A Review. *J Food Process Technol*, 2014, 5 (344): 1-9.
- Levine RA. ve Smith RE. 2005. Sources of variability of acrylamide levels in a cracker model. *J Agric Food Chem*, 53: 4410-4416.
- Lukac H, Amrein TM, Perren R, Petit BC ve Amado R. 2007. Influence of roasting conditions on the acrylamide content and the color of roasted almonds. *Food Chem Toxicol*, 72: 33-38.
- Martins, S., Jongen, W.M.F. ve Van Boekel, M. 2000. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 11 (9-10): 364-373.
- Medeiros VR., Mestdagh F. ve De Meulenaer B. 2012. Acrylamide formation in fried potato products - Present and future, a critical review on mitigation strategies. *Food Chemistry*, 133: 1138-1154.
- Mestdagh, F., De Wilde, T., Delporte, K., Van Peteghem, C. ve De Meulenaer, B. 2008. Impact of chemical pre-treatments on the acrylamide formation and sensorial quality of potato crisps. *Food Chemistry*, 106 (3): 914-922.
- Mojska, H., Gielecinska I., Szponar, L. ve Oltarzewski, M. 2010. Estimation of the dietary acrylamide exposure of the Polish population. *Food and Chemical Toxicology*, 48: 2090-2096
- Monnier, V.A., Sell, D.R., Wu, X.L. ve Rutter, K. 2002. The prospects of health and longevity from the inhibition of the Maillard reaction in vivo. in: S. Horiuchi, N. Taniguchi, F. Hayase, T. Kuratave T. Osawa (Eds.), *Maillard Reaction in Food Chemistry and Medical Science: Update for the Postgenomic Era*, 9-19 s.
- Morales, F.J. ve Jimenez-Perez, S. 2001. Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry*, 72 (1): 119-125.
- Mudgil, D., Barak, S. ve Khatkar, B.S. 2016. Optimization of bread firmness, specific loaf volume and sensory acceptability of bread with soluble fiber and different water levels. *Journal of Cereal Science*, 70 186-191.
- Mustafa, A, Andersson, R, Rosen, J, Kamal, E.A. ve Aman P. 2005. Factors influencing acrylamide content and color in rye crisp bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 5985-5989.

- Mustafa, A., Andersson, R., Hellenas, K.-E., Aman, P.ve Kamal-Eldin, A. 2008. Moisture Enhances Acrylamide Reduction during Storage in Model Studies of Rye Crispbread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (23): 11234-11237.
- Mustafa, A., Fink, M., Kamal-Eldin, A., Rosen, J., Andersson, R.ve Aman, P. 2009. Interaction effects of fermentation time and added asparagine and glycine on acrylamide content in yeast-leavened bread.*Food Chemistry*, 112 (4): 767-774.
- Nguyen H.T., Van Der Fels-Klerx H.J. veVan Boekel M.A.J.S. 2017. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation during biscuit baking. Part II: Effect of the ratio of reducing sugars and asparagine.*Food Chemistry*, 230:14-23
- Olesen PT., Olsen A., Frandsen H., Frederiksen K. ve Overvad K.2008. Acrylamide exposure and incidence of breast cancer among postmenopausalwomen in the Danish Diet, Cancer and Health Study. *Int J Cancer*,122: 2094-2100.
- Ou, S., Lin, Q., Zhang, Y., Huang, C., Sun, X.ve Fu, L. 2008. Reduction of acrylamide formation by selected agents in fried potato crisps on industrial scale. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9 (1): 116-121.
- Özkaynak, E.ve Ova, G. 2006. Akrilamid- Gıdalarda oluşan önemli bir kontaminant, 9. Gıda Kongresi, Bolu-Türkiye.
- Pedreschi F., Granby K. veRisum J. 2010. Acrylamide mitigation in potato chipsby using NaCl. *Food and Bioprocess Technology*, 3: 917-921.
- Pedreschi F., Mariotti S., Granby K. veRisum J. 2011. Acrylamide reductionin potato chips by using commercial asparaginase in combination withconventional blanching. *LWT-Food Science Technology*,44: 1473-1476.
- Purlis, E. 2010. Browning development in bakery products - A review. *Journal of Food Engineering*, 99 (3): 239-249.
- Purlis, E.ve Salvadori, V.O. 2007. Bread browning kinetics during baking.*Journal of Food Engineering*, 80 (4): 1107-1115.
- Reddy, V.P.ve Beyaz, A. 2006. Inhibitors of the Maillard reaction and AGE breakers as therapeutics for multiple diseases.*Drug Discovery Today*, 11 (13-14): 646-654.
- Riboldi, BP., Vinhas, ÁM., Moreira, JD.2014. Risks of dietary acrylamide exposure: A systematic review. *Food chemistry*, 157: 310-322.
- Rufian-Henares, J.A., Delgado-Andrade, C.ve Morales, F.J. 2009. "Assessing the Maillard reaction development during the toasting process of common flours employed by the cereal products industry". *Food Chemistry*, 114 (1): 93-99.

- Rydberg P., Eriksson S., Tareke E., Karlsson P. ve Ehrenberg L. 2003. Investigations of factors that influence the acrylamide content of heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 7012-7018.
- Sadd P. ve Hamlet C. 2005. The formation of acrylamide in UK cereal products. *Chemistry and Safety of Acrylamide in Foods*, 561: 415-429.
- Sadd P.A., Hamlet G.H., Liang L. 2008. Effectiveness of methods for reducing acrylamide in bakery products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 6154-6161.
- Samir A., Rehab F., Mohsen A. ve Wafaa M. 2013. Impacts of pre-treatments on the acrylamide formation and organoleptic evaluation of fried potato chips. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 9: 90-101.
- Sassi-Gaha, S., Loughlin, D.T., Kappler, F., Schwartz, M.L., Su, B., Tobia, A.M. ve Artlett, C.M. 2010. Two dicarbonyl compounds, 3-deoxyglucosone and methylglyoxal, differentially modulate dermal fibroblasts. *Matrix Biology*, 29 (2): 127-134.
- Schumacher, D. ve Kroh, L.W. 1996. The influence of Maillard reaction products on enzyme reactions. *Zeitschrift Fur Ernährungswissenschaft*, 35 (3): 213-225.
- Sharafi, S., Yousefi, S. ve Faraji, A. 2017. Developing an innovative textural structure for semi-volume breads based on interaction of spray-dried yogurt powder and jujube polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104: 992-1002.
- Shin, D.-C., Kim, C.-T., Lee, Y.-C., Choi, W.-J., Na, Y.-J. ve Lee, K.-W. 2010. Reduction of acrylamide by taurine in aqueous and potato chip model systems. *Food Research International*, 43 (5): 1356-1360.
- Totani V.M. ve Peterson D.G. 2006. Epicatechin carbonyl-trapping reactions in aqueous Maillard systems: identification and structural elucidation. *J Agric Food Chem*, 54: 7311-7318.
- Tuta, S., Palazoglu, T.K. ve Gokmen, V. 2010. Effect of microwave pre-thawing of frozen potato strips on acrylamide level and quality of French fries. *Journal of Food Engineering*, 97 (2): 261-266.
- Ulbricht, R.J., Northup, S.J. ve Thomas, J.A. 1984. A Review Of 5-Hydroxymethylfurfural (Hmf) In Parenteral Solutions. *Fundamental And Applied Toxicology*, 4 (5): 843-853.
- Vanin, F.M., Lucas, T. ve Trystram, G. 2009. Crust formation and its role during bread baking. *Trends in Food Science & Technology*, 20 (8): 333-343.
- Yildiz H.G., Palazoglu T.K., Miran W., Kocadağlı T. ve Gökmen V. 2017. Evolution of Surface Temperature And Its Relationship With Acrylamide formation during

- conventional and vacuum-combined baking of cookies. *Journal of Food Engineering*, 197: 17-23.
- Yuan, Y., Shu, C., Zhou, B., Qi, X.L. ve Xiang, J.G. 2011. Impact of selected additives on acrylamide formation in asparagine/sugar Maillard model systems. *Food Research International*, 44 (1): 449-455.
- Yuan, Y., Zhao, G., Chen, F., Liu, J., Wu, J. ve Hu, X. 2008. Correlation of methylglyoxal with acrylamide formation in fructose/asparagine Maillard reaction model system. *Food Chemistry*, 108 (3): 885-890.
- Zamora, R., Delgado, R.M. ve Hidalgo, F.J. 2011. Amino phospholipids and lecithins as mitigating agents for acrylamide in asparagine/glucose and asparagine/2,4-decadienal model systems. *Food Chemistry*, 126 (1): 104-108.
- Zeng, X., Cheng, K.-W., Du, Y., Kong, R., Lo, C., Chu, I.K., Chen, F. ve Wang, M. 2010. Activities of hydrocolloids as inhibitors of acrylamide formation in model systems and fried potato strips. *Food Chemistry*, 121 (2): 424-428.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ümmügülsüm GÜLCAN**

**ummugulsum.gulcan@tkdk.gov.tr**



### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2010-Devam Ediyor	Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi
2005-2009	Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Uzman	Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu
2012- Devam Ediyor	Burdur İl Koordinatörlüğü, Burdur