



**FORMÜLASYONUNDA ŞEKER YERİNE PEKMEZ ve BAL
KULLANILARAK ÜRETİLEN BAZI FIRINCILIK
ÜRÜNLERİNDE AKRİLAMİD OLUŞUMUNUN
ARAŞTIRILMASI**

Merve KAZANCI

Yüksek Lisans Tezi

**Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Serap DURAKLI VELİOĞLU
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kadir Gürbüz GÜNER**

2021

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FORMÜLASYONUNDA ŞEKER YERİNE PEKMEZ VE BAL
KULLANILARAK ÜRETİLEN BAZI FIRINCILIK ÜRÜNLERİNDE
AKRİLAMİD OLUŞUMUNUN ARAŞTIRILMASI**

Merve KAZANCI

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç.Dr. Serap DURAKLI VELİOĞLU

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kadir Gürbüz GÜNER

TEKİRDAĞ-2021

Her hakkı saklıdır.



u tez, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından NKUBAP.03.GA.20.234 numaralı proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FORMÜLASYONUNDA ŞEKER YERİNE PEKMEZ ve BAL
KULLANILARAK ÜRETİLEN BAZI FIRINCILIK ÜRÜNLERİNDE
AKRİLAMİD OLUŞUMUNUN ARAŞTIRILMASI

Merve KAZANCI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Serap DURAKLI VELİOĞLU

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kadir Gürbüz GÜNER

Bu çalışma ile formülasyonunda şeker yerine pekmez veya bal kullanılarak üretilen kek ve kurabiye ürünlerinde akrilamid oluşumu araştırılmıştır. Akrilamid analizinin yanı sıra üretilen kek ve kurabiye ürünlerinde pH, kuru madde, su aktivitesi, tekstür, şeker, ağırlık kaybı, kabarma indeksi ve renk analizleri yapılmıştır. Ayrıca örnek hamurlarında pH, su aktivitesi ve renk analizleri gerçekleştirilmiştir. Kek ve kurabiye örneklerindeki akrilamid konsantrasyonu LC-MS/MS yöntemiyle belirlenmiştir. Kontrol grubunda akrilamid miktarı tespit limiti altında kalırken, formülasyondaki pekmez oranının artmasıyla akrilamid miktarında artış tespit edilmiştir. Kek örneklerinde pekmez oranının artmasıyla akrilamid miktarları $141,36 \pm 4,21$ ng/g, $162,82 \pm 3,63$ ng/g ve $195,67 \pm 0,85$ ng/g olarak saptanmıştır. Ballı kek örneklerinde ise akrilamid miktarı tespit limitinin altında kalmıştır. Kurabiye örneklerinin akrilamid analizi sonucunda, formülasyondaki pekmez veya balın artmasıyla akrilamid miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Kurabiye kontrol grubunda, akrilamid miktarı $30,97 \pm 4,68$ ng/g olarak tespit edilirken, pekmez miktarının artmasıyla akrilamid miktarları $824,3 \pm 27,47$ ng/g, $1274,04 \pm 7,59$ ng/g ve $1468,32 \pm 55,48$ ng/g olarak saptanmıştır. Formülasyondaki bal oranının artışıyla birlikte akrilamid miktarları $374,25 \pm 19,37$ ng/g, $495,63 \pm 2,89$ ng/g ve $598,63 \pm 12,95$ ng/g olarak bulunmuştur. Formülasyondaki şekerin %100'ünün pekmez ile ikame edilmesiyle üretilen kurabiye örneğinde en yüksek akrilamid miktarı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, kek ve kurabiye gibi fırıncılık ürünlerinde, rafine şeker tüketimini azaltmak amacıyla, bu ürünlere pekmez veya bal ilave edilmesinin, bu ürünlerdeki akrilamid miktarını önemli düzeylerde artırabileceği tespit edilmiştir. Rafine şeker tüketimini azaltmak amacıyla yapılan buna benzer uygulamalar, bu ürünleri sıklıkla tüketen kişilerin toksik bir bileşik olan akrilamide maruziyetini artırabilir.

Anahtar kelimeler: Akrilamid, kek, kurabiye, pekmez, bal.

2021, 118 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

INVESTIGATION OF ACRYLAMIDE FORMATION IN SOME BAKERY PRODUCTS PRODUCED USING PEKMEZ AND HONEY AS SUGAR SUBSTITUTES IN THEIR FORMULATION

Merve KAZANCI

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serap DURAKLI VELİOĞLU

Second Supervisor: Assist. Prof. Dr. Kadir Gürbüz GÜNER

In this study, the formation of acrylamide in cake and cookie products produced using molasses or honey instead of sugar was investigated. In addition to the acrylamide analysis, pH, dry matter, water activity, texture, sugar, weight loss, swelling index and color analyzes were performed in the cake and cookie products produced. In addition, pH, water activity and color analysis of sample doughs were carried out. Acrylamide concentration in cake and cookie samples was determined by LC-MS/MS method. The amount of acrylamide in the control group remained below the limit of detection. It was determined that the amount of acrylamide increased with the increase of molasses in the formulation. Acrylamide amounts were determined 141.36 ± 4.21 ng/g, 162.82 ± 3.63 ng/g and 195.67 ± 0.85 ng/g, with the increase of molasses in cake samples. In honey cake samples, the amount of acrylamide was below the detection limit. As a result of the acrylamide analysis of the cookie samples, it was determined that the amount of acrylamide increased with the increase of molasses or honey in the formulation. While the amount of acrylamide was determined 30.97 ± 4.68 ng/g in the cookie control group, with the increase in the amount of molasses, the amount of acrylamide was detected 824.3 ± 27.47 ng/g, 1274.04 ± 7.59 ng/g and 1468.32 ± 55.48 ng/g. The acrylamide amounts were determined 374.25 ± 19.37 ng/g, 495.63 ± 2.89 ng/g and 598.63 ± 12.95 ng/g, with the increase in the amount of honey in the formulation. The highest amount of acrylamide was found in the cookie sample produced by replacing 100% of the sugar in the formulation with molasses. As a result, it has been determined that adding molasses or honey to these products in order to reduce the amount of refined sugar intake in bakery products such as cakes and cookies can significantly increase the amount of acrylamide in these products. Similar practices made to reduce refined sugar intake can increase the exposure of people who consume these products frequently to acrylamide, a toxic compound.

Key words: Acrylamide, Cake, Cookie, Molasses, Honey.

2021, 118 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	viii
TEŞEKKÜR	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Akrlamid ve Kullanım Alanları	3
2.2. Akrlamid Oluşum Aşamaları	4
2.2.1. Maillard Reaksiyonu Yolu ile Akrlamid Oluşumu	4
2.2.2. Yağlardan Akrlamid Oluşumu	7
2.2.3. 3-aminopropionamidden (3-APA) Akrlamid Oluşumu.....	7
2.3. Akrlamid Miktarını Etkileyen Faktörler	8
2.3.1. İndirgen Şekerlerin Etkisi	9
2.3.2. Asparajinin Etkisi	10
2.3.3. pH ve Nem Miktarının Etkisi	11
2.3.4. Diğer Bazı Bileşenlerin Etkisi	13
2.3.5. Pişirme Süresinin ve Sıcaklığın Etkisi.....	15
2.4. Farklı Gıdalardaki Akrlamid Miktarları	19
2.5. Akrlamidin İnsan Sağlığına Etkisi.....	23
2.6. Pekmez ve Balın Fırıncılık Ürünlerinde Kullanımıyla İlgili Çalışmalar	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Materyal	29
3.2. Yöntem	29
3.2.1. Fırıncılık Ürünlerinin Üretimi	29
3.2.1.1. Kek üretimi	29
3.2.1.2. Kurabiye üretimi	33
3.2.2. Yapılan Analizler.....	37
3.2.2.1. Kuru madde analizi	37
3.2.2.2. pH analizi	37

3.2.2.3. Ağırlık kaybı hesaplanması.....	38
3.2.2.4. Kabarma indeksi	38
3.2.2.5. Su aktivitesi analizi	41
3.2.2.6. Renk analizi	42
3.2.2.7. Şeker analizi.....	43
3.2.2.8. Tekstür analizi.....	45
3.2.2.9. Akrilamid analizi	47
3.2.3. İstatistiksel Analiz	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	49
4.1. Kek ve Kurabiye Örneklerinde Kullanılan Pekmez ve Balın Şeker ve Akrilamid Analizi Sonuçları	49
4.2. Akrilamid Analizi	49
4.2.1. Kek Örneklerinin Akrilamid Analizi Sonuçları.....	50
4.2.2. Kurabiye Örneklerinin Akrilamid Analizi Sonuçları	52
4.3. Kek Örnekleri Analiz Sonuçları	54
4.3.1. Kek Örneklerinin Şeker Değerleri.....	54
4.3.2. Kek Örneklerinin Renk Değerleri.....	56
4.3.3. Kek Örneklerinin pH Değerleri	64
4.3.4. Kek Örneklerinin Kuru Madde ve Su Aktivitesi (a_w) Değerleri.....	66
4.3.5. Kek Örneklerinin Tekstür Değerleri.....	69
4.3.6. Kek Örneklerinin Ağırlık Kaybı Değerleri.....	72
4.3.7. Kek Örneklerinin Kabarma İndeksi Değerleri.....	73
4.4. Kurabiye Örnekleri Analiz Sonuçları	74
4.4.1. Kurabiye Örneklerinin Şeker Değerleri.....	74
4.4.2. Kurabiye Örneklerinin Renk Değerleri	76
4.4.3. Kurabiye Örneklerinin pH Değerleri	81
4.4.4. Kurabiye Örneklerinin Kuru Madde ve Su Aktivitesi (a_w) Değerleri	83
4.4.5. Kurabiye Örneklerinin Tekstür Değerleri.....	85
4.4.6. Kurabiye Örneklerinin Ağırlık Kaybı Değerleri.....	87
4.4.7. Kurabiye Örneklerinin Kabarma İndeksi Değerleri	88
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR.....	94

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bisküvilerde pişirme sıcaklığı ve nem içeriğine göre akrilamid konsantrasyonları	12
Çizelge 2.2. Bazı gıda gruplarının maksimum ve minimum akrilamid miktarları.....	20
Çizelge 2.3. Avrupa Birliği'nde akrilamid için verilen üst sınırlar.....	25
Çizelge 3.1. Kek üretiminde kullanılan formülasyonlar.....	30
Çizelge 3.2. Kurabiye üretiminde kullanılan formülasyonlar	34
Çizelge 4.1. Kek ve kurabiye formülasyonunda kullanılan pekmez ve bal örneklerinin şeker ve akrilamid miktarları	49
Çizelge 4.2. Kek örneklerinin akrilamid miktarları.....	51
Çizelge 4.3. Kurabiye örneklerinin akrilamid miktarları	52
Çizelge 4.4. Pekmezli kek örneklerinin şeker miktarları.....	54
Çizelge 4.5. Ballı kek örneklerinin şeker miktarları.....	55
Çizelge 4.6. Pekmezli kek hamuru ve örneklerinin L* değerleri	56
Çizelge 4.7. Pekmezli kek hamuru ve örneklerinin a* değerleri.....	57
Çizelge 4.8. Pekmezli kek hamuru ve örneklerinin b* değerleri.....	58
Çizelge 4.9. Pekmezli kek hamuru ve örneklerinin ΔE değerleri.....	59
Çizelge 4.10. Ballı kek hamuru ve örneklerinin L *değerleri	60
Çizelge 4.11. Ballı kek hamuru ve örneklerinin a* değerleri.....	61
Çizelge 4.12. Ballı kek hamuru ve örneklerinin b* değerleri.....	62
Çizelge 4.13. Ballı kek hamuru ve örneklerinin ΔE değerleri.....	63
Çizelge 4.14. Kek hamuru ve örneklerinin pH değerleri.....	65
Çizelge 4.15. Pekmezli kek hamuru ve örneklerinin su aktivitesi ve kuru madde değerleri....	67
Çizelge 4.16. Ballı kek hamuru ve örneklerinin su aktivitesi ve kuru madde değerleri.....	68
Çizelge 4.17. Pekmezli kek örneklerinin tekstür değerleri.....	70
Çizelge 4.18. Ballı kek örneklerinin tekstür değerleri	71
Çizelge 4.19. Kek örneklerinin ağırlık kaybı değerleri	72
Çizelge 4.20. Kek örneklerine ait kabarma değerleri	73
Çizelge 4.21. Pekmezli kurabiye örneklerinin şeker miktarları	74
Çizelge 4.22. Ballı kurabiye örneklerinin şeker miktarları	75
Çizelge 4.23. Kurabiye hamuru ve örneklerinin L* değerleri.....	77
Çizelge 4.24. Kurabiye hamuru ve örneklerinin a* değerleri.....	78
Çizelge 4.25. Kurabiye hamuru ve örneklerinin b* değerleri	79

Çizelge 4.26. Kurabiye hamuru ve örneklerinin ΔE değerleri	80
Çizelge 4.27. Kurabiye hamuru ve örneklerinin pH değerleri	82
Çizelge 4.28. Pekmezli kurabiye hamuru ve örneklerinin su aktivitesi ve kuru madde değerleri	83
Çizelge 4.29. Ballı kurabiye hamuru ve örneklerinin su aktivitesi ve kuru madde değerleri ..	84
Çizelge 4.30. Pekmezli kurabiye örneklerinin tekstür değerleri	86
Çizelge 4.31. Ballı kurabiye örneklerinin tekstür değerleri.....	87
Çizelge 4.32. Kurabiye örneklerinin ağırlık kaybı değerleri	88
Çizelge 4.33. Kurabiye örneklerine ait kabarma değerleri.....	89



ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1. Maillard reaksiyonu ile akrilamid oluşum mekanizması	6
Şekil 2.2. Akroleinden akrilamid oluşumu	7
Şekil 2.3. Asparajinin enzimatik dekarboksilasyonu ile akrilamid oluşumu	8
Şekil 2.4. Akrilamidin glisamide dönüşümü	24
Şekil 3.1. Şeker karışımlarının briks derecelerinin ölçülmesi	31
Şekil 3.2. Kek bileşenlerin mikserde karıştırılması ve tartımı	32
Şekil 3.3. Kek hamurunun kalıplara konulması	32
Şekil 3.4. Kek örneklerinin pişirilmesi	33
Şekil 3.5. Şeker karışımlarının briks derecelerinin ölçülmesi	35
Şekil 3.6. Kurabiye bileşenlerinin karıştırılması ve elle yoğrulması işlemi	35
Şekil 3.7. Kurabiye hamurlarına kalıpla şekil verilmesi	36
Şekil 3.8. Kurabiye hamur örneklerinin fırın tepsisine dizimi	36
Şekil 3.9. Kurabiye örneklerinin pişirilmesi	37
Şekil 3.10. Fotoğraf çekim düzeneği	39
Şekil 3.11. Kurabiye örneklerinin izdüşüm çizgisi indirilerek kabarma indeksi ölçümü yapılması	39
Şekil 3.12. Kek örneklerinin izdüşüm çizgisi indirilerek kabarma indeksi ölçümü yapılması	40
Şekil 3.13. Kurabiye örnekleri	40
Şekil 3.14. Pekmezli kek örnekleri	41
Şekil 3.15. Ballı kek örnekleri	41
Şekil 3.16. Örneklerin su aktivitesi değerleri ölçümü	42
Şekil 3.17. Kek örneklerinin kabuk ve iç renk ölçümü	43
Şekil 3.18. Kurabiye örneklerinin renk ölçümü	43
Şekil 3.19. HPLC sistemi	44
Şekil 3.20. Kek örneğine tekstür analizi için şekil verilmesi	46
Şekil 3.21. Kek örneklerinin tekstür analizi	46
Şekil 3.22. Kurabiye örneklerinin tekstür analizi	47
Şekil 3.23. LC-MS/MS sistemi	48
Şekil 4.1. Akrilamid Kalibrasyon Eğrisinin Çizilmesi	50
Şekil 4.2. Kek örnekleri	64
Şekil 4.3. Kurabiye örnekleri	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	: Yüzde
°C:	: Santigrad derece
µg/kg	: Mikrogram/kilogram
µg/l	: mikrogram/litre
µl	: Mikrolitre
µm	: Mikrometre
µm	: Mikrometre
3- APA	: 3-Aminopropionamid
AACC	: American Association of Cereal Chemists - Amerikan Tahıl Kimyagerleri Birliği
CaCl ₂	: Kalsiyum Klorür
cm	: Santimetre
dk	: Dakika
EC	: European Commission - Avrupa Komisyonu
FAO	: The Food and Agriculture Organization - Gıda ve Tarım Örgütü
g	: Gram
g/cm ³	: Gram/santimetreküp
g/l	: Gram/litre
g/ml	: Gram/mililitre
g/mol	: Gram/mol
GC-MS	: Gas Chromatograph- Mass Spectrometry - Gaz Kromotografi Kütle Spektrometresi
HMF	: Hidroksimetilfurfural
HPLC	: High Performance Liquid Chromatography - Yüksek Performanslı Sıvı Kromotografi
IARC	: International Agency for Research on Cancer - Uluslararası Kanser Araştırma Örgütü

Kg	: Kilogram
L	: Litre
l/dk	: Litre/dakika
LC-MS	: Liquid Chromatography- Mass Spectrometry Sıvı Kromatografi - Kütle Spektrometresi
LC-MS/MS	: Liquid Chromatography Mass Spectrometry/Mass Spectrometry - Sıvı Kromatografi-Kütle Spektrometresi/Kütle Spektrometresi
LOD	: Limit of Detection –Tespit Limiti
LOQ	: Limit of Quantification – Ölçüm Limiti
M	: Molar
m/z	: kütle/yük
mg	: Miligram
mg/kg	: Miligram/kilogram
ml	: Mililitre
ml/dk	: Mililitre/dakika
mm	: Milimetre
mm/s	: Milimetre/saniye
NaCl	: Sodyum Klorür
ng/g	: Nanogram/gram
pH	: Asitliği ya da bazlığı bildiren birim
ppb	: Part per billion
psi	: Pounds per square inch
RID	: Refraktif İndeks <i>Dedektör</i>
rpm	: Revolution per minute
WHO	: World Health Organization - Dünya Sağlık Örgütü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince danıştığım her konuda beni güler yüz ile karşılayıp, engin bilgilerini aktaran, çalışmamın her aşamasını takip eden, fikir ve görüşleriyle bana bilimsel bakış açısını aşılayan, yardımlarını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer danışman hocalarım Doç. Dr. Serap DURAKLI VELİOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Kadir Gürbüz GÜNER'e üzerimdeki emekleri için teşekkürü borç bilir, saygılarımı sunarım.

Tezimdeki fırıncılık ürünlerinin üretimlerinin gerçekleştirildiği Eksun Gıda Tarım San. ve Tic. A.Ş. AR-GE laboratuvarının çok değerli çalışanlarına,

Tez çalışmamın yer aldığı araştırma projesini maddi olarak destekleyen NKUBAP'a,

Tez çalışmamdaki analizlere katkıda bulunan tüm NABİLTEM personeline, TÜTAGEM Enstrümental Analiz Laboratuvarı personeline ve Namık Kemal Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları çalışanlarına,

Çalışmamın en zorlu anlarında beni motive eden sevgili meslektaşım Yüksek Gıda Mühendisi Merve KARLIDAĞ'a

Bu süreçte bana olan güveni, desteği ve sevgisi ile bugünlere gelmemde maddi ve manevi emeklerini hiçbir zaman eksik etmeyen, beni her zaman cesaretlendiren annem Emine KAZANCI'ya ve babam Resul KAZANCI'ya

Her zaman bana ve ideallerime inanan, değerli kız kardeşlerim'e

Teşekkürlerimi sunarım.

Şubat, 2021

Merve KAZANCI

Gıda Mühendisi

1. GİRİŞ

Gıdaların işlenmesinde çok çeşitli amaçlarla ısı işlemler uygulanmaktadır. Isıl işlem, gıdaların muhafaza edilmesinde ve duyuşsal olarak tüketicilerin beğenisini kazanacak ürünlerin üretiminde kullanılan en eski gıda işleme yöntemidir. Gıda endüstrisinde geleneksel olarak yıllardır kullanılan kızartma, kavurma ve fırında pişirme gibi ısı işlemler sırasında oluşun toksik bileşikler, hem gıda endüstrisini, gıda bilimini ve teknolojisi ile ilgili çalışma yapan bilim insanlarını hem de tüketicileri son yıllarda en çok meşgul eden konulardan birisidir. Isıl işlemler sırasında, gıdalarda bazı reaksiyonlar oluşmaktadır. Bunlar, proteinlerin denatürasyonu, lipidlerin oksidasyonu, Maillard reaksiyonu, karamelizasyon, vitamin degradasyonu olarak sıralanabilir (Kocadağlı, Hamzalıoğlu, Taş ve Gökmen, 2016). Fırıncılık ürünlerinde, şekerlerin degradasyonu, Maillard reaksiyonu ile birlikte, üründe istenen tat, renk ve aromanın oluşmasında rol oynamaktadır. Bununla birlikte Maillard reaksiyonu ile gıdanın besin değerini azaltan ve gıda güvenliğini tehlikeye atan bazı toksik, kanserojen bileşikler de oluşmaktadır (Kocadağlı vd., 2016). Gıdalarda ısı işlem sırasında ortaya çıkan akrilamid ve HMF gibi toksik bileşikler, ‘termal proses kontaminantları’ olarak adlandırılmaktadır (Açar-Çetinkaya, 2010).

Termal proses kontaminantları gibi, son yıllarda hem tüketicilerin hem de gıda endüstrisinin gündeminde olan bir diğer konu ise, çay şekerini olarak da bilinen sükrözün kullanımının çeşitli ürünlerde azaltılmasıdır. Şeker ve şekerli besinlerin fazla miktarda tüketiminin aşırı enerji alımına neden olması ve vücut ağırlığının artmasına (şişmanlığa) ve besleyici değeri yüksek olan besinlerin tüketiminin de azalmasına neden olması sebebiyle, bu tür besinlerin tüketiminin azaltılması büyük önem taşımaktadır. Kilo fazlalığının kalp-damar hastalıkları başta olmak üzere, diyabet, hipertansiyon ve kanser gibi hastalıklar için de risk oluşturabildiği ifade edilmektedir (Demirci, 2014). Aşırı şeker tüketimi ile oluşacak riskleri engellemek amacıyla, beslenme uzmanları tarafından şeker tüketimini azaltma konusunda yapılan tavsiyeler oldukça önemlidir. Bununla birlikte, bazı uzmanların, rafine şekerin olumsuz etkilerinden dolayı, şekerin kullanımını azaltmak amacıyla, kek, kurabiye gibi fırcılık ürünlerinin üretiminde de, pekmez, bal gibi indirgen şeker içeriği yüksek ürünlerin kullanımını önerdikleri bilinmektedir. Balın ve pekmezin besinsel açıdan zengin olması nedeniyle fırcılık ürünlerinde kullanımının, kimyasal, fiziksel, duyuşsal ve besin içeriğine etkisini araştırmak amacıyla çeşitli bilimsel çalışmalar da yapılmaktadır (Bilgiçli ve Akbulut, 2009; Demir ve Kılınç, 2019; Bornare ve Khan, 2015; İnanır, 2018; Ertaş ve Çoklar, 2008; Aghamohammadi, Ghiassi, Honarvar ve Delkhosh, 2012). Ayrıca, endüstriyel olarak üretilen bazı çocuk

atıştırıcılık ürünlerine ve ev tipi fırıncılık ürünlerine, sağlıklı olduğu düşüncesi ile pekmez, bal gibi ingredienlerin eklenmesi şeklinde yapılan uygulamaların da gittikçe arttığı görülmektedir.

İstenen duyuşsal özelliklere sahip fırıncılık ürünlerinin oluşması için gerekli olan en önemli aşamalardan biri olan ısıtıl işlem sırasında oluşun Maillard Reaksiyonu, gıdalarda bulunan serbest aminoasitlerin, proteinlerin veya peptitlerin serbest amino grupları ile indirgen şekerler arasında gerçekleşen ve enzimatik olmayan kahverengileşme reaksiyonlarıdır. Maillard reaksiyonu, reaksiyona giren indirgen şeker içeriğine, bileşenlerin türüne, miktarına, ortam pH'sına, sıcaklık ve su aktivitesine bağılı olarak değışim göstermektedir (Yıldız vd., 2010). Reaksiyon sonucunda akrilamid ve HMF dışında furan, dikarboniller ve 4(5)-metilimidazol gibi termal proses kontaminantları da oluşmaktadır (Kocadağılı vd., 2016). Bu maddelerin gıdalarda yüksek miktarlarda bulunmaları, insan sağılığı açısından riskli görülmektedir. Maillard reaksiyonunun önemli olduğı gıdaların başında fırıncılık ürünleri gelmektedir. Bu ürünlerdeki yüksek şeker ve asparajin gibi öncü moleküllerin varlığı ve bunların konsantrasyonu, akrilamid oluşumunu etkilemektedir. Fırıncılık ürünlerinin bileşiminin yanında ürüne uygulanan yüksek pişirme sıcaklığı da son üründe akrilamid oluşumu riskini arttırmaktadır.

Pekmez ve bal ülkemizde yaygın olarak tüketilen gıda maddelerindedir. Bu ürünlerin yüksek indirgen şeker içeriğine sahip olduğı bilinmektedir (Demirci, 2014; Bilişli, 2016). Özellikle kahvaltıda tüketimi yaygın olan bu iki gıda maddesinin rafine şekerle göre "daha doğıal ve sağılıklı" olduğunu, mümkün olan her gıdayı tatlandırmak için rafine şeker yerine kullanılması gerektiğini ifade eden yazılı ve görsel yayınlar son yıllarda artmıştır. Ancak daha önce de belirtildiğı gibi pekmez ve balda bulunan indirgen şekerler nedeniyle bu ürünlerin ısıtıl işleme maruz kalması, eklendikleri üründe akrilamid oluşumu riskini artırma potansiyeline sahiptir. Ülkemizde ve dünyada çocuklar başta olmak üzere her yaştan insanın severek tükettiğı kek ve kurabiye gibi fırıncılık ürünlerinin evde veya endüstriyel ölçekte üretiminde, rafine şekerin pekmez veya bal ile ikame edilmesinin doğıuracağı risklerin yeterince irdelenmediğı düşünölmektedir.

Bu nedenle, bu tezin amacı, formölasyonunda şeker yerine pekmez, bal gibi indirgen şeker içeriğı yüksek ürünler kullanılarak üretilen kek ve kurabiyelerdeki akrilamid oluşum riskinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, bal ve pekmez örnekleri, kek ve kurabiye üretiminde kullanılmıştır. Şeker kullanılarak üretilen kek ve kurabiyeler kontrol grubunu oluşturmuştur. Farklı gruplara ait örneklerdeki akrilamid miktarları arasındaki fark araştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Akrilamid ve Kullanım Alanları

Akrilamid, kimyasal formülü C_3H_5NO olan molekül ağırlığı 71,08 g/mol, yoğunluğu 1,13 g/cm³, erime noktası 84,5 °C, su, etanol, eter, kloroform içinde çözünen kokusuz, beyaz kristal formda katı bir maddedir. Kimyasal bir bileşik olan akrilamid, ilk kez Christian Moureau tarafından 1893 yılında Almanya’da tanımlanmıştır (Becalski, Lau, Lewis ve Seaman, 2003). Akrlamid polimerik ve monomerik olmak üzere iki formu bulunan organik bir bileşiktir. Polimerik formdaki akrilamid, içme suyunun arıtılması ve atık su arıtımı için topaklaştırıcılar olarak, boya, kağıt, kozmetik endüstrisinde, zenginleştirilmiş petrolün geri kazanımında, plastik üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (World Health Organization (WHO), 1985; European Commission (EC), 2000; Vattem ve Shetty, 2003). Monomerik formda akrilamidin sinir sisteminde toksik etki yarattığı ve laboratuvar hayvanlarında kansere neden olduğu görülmüştür. İnsanlarda akrilamidin kanserojen bir bileşik olabileceği düşünülmektedir. Polimerik formda olan akrilamid ise toksik değildir (Vattem ve Shetty, 2003).

Akrilamidin gıda ürünlerinde oluşabileceğinin ilk kanıtı tütün dumanının bir bileşeni olarak tespit edilmesidir. Sigara içen ve içmeyen insanlarda yapılan araştırmalar sonucu, sigara içenlerin içmeyenlere göre akrilamide maruz kaldığı görülmüştür. Bu çalışma da akrilamidin biyolojik materyalin ısıtılmasıyla oluşabileceğine dair en erken göstergeyi vermektedir (EC, 2000; Bergmark, 1997).

Akrilamidin ısı işlem görmüş gıdalarda varlığının tespit edilmesi ilk olarak, kızartılmış yemler ile beslenen farelerin kanında akrilamid bileşiklerinin keşfedilmesine dayanmaktadır (Bergmark, Calleman, He ve Costa, 1993). Tareke, Rydberg, Karlsson, Eriksson ve Tornqvist (2002) tarafından yapılmış çalışmada ilk kez gıdalarda akrilamid oluşumunun sıcaklığa bağlı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada karbonhidrat bakımından zengin gıdaların fırında pişirilmesi ve kızartılması sırasındaki akrilamid oluşumunun, protein açısından zengin gıdalarda daha yüksek miktarlarda olduğunu tespit etmişlerdir. Akrlamid ısıtılmamış ve haşlanmamış gıdalarda tespit edilmemiştir. (Rosen ve Hellenas, 2002).

Akrilamid, belirli gıdalarda, özellikle karbonhidrat bakımından zengin ve protein içeriği düşük olan gıdalar, kızartma, kavurma veya fırınlama gibi işlemler sırasında, 120°C'nin

üzerindeki sıcaklıklara maruz kaldığında oluşur. Patates cipsi, cips, kahve, hamur işleri ve bisküviler, akrilamid içeren başlıca gıdalar olarak ön plana çıkmışlardır (Anonim, 2005).

2.2. Akrilamid Oluşum Aşamaları

Gıda ürünlerinin işlenmesi ve saklanması için genellikle uygulanan haşlama, pişirme, fırınlama, kızartma, sterilizasyon gibi ısı işlemler 90 °C ile 220 °C arasındaki sıcaklıklarda uygulanmaktadır. Bu tür yüksek sıcaklıklar, gıdaların besin değerini ve güvenliğini azaltan heterosiklik aminler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, N-alkil-N-nitrozaminler ve akrilamid gibi kanserojenik/mutajenik olarak bilinen toksik bileşenlerin oluşumuna neden olmaktadır (Claeys, De Vleeschouwer ve Hendrickx, 2005a).

Akrilamid oluşumunda birçok minör ve majör oluşumlar bulunmaktadır. Gıdalarda akrilamid çoğu zaman, bir amino asit olan asparajin ile glukoz, fruktoz gibi indirgen şekerlerin reaksiyona (Maillard reaksiyonu) girmesiyle oluşmaktadır. Diğer yaygın olan akrilamid oluşum mekanizmaları ise; lipid, karbonhidrat veya serbest aminoasitlerin parçalanması sonucu oluşan akrolein ya da akrilik asit reaksiyonu, asparajinin enzimatik dekarboksilasyonu ile oluşumu, malik, laktik, sitrik asit gibi organik asitlerden su veya karboksil grubu kaybedilmesi olarak sıralanabilir (Richmond ve Borrow, 2003).

2.2.1. Maillard Reaksiyonu Yolu ile Akrilamid Oluşumu

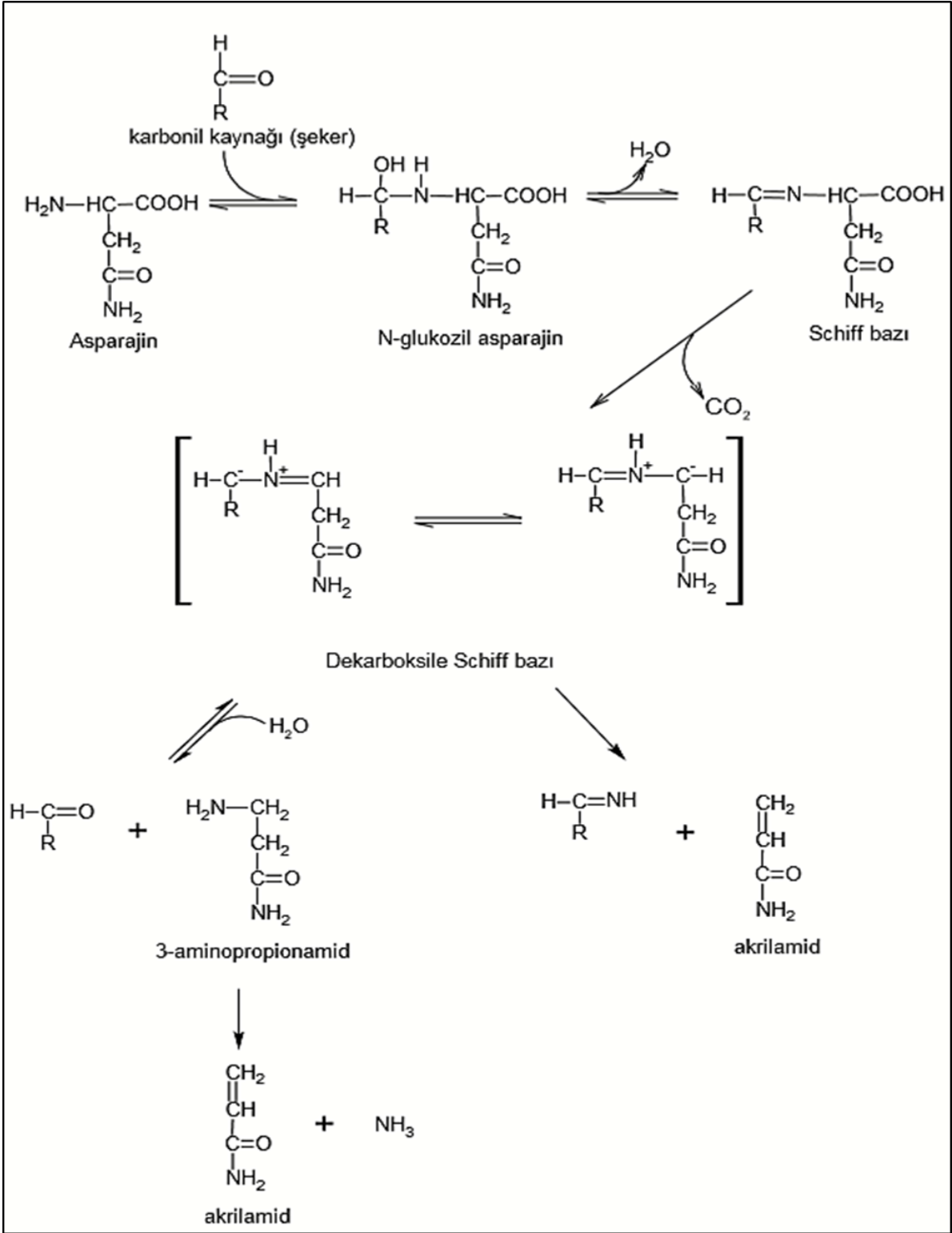
Gıdaların ısıtması sırasında, indirgen şekerler ile amino asitler reaksiyona girerek Maillard reaksiyonu olarak bilinen gıdaların esmerleşmesine yol açan bir dizi olay başlar. Bu işlemin esmerleşme reaksiyonundan sorumlu olduğu daha reaktif monokarbonil ve dikarbonil bileşiklerini ürettiği bilinmektedir (Feather, 1994).

Gıdalarda Maillard reaksiyonunun bir yan reaksiyon ürünü olarak akrilamid oluşmaktadır. Akrilamid oluşumunda karbonillerin gerekli olduğu, ancak dikarbonillerin asparajin kaynaklı akrilamid oluşumu için gerekli olmadığı bilinmektedir (Becalski vd., 2003). Ortam sıcaklığının 120 °C'yi aşması durumunda akrilamid oluşumu sıcaklık ve süreye bağlı olarak değişmektedir. Akrilamid oluşumunun en yüksek düzeye eriştiği sıcaklık aralığının 160-180 °C olduğu tespit edilmiştir (Gökmen, Açar, Akbudak ve Turan, 2006).

Akrilamid üretiminde ilk adım, karbonil ve amino asparajin grubu (N-glukozilasparajin) arasındaki Schiff bazı oluşumudur. N-glukozilasparajin akrilamid oluşumunda temel kaynaktır.

Shiff bazı dekarboksilasyon ile dekarboksile Shiff bazı ürününe dönüşür. Sonrasında dekarboksile Shiff bazı Strecker bozulması ile akrilamid meydana getirir (Nizamlioglu ve Nas, 2019). Strecker bozulması, bir aminoasit ve bir α -dikarbonil bileşiği arasında gerçekleşen ve aminoasitin deaminasyona ya da dekarboksilasyon uğrayarak, orijinal asitten bir eksik sayıda karbon içeren bir aldehit (Strecker aldehit) ve bir α -aminoketon meydana getirdiği bir reaksiyondur. Bu reaksiyonun sonunda bir aldehit (Strecker aldehit) ve bir α -aminoketon meydana gelir. α -dikarbonillerin, akrilamidin öncüsü olarak, Strecker aldehidini veren Strecker bozunma reaksiyonunda gerekli reaktif maddeler olduğunu ileri sürmüşlerdir (Mottram, Wedzicha ve Dodson, 2002).

Bu yol ile akrilamid oluşumunun mekanizmasını belirleyen unsurlar bulunmaktadır. Başta reaksiyona giren öncü maddelerin (özellikle karbonil kaynağı) özellikleri olmak üzere reaktif bileşiklerin konsantrasyonu, nem miktarı, sıcaklık ve uygulanan süre, pH gibi unsurlar akrilamid üretiminde ve konsantrasyonunda etkilidir. Asidik ortam reaksiyon hızını artırır. Maillard reaksiyonu ile akrilamid oluşum mekanizması Şekil 2.1’de verilmiştir.

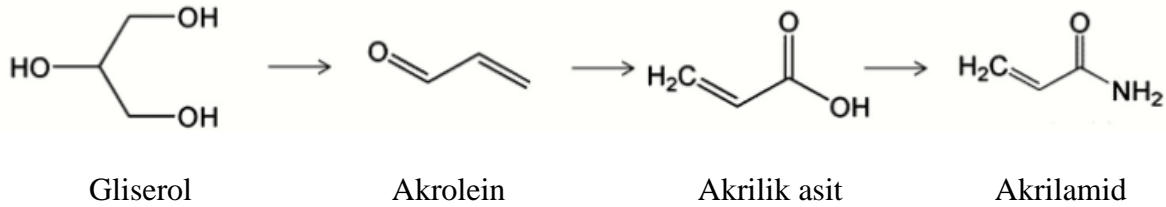


Şekil 2.1. Maillard reaksiyonu ile akrilamid oluşum mekanizması (Zyzak vd., 2003).

2.2.2. Yağlardan Akrilamid Oluşumu

Yağlardan akrilamid oluşumunun temeli çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonu ve bozunma ürünlerinin bir sonucu olarak gliseroldan akrolein oluşumuna dayanmaktadır. Yağlar dumanlanma noktasının üzerindeki sıcaklıklarda ısıtıldığında, gliserol akroleine ayrışır (Claeys vd., 2005a).

Akrolein (2-propanal), lipitlerin dönüştürülmesi veya amino asitlerin ve proteinlerin ve karbonhidratların bozulmasıyla oluşur. Akroleinin akrilik aside oksidasyonu ve sonrasında oluşan akrilik asidin gıdanın içeriğinde azot içeren bileşiklerin pirolizinden üretilen amonyak ile reaksiyonu, akrilamid oluşumuna neden olur (Claeys vd., 2005a). Bu nedenle lipit açısından zengin gıdaların akrilamid oluşumunda önemli bir rol oynadığını düşündürmektedir. Akrilamid gıdalarda ısıl işlemle asparajinden oluşabilir ancak akrolein gibi karbonil bileşikleri esmerleşme reaksiyonu yoluyla oluşumuna katkıda bulunur (Yasuhara, Tanaka, Hengel ve Shibamoto, 2003). Başka bir çalışmaya göre akrilamidin meydana gelişinde akroleinin muhtemel öncü madde olduğu belirtilmektedir (Küçük, 2009). Şekil 2.2’de akroleinden akrilamid oluşum mekanizması verilmiştir.



Şekil 2.2. Akroleinden akrilamid oluşumu (Xu vd., 2014).

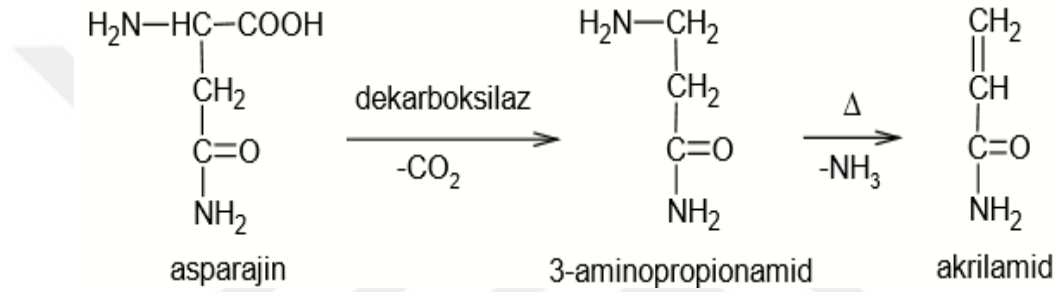
2.2.3. 3-aminopropionamidden (3-APA) Akrilamid Oluşumu

Zyzak vd. (2003), 3-APA'nın, asparajin ile indirgen şeker arasındaki reaksiyondan akrilamid oluşumunda bir ara ürün olduğunu bildirmiştir. 3-APA, asparajinin enzimatik dekarboksilasyonu yoluyla da gıdalarda oluşabilmektedir. 3-aminopropionamid'in yapısından amonyak ayrılmasıyla da akrilamid oluşmaktadır (Granvogl, Jezussek, Koehler ve Schieberle, 2004).

Yapılan bir çalışmada 3-aminopropionamidin, ısıtılmamış çiğ patates içinde asparajinin enzimatik dekarboksilasyonu yoluyla biyokimyasal olarak oluştuğu gözlenmiştir (Granvogl vd., 2004). Bu yol ile oluşan 3-aminopropionamid 'nin akrilamide dönüştürülmesinin etkinliği,

ısıtma işlemi asparajinden akrilamid oluşumu etkinliği ile olandan 12 kat daha fazladır. Bunun sonucunda 3-aminopropionamid' den akrilamid oluşumu etkinliği asparajine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Çiğ patatese ek olarak zeytin (Amrein, Andres, Escher ve Amado, 2007), peynir ve kakao da az miktarda 3-aminopropionamid'e rastlanmıştır (Granvogl ve Schieberle, 2006).

3-aminopropionamid akrilamidin etkili bir öncü maddesi olarak öne çıkmaktadır (Granvogl vd., 2004). Ortamda indirgen şeker bulunmasa bile 3-aminopropionamid ürüne ısıtma işlemi uygulandığında akrilamid oluşturabilmektedir (Zyzak vd., 2003). Şekil 2.3'te asparajinin enzimatik dekarboksilyasyonu ile akrilamid oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Asparajinin enzimatik dekarboksilyasyonu ile akrilamid oluşumu (Granvogl vd., 2004).

2.3. Akrilamid Miktarını Etkileyen Faktörler

Son yıllarda gıdalarda akrilamid miktarlarının belirlenmesi ve akrilamidin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalara göre; akrilamid oluşumunu sağlayan öncü maddelerin miktarlarını ham maddede azaltmak son üründe meydana gelen akrilamid miktarını ciddi bir ölçüde etkilemektedir (Zyzak vd., 2003). Akrilamid oluşumunu belirlemek için yapılan bir çalışmada nişasta içeren gıdalarda akrilamid meydana gelmesi için; indirgen şeker varlığında asparajin, sıcaklık, ürün nemi ve pH'sının etkili olduğu belirtilmiştir (Gertz ve Klostermann, 2002). Yapılan bir çalışmada gıda ürününün şeker içeriği (özellikle glikoz ve fruktoz), ısıtma süresi ve sıcaklığı, pH, su aktivitesi (nem içeriği), reaktanların türü ve konsantrasyonunun, akrilamid oluşumunda kritik faktörler olduğu belirtilmiştir (Alpözen, Güven, Özdehan ve Üren, 2015).

2.3.1. İndirgen Şekerlerin Etkisi

İndirgen şekerlerin Maillard reaksiyonu üzerine etkisini araştırmak için yapılan çalışmalarda protein ve şeker çeşidinin Maillard reaksiyonunu etkilediği belirtilmektedir. Yüksek miktarda indirgen şeker içeriğinin, kahverengi rengin artmasında amino asit miktarından daha etkili olduğu belirtilmiştir (Reineccius, 2006). Farklı miktarda indirgen şeker içeren patateslerin fırınlanması ve kızartılması sırasında akrilamid oluşumunu engelleyen indirgen şeker miktarının belirlenmesi amaçlanan bir çalışmada, patateslerin içeriğindeki indirgen şeker miktarının artmasıyla, ürün aşırı derecede kızarmış ve akrilamid miktarının da hızlı bir şekilde arttığı tespit edilmiştir (Biedermann-Brem vd., 2003). Bu konuda yapılan öneriler, özellikle bebek maması ve hamur formülasyonlarında hammadde seçiminin daha az indirgen şeker içerecek şekilde yapılması ile termal proses kontaminatlarının oluşumunun azaltılması şeklindedir (Kocadağlı vd., 2016).

İndirgen şekerleri, maltoz, laktoz gibi disakkaritler veya glukoz, fruktoz gibi heksozlar oluşturmaktadır. İndirgen olmayan sükroz gibi disakkaritler ve bağlı şekerler (glikoproteinler, glikolipitler ve flavonoidler) Maillard reaksiyonuna hidrolize olduklarında katılabilmektedirler. Şekerlerin reaksiyona girme sırası genel olarak; pentozlar, heksozlar, disakkaritler ve oligosakkaritler (sükroz) olarak verilmektedir (Daniel ve Whistler, 1985; Richardson, 2001). Monosakkaritlerin çeşidi de reaksiyon hızını etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda, α -hidroksi karbonil, asparajinin akrilamid oluşmasında rolünün di-karbonillerden daha etkili olduğu görülmüştür. İki α -hidroksi karbonil grubu içeren fruktoz, glukoz gibi indirgen şekerlerle karşılaştırıldığında akrilamid oluşumunu 2 kat daha fazla artırır (Xu vd., 2014). Fruktozun dâhil olduğu reaksiyonun, glukozun dâhil olduğu reaksiyona oranla 40 kat daha hızlı akrilamid oluşumunun gerçekleştiği belirtilmektedir (Gentry ve Roberts, 2004). Pollien, Lindinger, Yeretziyan ve Blank (2003) fruktozun asparajinden akrilamid oluşumunda glukozla kıyasla daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Biedermann-Brem ve Grob (2003) tarafından yapılan model çalışmalarında fruktozun akrilamid oluşumunda glukoz veya galaktozdan daha etkili olduğunu göstermiştir.

Ürün içeriklerinde şeker tipi olarak glukoz yerine sükroz kullanılması ile meydana gelen akrilamid miktarının belirgin bir ölçüde değiştiği belirtilmektedir (Gökmen, Açar, Köksel ve Açar, 2007).

Fırıncılık ürünlerinde, formülasyonda yer alan şekerlerin kompozisyonu ve miktarları akrilamid oluşumunda kritik öneme sahiptir. Sükroz yerine glukoz varlığında akrilamid miktarının oldukça yükseldiği, bu sebeple de formülasyonlarda glukoz, fruktoz gibi indirgen şekerlerin yerine sükrozun kullanılmasıyla akrilamid oluşumunda %50'den fazla azalma sağlandığı bildirilmiştir (Amrein, Schonbachler, Escher ve Amado, 2004; Gökmen vd., 2007).

Amrein vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, zencefilli keklerin bileşiminde yer alan bal, karamelin ve invert şeker şurubunun akrilamid oluşumu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu ürünler yerine eşdeğer sükroz çözeltisi kullanarak oluşan akrilamid miktarının 20 kat azaldığı tespit edilmiştir. Reaktif karbonil kaynağı eksikliği nedeniyle, Maillard reaksiyonunun ve akrilamid oluşumunun engellendiği, bununla birlikte bu örneklerde istenen esmer rengin yeterince oluşmadığı da ifade edilmiştir.

Graf vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada ise, sükroz kullanılarak üretilen bisküvilerde invert şeker şurubu kullanılarak üretilenlere göre %70 oranında daha az akrilamid oluştuğu bildirilmiştir.

Yapılan bir araştırmada farklı bisküvi hamur formülasyonları ile pişirme koşullarına bakıldığında; formülasyondaki sükroz miktarının 10g'dan 35g'a çıkarılmasının, 205 °C'de 11 dk pişirme sırasında oluşan akrilamid miktarını 2 kat arttırdığı tespit edilmiştir. Formülasyondaki sükrozun glukoz ile ikame edilmesinin ise, pişirme sonrasında kurabiyelerde oluşan akrilamid miktarında büyük bir artışa neden olduğu belirtilmiştir (Gökmen vd., 2007).

2.3.2. Asparajinin Etkisi

Akrilamid oluşumundan öncü madde olan indirgen şekerlerin yanında bir diğer öncü madde olan asparajinin bulunması ve konsantrasyonu akrilamid oluşumunu önemli bir ölçüde etkilemektedir. Zyzak vd. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada akrilamid oluşumunda asparajinin öncü bir aminoasit olduğunun kesin kanıtına ulaşılmıştır. Asparajin miktarı arttıkça akrilamid oluşum düzeyinin de arttığı bildirilmiştir (Becalski vd., 2003; Rydberg vd., 2003).

Amrein vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada asparajinin akrilamid oluşumunda sınırlayıcı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Zencefilli ekmeğin hamuru içeriğinde 80 mg/kg serbest asparajin bulunduğu ve pişirme işleminden sonra akrilamid miktarının 500 µg/kg olarak tespit edildiği bildirilmiştir. Asparajinin akrilamid oluşumuna etkisini araştırmak için zencefilli ekmeğin hamuruna 250 mg asparajin eklenmesiyle, akrilamid miktarının 4 kat arttığı

tespit edilmiştir. Zencefilli ekmek hamuruna eklenen 1000 mg/kg asparajin ile oluşan akrilamid miktarının ise 8000 µg/kg'dan daha yüksek çıktığı rapor edilmiştir. Asparajin eklenmesiyle ürünlerin renginin koyulaştığı gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada serbest asparajinin zencefilli ekmeklerde akrilamid oluşumunu büyük ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Serbest asparajinin esas kaynağının, kullanılan un olduğu ancak bunun yanında formülasyona giren bal gibi ingrediyenlerin, hamurundaki serbest asparajin miktarını arttırmaya katkı sağlayabileceği belirtilmiştir.

Ürünlerde akrilamid içeriğinin azaltılması için, daha az serbest asparajin içeriğine sahip ürünlerin seçilmesi veya asparajinaz enzimi kullanılarak asparajin miktarının düşürülmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Amrein vd., 2004).

2.3.3. pH ve Nem Miktarının Etkisi

Gıdaların pH değeri ve nem miktarı, akrilamid oluşum düzeyini önemli ölçüde değiştirmektedir. Maillard reaksiyonunun istenmediği durumlarda pH değerinin düşürülmesiyle, reaksiyonun azaltılması ya da engellenmesi sağlanır. Çalışmalar sonucunda, akrilamid oluşum seviyesinin pH 7 ve 8 aralığında değişen değerlerde en yüksek aktivite tespit edilmiştir. Ayrıca nem miktarı değişen gıda sistemleri arasında, akrilamid düzeyleri açısından farklılıklar olduğu görülmüştür. Maillard reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için %12-18'lik nem seviyesine ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır. Nem miktarının artmasıyla optimum akrilamid oluşum şartlarına ulaşmak zaman almakta ve akrilamid oluşumunu azaltabilmektedir (Claeys, De Vleeschouwer, ve Hendrickx, 2005b). Gıda ürünlerinin kabuğunda, ısının, daha yüksek su iyonlaşması ve su aktivitesi nedeniyle, ürün pH'sının düşmesine neden olarak Maillard reaksiyon ürünlerini oluşturduğu belirtilmektedir (Gertz ve Klostermann, 2002).

Elmore Koutsidis, Dodson, Mottram ve Wedzicha (2005) tarafından yapılan bir çalışmada çavdar, patates ve buğday unundan yapılan ve 180 °C'de pişirilen keklerin akrilamid miktarları araştırılmıştır. Çalışmada nem miktarının artmasıyla, oluşan akrilamid miktarında azalma tespit edilmiştir. Keklerin nem içeriği %5'in altına düşene kadar akrilamidin belirgin ölçüde oluşmadığı görülmüştür.

Taeymans vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, bisküvi örneklerinin içerdiği nem miktarı ile akrilamid oluşumu arasındaki ilişki incelenmiştir. %10 nem oranı içeren bisküvilere uygulanan farklı pişirme koşullarında akrilamid oluşmadığı görülmüştür. %6 ve %2

nem içeriğine sahip olan bisküvilerde ise uygulanan sıcaklık derecesi arttıkça oluşan akrilamid miktarında artış tespit edilmiştir. Bununla birlikte, %2 nem oranı içeren bisküvilerde meydana gelen akrilamid miktarı %6 nem oranına sahip bisküvilere göre çok daha yüksek miktarlarda akrilamid bulunmuştur. Çizelge 2.1’de bisküvilerde pişirme sıcaklığı ve nem içeriğinde göre akrilamid miktarları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bisküvilerde pişirme sıcaklığı ve nem içeriğine göre akrilamid konsantrasyonları (Taeymans vd., 2004).

Sıcaklık °C	Bisküvilerin Nem İçeriği		
	%10 nem içeriğinde akrilamid miktarları (µg/kg)	%6 nem içeriğinde akrilamid miktarları (µg/kg)	%2 nem içeriğinde akrilamid miktarları (µg/kg)
120	<20	<20	165
160	<20	28	229
200	<20	39	363

Fırıncılık ürünlerinde kabarmayı geliştirmek için organik asitler kullanılmaktadır. Hamura asit eklenmesi ve pH'nın düşmesiyle akrilamid seviyesinde azalma olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Jung, Choi ve Ju, 2003; Rydberg vd., 2003; Kita, Brathen, Knutsen ve Wicklund, 2004; Cook ve Taylor, 2005).

Kızartılmış mısır cipsi ve patates kızartmasını sırasıyla %0,1-0,2 ya da %1-2 oranında sitrik asit çözeltilerine batırılarak ürünlerdeki pH seviyesinin düşürülmesiyle daha az miktarda akrilamid oluştuğu görülmüştür (Jung vd., 2003).

Yapılan bir çalışmada ürüne sitrik asit eklenmesiyle, pH'sı 4,48 olduğunda akrilamid miktarı %23,5 azaltmış, pH'sı 3,93 olduğunda ise akrilamid miktarı %47 azaldığı tespit edilmiştir. pH'nın düşürülmesi ile akrilamid oluşumunun azalması arasındaki korelasyon ürün çeşidine, ürünün başlangıç pH'sı ve diğer parametreler nedeniyle değişiklik gösterebilmektedir (Cook ve Taylor, 2005).

Kita vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı asit çözeltilerine daldırılan patates cipslerindeki akrilamid içeriğindeki değişim araştırılmıştır. Hazırlanan asetik asit solüsyonuna patates dilimlerini 20 °C sıcaklıkta 60 dk boyunca daldırılmasıyla pişirilen

ürünlerde akrilamid miktarında %90 azalma gözlenmiştir. Ayrıca, patateslerin kurutulmasıyla, patates dilimlerinde 185 °C'de kızartıldığında akrilamid miktarı %70 ve 160 °C'de kızartıldığında akrilamid miktarının ise %80 azaldığı tespit edilmiştir. Düşük akrilamid miktarı ve iyi duyu kalitesi olan cipsler ön işlem olarak asetik asit içinde bekletilmesiyle veya patateslerin kurutularak düşük sıcaklıkta kızartılmasıyla elde edilmiştir.

Rydberg vd. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada patates numunesine %1 askorbik asit eklendiğinde akrilamid içeriğinde önemli bir azalma gözlemlenmiş ve etkinin pH'ın düşürülmesiyle askorbik asidin su bağlama özelliği ile açıklanmıştır.

2.3.4. Diğer Bazı Bileşenlerin Etkisi

Amrein vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada zencefilli ekmek ile bisküvi formülasyonunda yer alan kabartmayı sağlamanın yanı sıra yüzey esmerleşmesinin oluşmasını da sağlayan önemli bir bileşen olan amonyum bikarbonat kullanımının akrilamid oluşumuna etkisi incelenmiştir. Amonyum bikarbonatın akrilamid oluşumunu yükselttiği, yokluğunda ürünlerde neredeyse hiç akrilamid oluşmadığı ve sodyum bikarbonat kullanımında ise akrilamid oluşumunu 1/3 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir. Ortamdaki amonyak varlığının akrilamid oluşumunda önemli bir etken olarak görüldüğü belirtilmiştir.

Endüstriyel pişirme denemelerinde, amonyum bikarbonat pişirme yardımcısı olarak kullanıldığında, akrilamid oluşumunu arttırdığı görülmüştür. Endüstriyel üründe kullanılan un tam buğday unu olması durumunda, amonyum bikarbonat eklendiğinde oluşan akrilamid miktarında artış gözlenmiştir (Taeymans vd., 2004).

Mestdagh vd. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada ürüne NaCl eklenmesinin akrilamid miktarını düşürmediğini, 200 µmol/g karışım konsantrasyonunda NaCl eklenmesinin bile akrilamid içeriğini önemli ölçüde azaltmadığı belirtilmiştir. Gıda maddelerinde NaCl'nin model sistemlere kıyasla daha fazla akrilamid düşürücü özelliğine sahip olduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur (Franke, Sell ve Reimerdes, 2005; Gökmen ve Şenyuva, 2007; Pedreschi, Granby ve Risum, 2010; Kolek, Simko ve Simon 2006).

Gökmen ve Şenyuva (2007) tarafından yapılan bir çalışmada Maillard reaksiyonuyla akrilamid oluşumu iki değerlikli katyonlarla engellenmiştir. Patatesler, kızartma işlemi öncesinde çeşitli solüsyonlara farklı sürelerde daldırılmasının ardından (15, 30, 60 dk) kızartıldıktan sonra akrilamid analizleri yapılmıştır. Herhangi bir ön işlem olmaksızın, patates

dilimlerinin 170 °C'de 5 dk kızartılması üzerine 711±33 µg/kg akrilamid miktarı tespit edilmiştir. Patateslerin suya 15, 30, 60 dk daldırılmasıyla kızartılan patateslerin akrilamid miktarları sırasıyla 655±18 µg/kg, 628±59 µg/kg, 589±41 µg/kg olarak tespit edilmiştir. Patateslerin 0,1 molar NaCl çözeltisine 15, 30, 60 dk daldırılarak kızartılmasıyla akrilamid miktarları sırasıyla 430±58 µg/kg, 328±39 µg/kg, 302±41 µg/kg olarak tespit edilmiştir. Patateslerin 0,1 molar CaCl₂ çözeltisine 15, 30, 60 dk daldırılarak kızartılmasıyla akrilamid miktarları sırasıyla 151±14 µg/kg, 60±8 µg/kg, 40±3 µg/kg olarak tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda NaCl ve CaCl₂ çözeltilerinin, akrilamid miktarını azaltıcı bir etkiye sahip oldukları rapor edilmiştir.

Pedreschi vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, NaCl çözeltisine daldırılıp kızartılan patates cipsi örneklerinde akrilamid oluşumu araştırılmıştır. Kızartmadan önce patates dilimlerinin farklı işlemler uygulanmıştır. Yapılan işlemlerin birinde patates dilimleri, 90 °C'de 5 dk boyunca haşlanıp sonrasında, 25 °C'de 1g/100g NaCl çözeltisinde 5 dk boyunca daldırılmış ve 170 °C'de 5 dk pişirilen patates dilimlerinin akrilamid içeriğinin %62 oranında azaltılmasında etkili olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, akrilamid oranının azalmasındaki bu yüzdenin yarısı NaCl'nin etkisine bağlanmıştır. Haşlama işlemi, patates dokusundaki NaCl emilimini kolaylaştırması, kızartma sonrasında patates dilimlerinde oluşan akrilamid miktarını önemli derecede azalttığı tespit edilmiştir.

NaCl'nin karışımdaki akrilamid oluşumu üzerindeki etkisini incelemek için oluşturulan asparagin/D-glukozun eşmolar karışımına %1, 5 ve 10 oranlarında NaCl eklenmesiyle oluşan akrilamid miktarı araştırılmıştır. Karşılaştırma amacıyla, aynı koşullarda NaCl ilavesi olmadan hazırlanan karışımda da akrilamid oluşumu incelenmiştir. Sonuçlar, NaCl ilavesi içermeyen karışıma kıyasla %1, %5 ve %10 oranlarında NaCl eklenmesiyle oluşan akrilamid içeriğini sırasıyla %32, %36 ve %40 oranlarında düşürdüğü tespit edilmiştir. NaCl ilaveli tüm karışımlarda NaCl'nin akrilamid oluşumu üzerinde inhibe edici etkisi olduğu kanıtlanmıştır (Kolek vd., 2006).

Yapılan bir çalışmada yağların akrilamid oluşumundaki etkisi araştırılmıştır. Yüksek sıcaklıkta yağların parçalanmasıyla akrolein bileşiğini meydana getirdiği ve bu bileşiğin oksidasyonu sonucunda oluşan akrilik asidin amonyak ile tepkimesiyle akrilamid oluştuğu tespit edilmiştir. Amonyak ve akroleinin, lipit açısından zengin gıdalarda akrilamid oluşumunda önemli rol oynadıkları ifade edilmektedir (Yasuhara vd., 2003).

Yapılan bir çalışmaya göre patateslerin kızartılması sırasında kullanılan yağ çeşidi ve miktarına bağlı olarak oluşan akrilamid miktarı araştırılmıştır. Farklı yağlar (susam, mısır ve zeytinyağı) kullanıldığında patateslerde oluşan akrilamid miktarında artış görülmüştür. Oluşan akrilamid miktarı, susam yağı ilavesiyle kızartılan patateslerde, mısır yağı ve zeytinyağında kızartılan patateslere kıyasla daha yüksek tespit edilmiştir. Yağlar tek başına ısıtıldığında, akrilamid miktarı tespit edilmemiştir (Tareke, 2003).

Özkaynak (2006) tarafından yapılan bir çalışmada sigara böreklerini ayçiçek, zeytin ve mısırözü yağında kızartılmasıyla akrilamid oluşumuna etkisi araştırılmıştır. Sigara börekleri zeytin, ayçiçek ve mısırözü yağında 175 °C'de 5, 10, 20 dk boyunca kızartıldıktan sonra akrilamid miktarları incelenmiştir. En yüksek ayçiçek yağında kızartılarda akrilamid miktarı 171,1 µg/kg olarak bulunurken, en düşük mısırözü yağında kızartılarda akrilamid miktarı 55,1 µg/kg olarak tespit edilmiştir. Her üç yağ türünde kızartılan sigara börekleri süre artışına bağlı olarak oluşan akrilamid miktarlarında artış görülmüştür.

Brathen, Kita, Knutsen ve Wicklind (2005) tarafından yapılan bir çalışmada akrilamidi düşürmek amacıyla patates ve tahıl ürünlerine glisin eklenmiştir. Ekmek ve pide hamurunun hazırlanması sırasında bir miktar glisinin eklenmesiyle, ekmek ve pide kabuğunda akrilamid miktarını düşürdüğü tespit edilmiştir. Ekmek ve pide kabuğundaki akrilamidin azalması pişirme koşullarına göre %50 ile %90 arasında değişkenlik gösterirken, pide kabuğundaki azalmanın %60 ile %95 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

2.3.5. Pişirme Süresinin ve Sıcaklığın Etkisi

Akrilamid miktarı, gıdalarda pişirme süresi ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Yapılan araştırmalara göre ısı işlem uygulanmamış gıdalarda akrilamid oluşmadığı tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulandıktan sonra karbonhidrat içeriği zengin olan gıdalarda, protein içeriği zengin olan gıdalara oranla oluşan akrilamid miktarının daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Tareke vd., 2002). Farklı pişirme süreleri ve sıcaklığın, akrilamid miktarını geniş ölçekli değiştirdiği bilinmektedir. Yapılan bir çalışmayla bademlerin kavrulmasıyla akrilamidin zamanla arttığını ve sıcaklığın akrilamid oluşumu üzerinde zamandan çok daha güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Amrein vd., 2005).

Yapılan bir çalışmada bademlerin 130 °C'de kavrulmasıyla az miktarda akrilamid oluşumu gözlenmiştir. Kavurmanın ilk 11 dakikasında akrilamid tespit edilmemiş. 40 dk

kavurma işleminden sonra akrilamid miktarı 236 µg/kg olarak ölçülmüştür. 150 °C'de 25 dk boyunca kavruan bademlerde akrilamid miktarı, 130 °C'de 40 dk boyunca kavruan bademlere kıyasla 6,5 kat daha fazla tespit edilmiştir. Bu, sıcaklığın akrilamid oluşumu üzerinde zamandan daha güçlü bir etkiye sahip olduğunu açıkça göstermektedir. 150 ve 180 °C'de uzun kavurmanın ise daha düşük akrilamid konsantrasyonları ile sonuçlanabileceği belirtilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda uzun süreli kavurmanın, akrilamid oluşumunda inhibe edici bir etki sağladığı görülmektedir (Amrein vd., 2005).

Gökmen ve Şenyuva (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, patatesler 150 °C, 170 °C, 190 °C'de 9 dk kızartılarak akrilamid miktarları araştırılmıştır. Uygulanan sıcaklığın artmasıyla patateslerde oluşan akrilamid miktarında artış tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada bisküvilerin pişirme sıcaklığının ve süresinin akrilamid oluşumu üzerine etkisi incelenmiştir. Bisküviler 205, 190, 180 ve 170 °C sıcaklıklarda ve farklı sürelerde pişirilerek akrilamid miktarı araştırılmıştır. Hamur formülasyonlarına ve pişirme sıcaklıklarının artışına bağlı olarak akrilamid oluşumunun arttığı tespit edilmiştir. Bisküvilerin 170 °C'de pişirilmesiyle akrilamid oluşumu %17,5 oranında azaltılmış, ancak bisküvi yüzeyinin yeterince esmerleşmediği gözlenmiştir. Sonuç olarak düşük sıcaklıkta pişirmenin akrilamid oluşumunu azalttığı gözlenirse de ürünün nem içeriğine ulaşmak için pişirme süresinin arttırılması gerektiği belirtilmiştir. Bu uygulamanın ise endüstriyel boyutta uygun olamayacağı ifade edilmiştir (Uzunlu ve Herken, 2016). Gökmen vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada bisküvilerde oluşan akrilamid miktarının 150 ng/g altında olması ve esmerleşme artışının önlenmesi için 160 °C'de 25 dk pişirilmesi önerilmektedir.

Ahrne, Andersson, Floberg, Rosen ve Lingnert (2007) tarafından yapılan bir çalışmada beyaz ekmeğin 200, 230 ve 260 °C'de pişirilmesi sırasında oluşan akrilamid miktarları araştırılmıştır. Her sıcaklıkta, en kısa pişirme süresi, yani ekmeğin merkezinin 98 °C sıcaklığa ulaşması için gereken süre olarak belirlenmiştir. Pişirme süresinin uzatılmasının, oluşan akrilamid miktarına etkisini tespit etmek amacıyla, en kısa pişirme süresine her pişirme sıcaklığında 5 ve 10 dk arttırılmıştır. Ekmeğe uygulanan ısı işleminden sonra ekmeğin içi ve kabuğundaki nemi ve akrilamid miktarı ölçülmüştür. Ekmek kabuğunda nem miktarını düşük akrilamid miktarını yüksek bulunmuştur. En yüksek akrilamid miktarı, 260 °C'de 15 dk boyunca pişirmesiyle gözlenmiştir. Bununla birlikte, 260 °C'de 20 dk pişirilen ekmekte, akrilamid miktarı daha düşük tespit edilmiştir. Ekmek kabuğunda oluşan akrilamid miktarı iç kısmında oluşandan daha yüksek çıkmıştır. Yüksek sıcaklıklar akrilamid miktarını arttırsa da,

çok yüksek sıcaklık ve düşük nem içeriğinin, akrilamid miktarını düşürdüğü ancak ekmeğin rengini olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Gökmen, Palazoğlu ve Şenyuva (2006) tarafından yapılan bir çalışmada patatesin kızartılmasında kızartma sıcaklığının ve süresinin, patatesin merkez ve yüzeylerinde akrilamid oluşumuna etkileri araştırılmıştır. Patates dilimlerinde 150, 170 ve 190 °C' de kızartma boyunca merkez ve yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Merkez sıcaklığı, 9 dk içinde 103-104 °C' yi aşmamışken, yüzey sıcaklığı çok daha yüksek ölçülmüştür. Yüzeyin akrilamid miktarı, patateslerin 150, 170 ve 190 °C' de 9 dk kızartılmasından sonra sırasıyla 72, 2747 ve 6476 ng/g tespit edilirken, patateslerin 150 ve 170 °C'de 9 dk kızartıldıktan sonra merkezinde akrilamid oluşumu gözlenmemiştir. Patateslerin 190 °C'de kızartılmasıyla 376 ng/g akrilamid miktarı tespit edilmiştir. Sonuçlar, patates dilimlerinin merkez ile yüzeyin akrilamid miktarları arasında büyük bir fark olduğunu göstermiştir.

Patates dilimlerinin, fruktoz, glukoz ve asparajin içeriği gibi akrilamid oluşumuna öncü maddelerin varlığını azaltmak amacıyla patatesleri kızartmadan önce ıslatma işleminin akrilamid oluşumuna etkisi araştırılmıştır. Patates dilimi örneklerinin oda sıcaklığındaki suyun içerisinde 20 ve 40 dk bekletilmesi, 50 °C de 15 ve 30 dk bekletilmesi ve 70 °C de 5 ve 10 dk bekletilmesiyle akrilamid miktarları belirlenmiştir. Oda sıcaklığındaki su içerisinde 20 dk bekletilen patates dilimlerinde akrilamid miktarı %39,46 azalırken, 40 dk bekletilen patates dilimlerindeki azalma %56,46 olarak gözlenmiştir. 50 °C'deki suda bekletilen patates dilimleri oda sıcaklığında bekletilen patates dilimleriyle kıyaslandığında akrilamid miktarındaki azalma daha yüksek bulunmuştur. Akrilamid içeriğindeki en yüksek azalma 70 °C deki su içerisinde 10 dk bekletilmesiyle saptanmıştır. Yapılan çalışmanın neticesinde, patates dilimlerine uygulanan ön ıslatma işleminin akrilamid oluşumuna öncü maddeleri azaltıp oluşan akrilamid miktarının düşmesini sağladığı ifade edilmektedir (Karakul, 2006).

Taeymans vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, 220 °C derecedeki bir fırında pişirilen bisküvilerde akrilamid oluşumu incelenmiştir. Bisküvilerin 220 °C sıcaklıkta fırında pişirilmesi sırasında, bisküviden buharlaşan suyun soğutma etkisi ile bisküvi yüzeyinin 120 °C'yi, merkezinde 80 °C'yi aşmadığı görülmüştür. Literatürdeki bazı raporlar, bisküvi merkezinin düşük sıcaklığında akrilamidin çok az veya hiç oluşmamasını beklemektedir. Ancak, bisküvinin her iki bölgesinden alınan örneklerde akrilamid görülmektedir. Bisküvi yüzeyinde 270 µg/kg, merkezinde ise 128 µg/kg akrilamid miktarı tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, patates cipslerindeki akrilamid oluşumunun azaltılması için, 3 farklı kızartma sıcaklığında ve kızartmadan önce üç farklı işleme göre akrilamid miktarları incelenmiştir. Birinci işlemde patates dilimleri 0, 40 ve 90 dk boyunca saf suda bekletilmişlerdir. İkinci işlemde farklı zaman-sıcaklık kombinasyonlarında, 50 °C'de 30 ve 70 dk, 70 °C'de 8 ve 40 dk ve 90 °C'de 2 ve 9 dk boyunca suda haşlanmışlardır. Son işlemde ise, 30 dk boyunca farklı derişimlerde (10 ve 20 g/l) sitrik asit çözeltilerine daldırılmıştır. Kızartma öncesinde patates dilimlerinde glukoz ve asparajin konsantrasyonu belirlenirken, patates dilimlerinin 150, 170 ve 190 °C'de kızartılmasından sonra akrilamid miktarları incelenmiştir. Saf suda 90 dk boyunca bekletilen patates dilimlerindeki glukoz içeriğinin %32 oranında azaldığı gözlenmiştir. Suda bekletilen patates dilimlerinde sırasıyla 150, 170 ve 190 °C'de kızartılmasıyla akrilamid oluşumunda %27, %38 ve %20' lik bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Haşlama işlemi glukoz ve asparajin içeriğini %76 ve %68 oranında azaltmıştır. 70 °C'de ve 50 °C'de haşlanan patates dilimleri, 190 °C'de kızartılmış olsalar bile çok düşük seviyelerde akrilamid miktarı tespit edilmiştir. Patates dilimleri 10 ve 20 g/l sitrik asit çözeltilerinde 30 dk bekletilip, 150 °C' de kızartılmış dilimler için akrilamid oluşumunun %70 oranında azaldığı görülmektedir. Araştırmada incelenen üç ön işlem için, kızartma sıcaklığı 150 °C'den 190 °C'ye yükseldikçe, akrilamid oluşumunun önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır (Pedreschi, Kaack ve Granby, 2004).

Surdyk Rosen, Andersson ve Aman (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, asparajinin, fruktozun ve pişirme koşullarının mayalı ekmekteki akrilamid içeriği üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma ile, ekmekteki akrilamid miktarının %99'undan fazlasının ekmek kabuğunda bulunduğu, ekmek içinde ise eser miktarda akrilamid olduğu gösterilmiştir. Bu durum unlu mamullerin iç kısımlarının 100 °C gibi daha düşük sıcaklığa erişmesi ile açıklanabilmektedir. Asparajin, ekmek kabuğunda akrilamid içeriğini önemli ölçüde arttırırken, eklenen fruktozun akrilamid oluşumuna herhangi bir etkide bulunmadığı tespit edilmiştir. Esas olarak fruktoz, sıcaklık 200 °C'nin üzerine çıktığında ekmek kabuğunda oluşan akrilamid miktarını arttırmıştır. Aynı bileşenlerle farklı koşullarda pişirildiğinde, kabuktaki renk ve akrilamid içeriği arasında oldukça anlamlı bir ilişki ($p < 0.001$) tespit edilmiştir. Bununla birlikte, asparajin eklenmesinin, ekmek rengine herhangi bir değişikliğe yol açmadığı görülmüştür. Bu da esmerleşme reaksiyonlarında esas olarak diğer amino bileşiklerinin rol oynadığını göstermiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar, uygun hammadde seçimiyle, formülasyonda yapılan değişikliklerle ya da proses şartlarının modifiye edilmesiyle gıdalarda bulunan akrilamid miktarının azaltılabileceğini göstermektedir. Gıda güvenliği konusunda Avrupa Gıda Güvenliği Kurumu ve Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi gibi uluslararası kuruluşlar, gıdaların akrilamid seviyelerinin düşürülmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, gıdalardaki akrilamid miktarını etkileyen gıda üretim uygulamaları ile ilgili yapılacak çalışmalar önem taşımaktadır.

2.4. Farklı Gıdalardaki Akrilamid Miktarları

Literatürde çeşitli gıda ürünlerinde akrilamid oluşumunun incelendiği birçok çalışma vardır.

Şenyuva ve Gökmen (2005), tarafından yapılan bir çalışmada ülkemizde üretilip tüketilen gıdaların akrilamid içeriklerini araştırmıştır. Buna göre gıda ürünleri akrilamid içeriklerine göre çoktan aza doğru şu şekilde sıralanabilir: krakerler > patates cipsi > bisküviler > kekler > bebek besinleri > mısır cipsi > kurabiyeler > kahvaltılık tahıllar > ekmekler > ızgaralar > gofretler > çikolatalar. Çizelge 2.2’de bazı gıda gruplarının minimum ve maksimum akrilamid miktarları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı gıda gruplarının maksimum ve minimum akrilamid miktarları (Şenyuva ve Gökmen, 2005)

Gıda Grupları	Numune Sayısı	Akrilamid ¹ (ng/g)	
		Minimum	Maksimum
Patates cipsi	9	209	1987
Bisküviler	19	<LOQ	1326
Kekler	8	<LOQ	734
Bebek besinleri	3	<LOQ	293
Mısır cipsi	8	<LOQ	258
Kurabiyeler	10	<LOQ	611
Kahvaltılık tahıllar	5	40	257
Ekmekler	16	<LOQ	287
Izgaralar	4	<LOQ	359
Gofretler	15	<LOQ	281
Çikolatalar	12	<LOQ	169
Krakerler	11	21	3789

¹Bazı istatistiksel analizlerde LOQ (15 ng/g) altındaki değerler 0 kabul edilmiştir.

Türkiye'de yapılan bir diğer benzer çalışmada ise Türkiye pazarındaki kraker, bisküvi, bebek bisküvisi, ekmek, pide, patates cipsi, kırmızıbiber, kızartılmış patates, poğaç, kakao, türk kahvesi, omlet, pilav, patlamış mısır, zeytin, hazır çorba, bebek maması, kemalpaşa tatlısı, tulumba tatlısı, kadayıf, helva, kakao, pekmez, tahin, çikolata, çilek reçeli gibi farklı çeşitlerde gıdaların akrilamid miktarları araştırılmış. Sonucunda gıda grupları ve aynı gıda gruplarındaki farklı markalar arasında büyük farklılıklar tespit edilmiştir. Akrilamid miktarı patates cipsinde 834 µg/kg, kemalpaşa tatlısında 512 µg/kg, kızartılmış patateste 403 µg/kg, türk kahvesinde 266 µg/kg, tulumba tatlısında 241 µg/kg, krakerde 247 µg/kg, bisküvide 198 µg/kg, patlamış mısırdan 171 µg/kg, bebek bisküvisinde 152 µg/kg, poğaçada 120 µg/kg, pekmezde 95 µg/kg, helvada 93 µg/kg, çikolata 75 µg/kg, tahinde 69 µg/kg, hazır çorbada 50 µg/kg, zeytinde 82 µg/kg, ekmekte 38 µg/kg, kırmızıbiber, omlet, bebek maması, çilek reçeli, pide, kakao, kadayıf ve pilavda 10 µg/kg'dan daha düşük tespit edilmiştir. Geleneksel Türk yemekleri arasında, yüksek sıcaklıkta kızartılarak pişirilen kemalpaşa ve tulumba gibi tatlıların, yüksek seviyelerde

akrilamid içerdiği görülmüştür (Ölmez, Tuncay, Özcan ve Demirel, 2008). Patates ürünlerinin akrilamid miktarının yüksek olmasının başlıca nedeni Maillard reaksiyonunun gerçekleşmesinde önemli bir öncü madde olan asparajinin bu üründe fazla miktarda bulunmasıdır (De Wilde vd., 2005).

Yapılan bir çalışmada bazı gıdalarda akrilamid miktarları araştırılmıştır. Patates cipsi 399 ile 1202 µg/kg arasında, patates kızartması 159 ile 963 µg/kg arasında, bisküviler 169 ile 518 µg/kg arasında, gevrek ekmek ve krakerler 87 ile 459 µg/kg arasında ve kahve 3 ile 68 µg/l arasında değiştiği tespit edilmiştir (Food and Agricultural Organization/World Health Organization (FAO/WHO), 2011).

Gündüz, Bilgin ve Cengiz (2017) tarafından yapılan bir çalışmada bazı ticari kraker, bisküvi ve bebek bisküvilerinin akrilamid seviyeleri GC-MS metoduyla araştırılmıştır. Krakerler susamlı, baharatlı, tuzlu ve peynirli olarak 4 gruba ayrılmıştır. Kraker grupları arasında en yüksek akrilamid seviyesi 2666 µg/kg'a ulaşan baharatlı krakerlerde tespit edilmiştir. Bisküviler sade, kepekli, kakaolu, yulafli ve tam buğday olarak 5 gruba ayrılmışlardır. Bisküvi çeşitleri arasında en yüksek akrilamid seviyesi 1153 µg/kg'a ulaşan yulafli bisküvide görülmüştür. Bebek bisküvilerindeki akrilamid miktarı, bisküvi ve krakerlerden daha düşük tespit edilmiştir. Genel olarak kraker, bisküvi ve bebek bisküvilerinin ortalama akrilamid miktarları sırasıyla 604, 495 ve 153 µg/kg olarak tespit edilmiştir. 90 ticari örneğin akrilamid içeriği, ürün tiplerine ve farklı markalara bağlı olarak geniş bir değişiklik göstermiştir. Bisküvilerde ve kurabiyelerde genel olarak oluşan akrilamid miktarlarına bakılarak, bu ürünlerde akrilamid için ortalama sınır değer 200 ng/g olarak ifade edilebilir (Wenzl ve Anklam, 2007; Açar ve Gökmen, 2010).

Yapılan bir çalışmada, İtalyan pazarında yaygın olan bazı ürünlerin akrilamid seviyeleri araştırılmıştır. Yaygın olarak ürünlerin üretilmesinde kullanılan domates sosu, pirinç ve fast food türü gıdalarda akrilamid miktarları GC-MS metoduyla araştırılmıştır. Sonuçlar, pirincin akrilamid seviyesinin risottodan farklı olduğunu göstermiştir. Haşlanmış pirinç için akrilamid miktarı 50 µg/kg'dan düşük tespit edilirken, risotto üretmek için çeşitli bileşenler eklendiğinde 113 µg/kg'a yükseldiği gözlenmiştir. Domates sosunun akrilamid miktarı 50 µg/kg'dan az tespit edilirken, zeytin ve kapari gibi diğer bileşenler eklendiğinde akrilamid miktarı 124 µg/kg'a yükselmiştir. Kızartılmış patates gibi fast food türü gıdalarda pişirme yöntemlerinden ve akrilamid miktarını etkileyen öncü maddelerin yüksek olmasından dolayı bu tarz ürünlerde daha yüksek akrilamid miktarı tespit edilmiştir (Tateo, Bononi ve Andreoli, 2007).

Amrein vd. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada kavrulmuş badem, bademli fırıncılık ürünleri, çiğ badem ve badem ezmesi gibi 86 farklı badem ürününde akrilamid analizi yapılmıştır. En yüksek akrilamid miktarı koyu kavrulmuş bademlerde 400 µg/kg civarında bulunurken, unlu mamullerde orta derecede akrilamid içeriği tespit edilmiştir. Farklı koşullar altında kavurma işlemiyle akrilamidin zamanla arttığını ve sıcaklığın akrilamid oluşumunda zamandan daha güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Kavurma sırasında indirgen şekerlerin, serbest asparajinden daha hızlı ve daha büyük ölçüde tüketilmesiyle, indirgen şeker içeriğinin kavrulmuş bademlerde akrilamid oluşumu için kritik bir faktör olduğu belirtilmiştir. Kavrulmuş bademlerin oda sıcaklığında depolamasında akrilamidin azaldığı tespit edilmiştir.

Süvari (2015), tarafından yapılan bir çalışmada badem içi, ayçiçeği çekirdeği ve yer fıstığının 3 farklı sıcaklıkta kavrulması sonucunda oluşan akrilamid miktarları araştırılmıştır. Akrilamid analizinin yanısıra örneklere kuru madde, kül, pH, protein, yağ, renk ve duyu analizleri yapılmıştır. Akrilamid analizi sonucunda kavrulmamış kuruyemiş çeşitlerinde akrilamid bulunmazken, kavurma sıcaklığının artmasıyla akrilamid miktarlarının arttığı tespit edilmiştir. Ortalama akrilamid miktarları ayçiçeği çekirdeğinde 39,92±12,94 ng/ml, badem içinde 130,19±103,18 ng/ml, yer fıstığında 34,69±18,14 ng/ml olarak tespit edilmiştir.

Türkiye'deki 1-3 yaş arası yeni yürümeye başlayan çocuklar arasında seçilmiş tahıl bazlı bebek maması örneklerinde akrilamid miktarı araştırılmıştır. Bebek bisküvisi, ekmek, peksimet, kraker, bisküvi, kahvaltılık gevrek ve toz halindeki tahıl bazlı bebek mamalarının ortalama akrilamid düzeyleri sırasıyla 153, 225, 121, 604, 495, 290 ve 36 µg/kg olarak belirlenmiştir (Cengiz ve Gündüz, 2013).

Weisshaar (2004) tarafından yapılan bir çalışmada fırıncılık ürünlerinde susam, fındık, badem ve haşhaş tohumu kullanımının akrilamid oluşumuna etkisi incelenmiştir. Yüzeye yakınlık oranına bağlı olarak fındık dışındaki diğer bileşenlerin, oluşan akrilamid içeriğini arttırdığı belirtilmiştir. Bu tür bileşenlerin tatlı unlu mamullerde özellikle doğruca yüzeye uygulanmasının akrilamid konsantrasyonunu büyük ölçüde arttırdığı bildirilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, stevia esaslı bir tatlandırıcı kullanılarak bisküvinin şeker içeriğinin azaltılması, bisküvinin kalite özellikleri ve akrilamid içeriği üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında üç farklı bisküvi örneği hazırlanmıştır. Şeker oranının değiştirilmediği kontrol örneği ve şeker oranının %25 ve %50 azaltılıp yerine stevia eklenerek hazırlanan örnekler oluşturulmuştur. Örneklere yapılan akrilamid analizi sonucunda,

kontrol örnekleri ile %25 ve %50 oranlarında stevia eklenen örneklerin akrilamid miktarı sırası ile 118, 131,4 ve 136,4 ppb olarak bulunmuştur. Stevia esaslı tatlandırıcı kullandığında, örneklerdeki akrilamid miktarının arttığı görülmektedir. Ayrıca hazırlanan bisküvi örneklerinin duyusal analizi sonucunda birbirlerine göre farklı olmadıkları bildirilmiştir (Ulusoy, 2011).

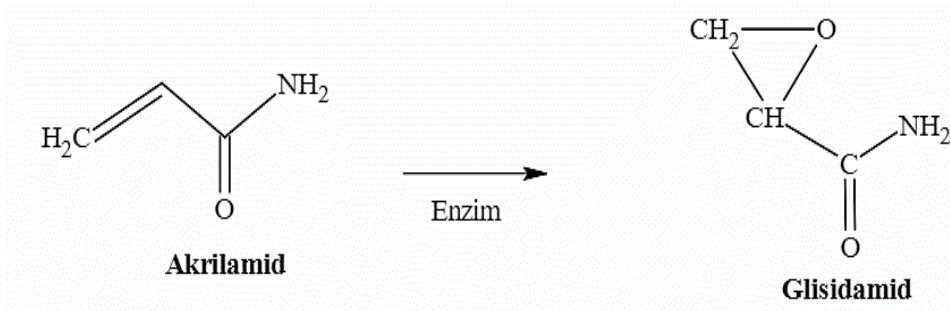
2.5. Akrilamidin İnsan Sağlığına Etkisi

Günümüzde gıdalarda, termal proses kontaminantı olarak bilinen akrilamidin zararlı etkileri ilk olarak 1997 yılında Hallandsas tüneli inşasında kaza ile sulara akrilamid bulaşmasıyla ortaya çıkmıştır. O bölgedeki sudan içen ineklerin ayakta duramaması, çok fazla miktarlarda balık ölümlerinin artması ve tünelde çalışan insanların el ve ayaklarında uyuşmalardan şikâyet etmeleri uzmanları akrilamid ile ilgili araştırmalar yapmaya yönlendirmiştir (Park ve Penning, 2009; Törnqvist Ehrenberg ve Hagmar, 2000).

Yapılan çalışmaların sonucunda mesleki olarak akrilamide maruz kalmayan insanlarda bile yüksek miktarlarda akrilamid bulunması şüpheleri beslenme biçimlerine çevirmiştir (Bergmark, 1997). İsveç Ulusal Gıda Kurumu ve Stockholm Üniversitesi 120°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ısıtılma işlemi gören gıdalarda karbonhidratların ve aminoasitlerin tepkimesi sonucu yüksek seviyelerde akrilamid düzeyine rastladıklarını 24 Nisan 2002'de Dünya kamuoyuna duyurmuşlardır (Arusoglu, 2015). Hamur işleri, patates cipsi, patates kızartması, kahve, kek, bisküvi ve kahvaltılık tahıl ürünleri gibi yaygın olarak tüketilen gıdalarda akrilamide rastlanması, bilimsel camiada önemli bir endişeye neden olmuş ve akrilamidin gıda ile alım miktarını ve sağlık üzerine etkilerinin araştırılması amacıyla geniş ölçekli çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Luning ve Sanny, 2016; Tareke vd., 2002).

Termal proses kontaminantları içerisinde akrilamidin, yaygın olarak tüketilen ürünlerde bulunabilmesi nedeniyle özel bir önemi vardır. Yüksek dozda oral yolla alınan akrilamidin laboratuvar hayvanlarında kansere yol açtığı, bu sebeple, insanlar için potansiyel kanserojen olduğu düşünülmektedir (Galesa, Bren, Kranjc ve Mavri, 2008). Kemirgenler için kanserojen olduğu kanıtlanmış akrilamid, Uluslararası Kansere Araştırma Örgütü (International Agency for Research on Cancer – IARC, 1994) tarafından grup 2A (insan için olası kanserojen) olarak sınıflandırılmış bir bileşiktir. Yüksek dozlardaki akrilamid, üreme ve sinir sistemini etkilemektedir (Dybing ve Sanner, 2003). Deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalara göre akrilamid, farklı organlarda tümörlere yol açabilmektedir (Ruden, 2004; Abramsson-Zetterberg, Vikstrom, Törnqvist ve Hellenas, 2008). Suda çözünen polimerlerin üretildiği iş

yerlerinde ve kâğıt fabrikalarında çalışan insanların solunum ve dokunma ile akrilamide maruz kaldığı görülmektedir (Galesa vd., 2008). İnsan vücudunda akrilamidin enzimatik bir reaksiyonla, kanserojenik ve mutajenik olduğu düşünülen glisidamide dönüştüğü bildirilmiştir (Claeys vd., 2005b; Rommens, Yan, Swords, Richael ve Ye, 2008; Wakaizumi, Yamamoto, Fujimoto ve Ozeki, 2009). Şekil 2.4'te akrilamidin glisamide dönüşüm mekanizması verilmiştir.



Şekil 2.4. Akrilamidin glisamide dönüşümü

Yapılan bir çalışmada akrilamidin kanserle olan ilişkisi araştırılmıştır. Çalışma iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, 1976-2002 yılları arasında farklı uzman grupları tarafından yapılan, akrilamidin on dört kanserojen risk değerlendirmesi, genel sonuçları açısından karşılaştırılmıştır. İkinci bölümde, temel gıdada bu maddenin tanımlanmasına bir tepki olarak ortaya çıkan akrilamid ve kanser riskleri üzerine kamuoyu tartışması ve uzman risk değerlendirmesinin sorgulanması tartışılmıştır. İlk bölümde, uzman risk değerlendiricilerinin, akrilamidin kansere neden olma potansiyelinin değerlendirilmesi konusunda büyük ölçüde hemfikir oldukları gösterilmiştir. Üç risk değerlendiricisi, akrilamidin ne insanlar ne de hayvanlar için kanserojen olmadığı sonucuna varırken, on bir risk değerlendiricisi akrilamidin hayvanlarda kanserojen olduğu ve insanlarda muhtemelen kanserojen olduğu sonucuna varmışlardır. Akrilamidin pankreas, deri, akciğer kanserlerine sebep olabileceği bildirilmektedir (Ruden, 2004).

Diyet yoluyla akrilamid maruziyetine rağmen, gıda ürünlerindeki akrilamid konsantrasyonu için izin verilen yasal sınır değeri yoktur. Ancak, Avrupa Komisyonu Yönetmeliği bazı gıda ürünlerinde akrilamid varlığını azaltmak için kıyaslama seviyeleri belirlemiştir. Avrupa Birliği'nde akrilamid için verilen üst sınırlar Çizelge 2.3.'te gösterilmiştir (Stadler vd., 2002).

Çizelge 2.3. Avrupa Birliği'nde akrilamid için verilen üst sınırlar (Stadler vd., 2002)

Örnek	Akrilamid
Gıdalar	35 µg/gün
Su	0,1 µg/l
Paketleme materyalleri	10 µg/kg
Hava	30 µg/m ³
Kozmetik ürünler	0,1-0,5 mg/kg

İnsanlarda gıda yoluyla akrilamid alımı ve bunun yol açtığı kanser riskleri ile ilgili ilk çalışma Mucci, Dickman, Steineck, Adami ve Augustsson, tarafından 2003 yılında yapılmıştır. Akrilamide maruz kalma, gıda sıklığı anketlerine ve sık tüketilen gıda ürünlerinde bildirilen akrilamid düzeylerine dayanmaktadır. İncelenen bölgelerde diyetle alınan akrilamid alımı ile yüksek kanser riski arasında bir ilişki kaydedilmemiştir (Mucci vd., 2003).

Tardiff, Gargas, Kirman, Carson ve Sweeney (2010), yapmış olduğu bir çalışmada insanlar tarafından sindirilen akrilamidin güvenlik değerlendirmesi yapılmıştır. Akrilamide yüksek düzeyde maruz kalan insanlarda nörotoksositeye neden olduğu bilinmektedir. Akrilamidin nörotoksosite için tolere edilebilir günlük alım düzeyi 40 µg/kg vücut ağırlığı olarak belirlenmiştir. Kanser riski için tolere edilebilir düzeyi günde akrilamid için 2,6 µg/kg vücut ağırlığı, glisidamid için 16 µg/kg vücut ağırlığı olarak tespit edilmiştir.

Ulusal düzeyde ortalama diyet maruziyet tahminleri, genel yetişkin nüfusu için günde 0,2 ile 1 µg/kg vücut ağırlığı arasında değişmektedir. Çocuklar için mevcut birkaç veriye dayanarak, çocukların vücut ağırlığı temelinde ifade edildiğinde yetişkin tüketicilerin yaklaşık iki katı akrilamide diyetle maruz kaldıkları görülmüştür (FAO/WHO, 2011).

Yapılan bir başka araştırmaya göre ankete katılan popülasyonda, yetişkinlerde ortalama günlük akrilamid alımının yaklaşık 0,5 µg/kg vücut ağırlığı olduğu tahmin edilmiştir (Svensson vd., 2003).

Bir başka çalışmaya göre beslenme ile tüketilen akrilamid miktarları araştırılmıştır. Yetişkinlerin ortalama 0,3-0,6 µg/kg akrilamid miktarları tükettiği, çocuklar ve gençlerin beslenme alışkanlıklarına bağlı olarak ortalama 0,4-0,6 µg/kg akrilamid tükettikleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak çocuklar ve gençler yetişkinlere oranla daha fazla akrilamide maruz

kaldıkları belirlenmiştir (Claus, Carle ve Schieber, 2008). Yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle çocuk ve gençlerin tükettiği gıdaların irdelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Görüldüğü üzere gıdalarda bulunan olası kanserojen bir termal proses kontaminantı olan akrilamidin bazı deney hayvanları üzerinde kanserojen bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle özellikle gençler ve çocuklar tarafından sıklıkla tüketilen gıdalarda bulunabilecek akrilamid miktarı ve akrilamid oluşum miktarını etkileyen faktörler ile ilgili çalışmalar önem taşımaktadır.

2.6. Pekmez ve Balın Fırıncılık Ürünlerinde Kullanımıyla İlgili Çalışmalar

Pekmez ve bal kullanımının fırıncılık ürünleri kullanılması zamanla artan bir uygulama olmaya başlamıştır. Fırıncılık ürünlerinde şekerin zararlı etkilerinden dolayı pekmez ve bal kullanımının ürünün kalitesine, besin içeriğine, fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmak amacıyla yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

Yapılan bir çalışmada şekerli kurabiyeler veya diğer fırıncılık ürünlerinde toz şeker yerine bal kullanıldığında, duyu analizi sonuçları, şekerli kurabiyelerin genel olarak daha hoş bir dokuya, hassasiyete, neme, tada ve görünüme sahip olduğu ve katılımcıların tercihi olduğunu göstermiştir. Kurabiyelerin şeker içeriğinin %37,5 daha az şeker ve ilave lif içeren ballı kurabiyelerin besin içeriği etkileyici bulunmuş. Ballı kurabiyeler, şekerli kurabiyelere göre iki kat daha fazla potasyum, %8 daha fazla folat, magnezyum, niasin ve vitamin A içerdiğini tespit etmişlerdir. Besin içeriğinin arttığı, genel duyu kabul elde etmek için balın şeker ve su oranını geliştirmek için daha fazla araştırmanın faydalı olacağı belirtilmiştir. (Gunderson, Coate ve Terry, 2018).

Bilgiçli ve Akbulut (2009) tarafından yapılan bir çalışmada kek formülasyonlarında kristal şeker yerine farklı pekmezler (dut, kayısı, andız, üzüm ve karpuz) kullanılmıştır. Keklerin bazı kimyasal, besinsel özellikleri ve saklama stabiliteleri araştırılmıştır. Pekmez katkılı keklerin Ca, Fe, K, P ve Zn içerikleri sırasıyla 92,72-177,82 mg, 4,09-22,70 mg, 4501,99-7208,45 mg, 255,68-416,41 mg ve 2,91-4,86 mg/100g arasında değiştiği gözlemlenmiştir. 21 günlük depolamadan sonra, kayısı ve karpuz ilave edilen keklerin kontrol grubuna ve diğer keklerle göre daha yumuşak olduğu tespit edilmiştir. Keklerin HMF içeriğine bakılmış ve 2,03 ile 15,78 mg/kg arasında değiştiği görülmüştür. HMF içeriği en yüksek üzüm pekmezi

ilavesiyle üretilen kek örneğinde gözlenmiştir. Pekmez ilavesi ile üretilen keklerin su aktivitesi ve kabuk rengi değerleri genellikle azalırken kül ve mineral içeriklerin arttığı tespit edilmiştir.

Demir ve Kılınç (2019) tarafından yapılan bir çalışmada bal püskürtmeli bir kurutucuda kurutularak formülasyonunda şeker ile farklı oranlarda ikame edilmesiyle üretilen keklerde bazı kimyasal, duyuşsal ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Bal tozu %25, 50, 75 ve 100 oranlarında şekerin yerine ikame edilmesiyle kek üretiminde kullanılmıştır. Şeker yerine bal tozu ikamesinin kek örneklerinde a^* değerlerinin arttığı, L^* ve b^* değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Kek formülasyonuna bal tozu oranının artmasıyla nem ve kül içeriklerinin arttığı görülmektedir. Ham protein ve ham yağ değerleri bal tozu ilavesinden etkilenmemiştir. Duyusal sonuçlar kek formülasyonunda şeker içeriğinin %50 şeker ile %50 bal tozu ikamesi en iyi kombinasyon olarak görülmektedir. Bal tozunun besinsel ve kimyasal özellikleri ile kek üretiminde kullanılabilir bir hammadde olduğu sonucuna varılmıştır.

Bornare ve Khan (2015) tarafından yapılan bir çalışmada kurabiye formülasyonunda şekerin %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında bal ile ikamesiyle üretilen kurabiyelerin duyuşsal, fiziksel değerlendirilmesi ve balın kurabiye üretiminde kabul edilebilirlik sınırı belirlenmiştir. Bal ikamesiyle üretilen kurabiyelerin sertlik değerlerinde azalma gözlenmiştir. Duyusal analiz sonucunda kurabiye formülasyonuna ilave edilen bal oranının artmasıyla kabul edilebilirlik düzeyinde düşüş gözlenmiştir. Duyusal analiz sonucunda kurabiye formülasyondaki şeker içeriğinin %50 bal ile %50 şeker ikamesi kombinasyonunun kabul edilebilir kalitede olduğu belirlenmiştir.

İnanır (2018) tarafından yapılan bir çalışmada bisküvi formülasyonundaki şeker içeriğinin %50 ve %100 oranlarında keçiyoynuzu pekmezi ile ikame edilmesiyle üretilen ürünlerin bazı özellikleri araştırılmıştır. Bisküviler besinsel açıdan zenginleştirilip şeker miktarı düşürülerek daha sağlıklı bir ürün elde edilmiştir. Bisküvilerin mineral, nem, kül, yağ, protein, şeker içerikleri belirlenip HMF içeriği, antioksidan özelliği, fenolik madde miktarı, aw, pH, sertlik, renk özellikleri ve duyuşsal analizlerine bakılmıştır. Kontrol grubuna kıyasla formülasyondaki şeker içeriğinin %100'ü keçiyoynuzu pekmezi kullanılması sertlik değerini düşürmüştür. Formülasyondaki keçiyoynuzu pekmez oranının artmasıyla L^* değerinde azalma a^* ve b^* değerlerinde artış tespit edilmiştir. Protein miktarı ve fenolik madde miktarı keçiyoynuzu kullanılarak üretilen bisküvilerde daha yüksek tespit edilmiştir. Duyusal analiz sonucunda %50 oranında keçiyoynuzu pekmezi kullanılarak üretilen bisküvilerin, lezzet, renk ve genel kabul edilebilirlik diğer bisküvilere göre daha yüksek görülmüştür.

Ertaş ve oklar (2008) tarafından yapılan bir çalışmada kek formülasyonundaki şekerin %25, 50 ve 100 oranlarında kayısı, andız ve üzüm pekmezlerinin ikamesiyle kek hamuru ve kekin 21 günlük depolama süresince kimyasal ve fiziksel özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Kek hamurlarının vizkozitesine bakılıp, kek örneklerinde pH, renk ve sertlik özellikleri araştırılmıştır. Kek formülasyonuna üç farklı oranda  çeşit pekmez ilave edilen kek hamurlarının akış özellikleri uygun bulunmuştur. pH değeri kontrol grubuna kıyasla pekmez ilavesiyle yapılan tüm keklerde düşük çıkmıştır. Depolama süresince pH değerlerinde düşüş grlmştir. Depolama süresi boyunca renk değerlerinin düştüğü grlmştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada materyal olarak; kek ve kurabiye üretiminde kullanılan pudra şekeri, süzme çiçek balı, üzüm pekmezi, yumurta akı tozu, yağsız süt tozu, amonyum bikarbonat, sodyum bikarbonat, tuz ve kabartma tozu yerel marketlerden ve ilgili internetteki satış platformlarından temin edilmiştir. Kek ve kurabiye üretiminde kullanılan pastacılık margarini (Alba) Unipro'dan temin edilmiştir. Formülasyonda kullanılan çok amaçlı katkısız un ise Eksun Gıda Tarım San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Kullanılan unun nem oranı %13,4 tür. Un örneğinin ekstensograf özellikleri: 45. dakikada enerji (cm²) 67, uzamaya direnç 260, genişletilebilirlik (mm) 145, maksimum uzamaya direnç 337, oran 1,8, maksimum oran 2,3 tür. 90. dakikada enerji (cm²) 77, uzamaya direnç 330, genişletilebilirlik (mm) 136, maksimum uzamaya direnç 432, oran 2,4, maksimum oran 3,2 dir. 135. dakikada enerji (cm²) 75, uzamaya direnç 332, genişletilebilirlik (mm) 132, maksimum uzamaya direnç 426, oran 2,5, maksimum oran 3,2 dir. Un örneğinin farinograf özellikleri: Su Absorpsiyonu %60,8, gelişme süresi 2,8 dk, Stabilité 7,1 dk, yumuşama (10 dk sonrası) 58 dir.

3.2. Yöntem

Fırıncılık ürünleri üretimi, Eksun Gıda Tarım San. ve Tic. A.Ş.'nin AR-GE bölümünde gerçekleştirilmiştir. Ürün analizleri, Üniversitemizin Gıda Mühendisliği laboratuvarlarında, Bilimsel ve Teknoloji Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (NABİLTEM) ve Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma, Geliştirme, Uygulama ve Araştırma Merkezi (TÜTAGEM)'nde gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Fırıncılık Ürünlerinin Üretimi

3.2.1.1. Kek üretimi

Pekmez, bal ve şeker ayrı ayrı kullanılarak yedi farklı kek formülasyonu oluşturulmuştur. Şeker kullanılarak üretilen örnekler kontrol grubunu oluşturmaktadır. Kek üretimi AACC (10.90.01) yönteminin tezin kapsamına göre modifiye edilmesiyle yapılmıştır: Yağ dışında tüm kuru ingrediyenlerin bir kabın içerisinde karıştırıldıktan sonra yağ ve şekerli suyun %60'ı eklenmiştir. Mikserde, düşük devirde 30 saniye ve sonrasında orta devirde 4 dk

boyunca (KitchenAid, ABD) karıştırılmıştır. Daha sonra kalan şekerli suyun yarısı eklenerek düşük devirdeki hızda 30 saniye daha karıştırılıp sonrasında orta devirdeki hızda 2 dk daha karıştırıldıktan sonra kalan şekerli suyun tamamı eklenip, düşük devirdeki hızda 30 saniye sonrasında tekrar 2 dk karıştırılarak homojen bir karışım elde edilmiştir. Her kek için 150 g kek hamuru kek kalıplarına koyulup, fırında (Sveba Dahlen, İSVEÇ) 170° C'de 30 dk pişirilmiştir. Fırında pişirilmiş kekler fırından çıkarılıp, 1 saat boyunca oda sıcaklığında soğutulmuştur. Sonrasında akrilamid analizi ve şeker analizi dışındaki analizler derhal yapılmıştır. Akrilamid ve şeker analizi yapılacak olan örnekler kapaklı kutular içerisinde analiz yapılacağı güne kadar -18 °C'de muhafaza edilmiştir.

Kek örneklerinin formülasyonu, AACC (10.90.01) yönteminde belirtilen şekilde, şeker kaynağındaki su oranları, karışımın toplam su oranını değiştirmeyecek şekilde modifiye edilerek oluşturulmuştur. Oluşan deneme formülasyonlarına ait bileşim tablosu Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kek üretiminde kullanılan formülasyonlar (g)

Bileşen	Kontrol	Pekmezli Kek			Ballı Kek		
	K	A	B	C	D	E	F
Buğday Unu	200	200	200	200	200	200	200
Pudra Şekeri	250	-	50	100	-	50	100
Pekmez	-	357	286	214	-	-	-
Bal	-	-	-	-	305	244	183
Yumurta Akı Tozu	18	18	18	18	18	18	18
Yağsız Süt Tozu	24	24	24	24	24	24	24
Margarin	100	100	100	100	100	100	100
Tuz	6	6	6	6	6	6	6
Kabartma Tozu	6	6	6	6	6	6	6
Saf Su	250	143	164	186	195	206	217

Bütün formülasyonlarda su miktarı 250 g olacak şekilde ayarlamalar yapılmıştır (Pekmez K.M.:%70. Bal K.M.:%82).

K: Kontrol, **A:** Şeker oranının %100'ü pekmez, **B:** Şeker oranının %80'ni pekmez, **C:** Şeker oranının %60'ı pekmez **D:** Şeker oranının %100'ü bal, **E:** Şeker oranının %80'ni bal, **F:** Şeker oranının %60'ı bal

Bütün kek formülasyonlarında; un, yumurta akı tozu, yağsız süt tozu, margarin, tuz ve kabartma tozu miktarları eşit kullanılmıştır. Formülasyondaki modifikasyon sadece kullanılan şeker kaynağı miktarı ve buna bağlı olarak saf su miktarında yapılmıştır. Bu modifikasyon kapsamında oluşan şekerli su karışımının su oranı; şeker kaynağının kuru madde oranı ile karışıma katılan su miktarı eşit olacak şekilde (1:1) ayarlanmıştır. Yapılan şekerli su karışımlarının briks dereceleri ayrıca kontrol edilip $50 \pm 0,5$ aralığında oldukları tespit edilmiştir. Aynı zamanda analiz sonuçlarında kek örnekleri kuru madde değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Şeker çözeltilerinin briks derecelerinin ölçümü ve kek örneklerinin hazırlanması Şekil 3.1 Şekil 3.2 Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



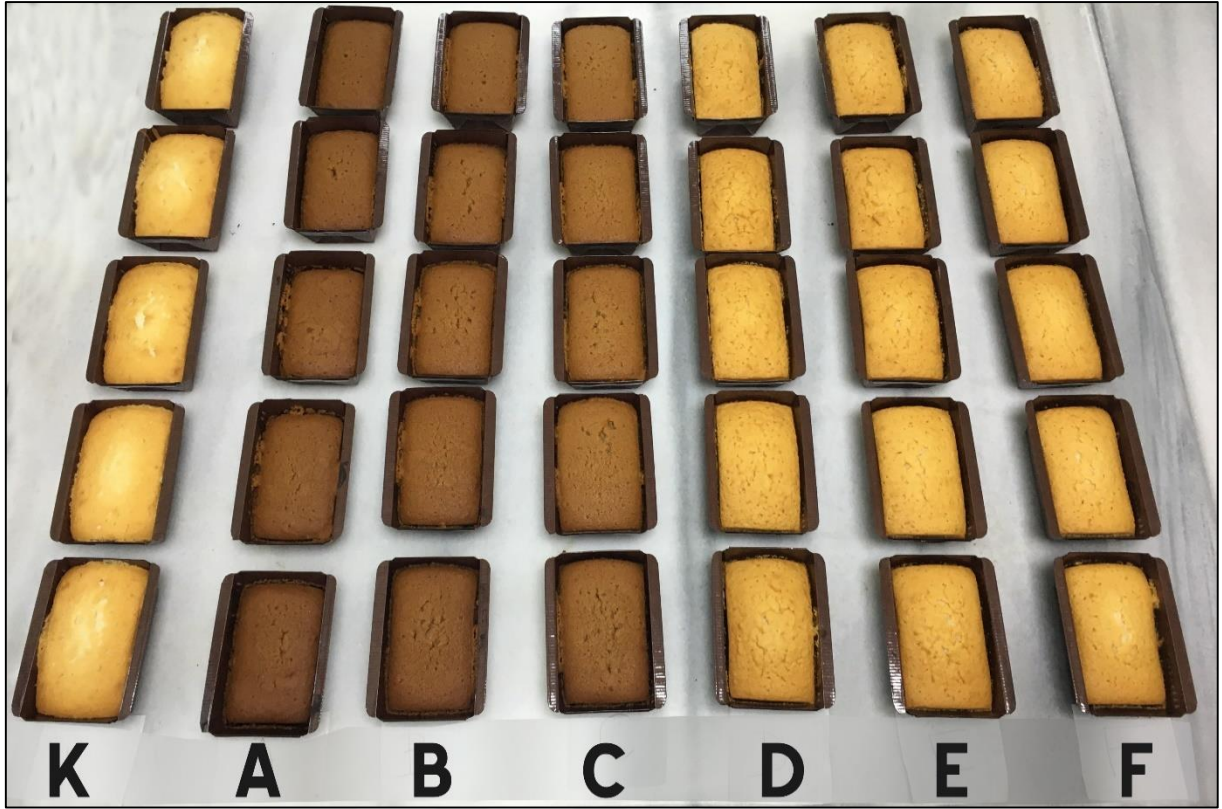
Şekil 3.1. Şeker karışımlarının Briks derecelerinin ölçülmesi



Şekil 3.2. Kek bileşenlerin mikserde karıştırılması ve tartımı



Şekil 3.3. Kek hamurunun kalıplara konulması



Şekil 3.4. Kek örneklerinin pişirilmesi

3.2.1.2. Kurabiye üretimi

Pekmez, bal ve şeker ayrı ayrı kullanılarak yedi farklı kurabiye formülasyonu oluşturulmuştur. Şeker kullanılarak üretilen örnekler kontrol grubunu oluşturmaktadır. Kurabiye üretimi AACC (10.54.01) yönteminin tezin kapsamına göre modifiye edilmesiyle yapılmıştır: Bitkisel margarin, tuz ve süt tozu mikserin (KitchenAid, ABD) orta devirdeki hızda 3 dk boyunca karıştırıldıktan sonra, ayrı bir kaptaki amonyum bikarbonat, sodyum bikarbonat ve şekerli su karıştırılıp karışıma ilave edilip ardından 1 dk daha karıştırılmıştır. Son olarak un bu karışıma ilave edilerek 5 dk elle yoğurma işlemi uygulanmıştır. Hazırlanan kurabiye hamuru açıldıktan sonra çapı 8 cm olan özel bir kalıpla diskler şeklinde kesilmiştir. Kurabiyeler fırında (Sveba Dahlen, İSVEÇ) 205 °C' de 20 dk pişirilmiştir. Fırında pişirilmiş kurabiyeler fırından çıkarılıp, 1 saat boyunca oda sıcaklığında soğutulmuştur. Sonrasında akrilamid analizi ve şeker analizi dışındaki analizler derhal yapılmıştır. Akrilamid ve şeker analizi yapılacak olan örnekler kapaklı kutular içerisinde analiz için yapılacağı güne kadar -18 °C'de muhafaza edilmiştir.

Kurabiye örneklerinin formülasyonu, AACC (10.54.01) yönteminde belirtilen şekilde, şeker kaynağındaki su oranları, karışımın toplam su oranını değiştirmeyecek şekilde modifiye

edilerek oluşturulmuştur. Oluşan deneme formülasyonlarına ait bileşim tablosu Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kurabiye üretiminde kullanılan formülasyonlar (g)

Bileşen	Kontrol	Pekmezli Kurabiye			Ballı Kurabiye		
	N	G	H	I	J	L	M
Buğday Unu	100	100	100	100	100	100	100
Pudra Şekeri	43,5	-	8,7	17,4	-	8,7	17,4
Pekmez	-	62,1	49,7	37,3	-	-	-
Bal	-	-	-	-	53,0	42,4	31,9
Margarin	40	40	40	40	40	40	40
Yağsız Süt Tozu	1	1	1	1	1	1	1
Amonyum bikarbonat	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Sodyum bikarbonat	1	1	1	1	1	1	1
Tuz	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Saf Su	22	3,4	7,1	10,81	12,46	14,4	16,3

Bütün formülasyonlarda su miktarı 22 g olacak şekilde ayarlamalar yapılmıştır (Pekmez K.M.:%70. Bal K.M.:%82).

N: Kontrol, G: Şeker oranının %100’ü pekmez, H: Şeker oranının %80’ni pekmez, I: Şeker oranının %60’i pekmez J: Şeker oranının %100’ü bal, L: Şeker oranının %80’ni bal, M: Şeker oranının %60’i bal

Bütün kurabiye formülasyonlarında; un, yağsız süt tozu, amonyum bikarbonat, sodyum bikarbonat, margarin ve tuz miktarları eşit kullanılmıştır. Formülasyondaki modifikasyon sadece kullanılan şeker kaynağı miktarı ve buna bağlı olarak saf su miktarında yapılmıştır. Bu modifikasyon kapsamında oluşan şekerli su karışımının su oranı; şeker kaynağının kuru madde oranı ile karışıma katılan su miktarı esas alınarak ayarlanmıştır. Yapılan şekerli su karışımlarının briks dereceleri ayrıca kontrol edilip $66 \pm 0,5$ aralığında oldukları tespit edilmiştir. Aynı zamanda analiz sonuçlarında kurabiye örnekleri kuru madde değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Şeker çözeltilerinin briks derecelerinin ölçümü ve kurabiye örneklerinin hazırlanması Şekil 3.5 Şekil 3.6 Şekil 3.7 Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Şeker karışımlarının briks derecelerinin ölçülmesi



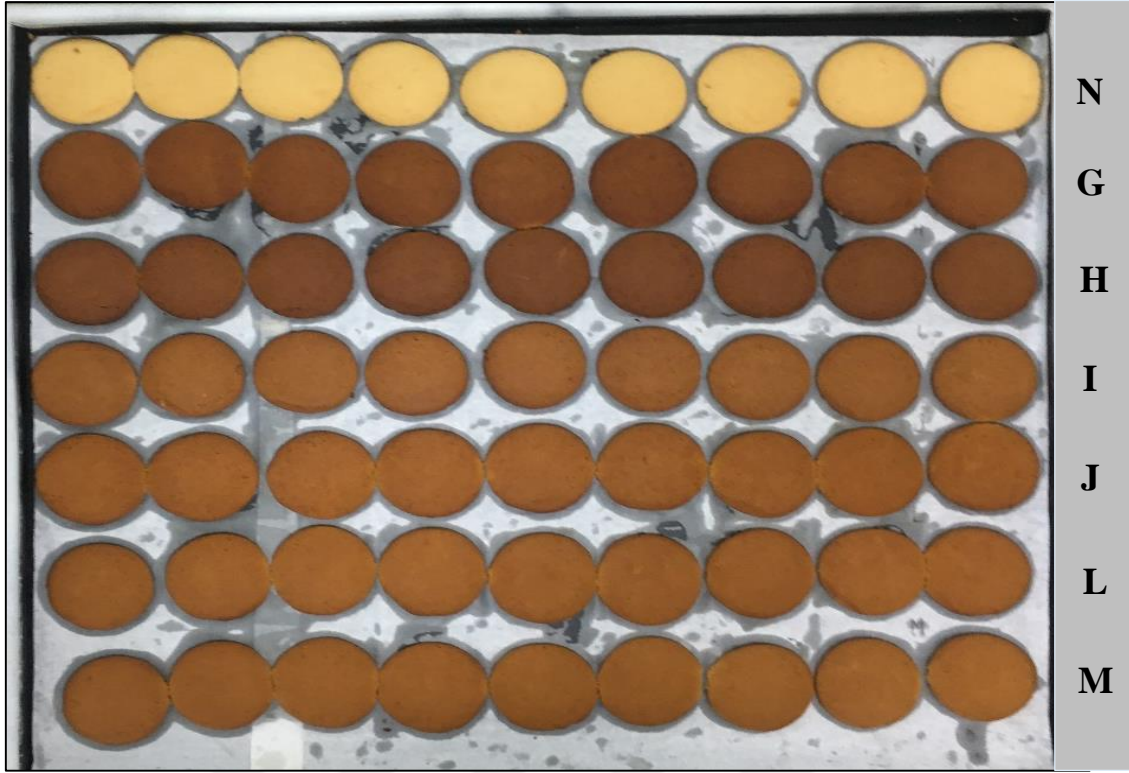
Şekil 3.6. Kurabiye bileşenlerinin karıştırılması ve elle yoğrulması işlemi



Şekil 3.7. Kurabiye hamurlarına kalıpla şekil verilmesi



Şekil 3.8. Kurabiye hamur örneklerinin fırın tepsinine dizimi



Şekil 3.9. Kurabiye örneklerinin pişirilmesi

3.2.2. Yapılan Analizler

3.2.2.1. Kuru madde analizi

Kek ve kurabiye örneklerinin kurumaddesi gravimetrik yöntemle belirlenmiştir. Bu amaçla kek ve kurabiye örnekleri, laboratuvar tipi parçalayıcı ile öğütülerek, darası alınmış tartı kaplarına hassas terazi kullanılarak yaklaşık 5'er gram tartılmışlardır. 104 °C'de 5 saat etüvde kurutulup sabit tartıma getirilen örnekler hassas terazide tartılmıştır. Örnekler 2 tekerrür 2 paralel olarak kuru madde değeri % olarak hesaplanmıştır.

3.2.2.2. pH analizi

Kek ve kurabiye örneklerin pH'sı, el tipi pH metre kullanılarak belirlenmiştir. 5 g örnek, 45 g distile su ile karıştırılarak, elde edilen karışımların pH metrede ölçümleri yapılmıştır. Hamur örneklerine direk pH metre daldırılarak ölçümleri yapılmıştır. Örnekler 2 tekerrür 2 paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.3. Ağırlık kaybı hesaplanması

Kek ve kurabiye örnekleri pişirme işlemi öncesi ve sonrasında tartılmış ve elde edilen değerler aşağıdaki formülde yerine konularak ağırlık kaybı yüzdesi hesaplanmıştır. W_i kek ve kurabiye örneklerinin fırına konmadan önceki ağırlığını, W_s ise örneklerin ısıtma işlemi sonrasında ağırlığını temsil etmektedir. Örnekler 2 tekerrür 2 paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

$$\text{Ağırlık Kaybı \%} = \frac{W_i - W_s}{W_i} \cdot 100 \quad (3.1)$$

3.2.2.4. Kabarma indeksi

Kek ve kurabiye örnekleri pişirildikten sonra bir saat oda sıcaklığında soğutulmuş ve kabarma indeksi belirlenmiştir. Fotoğraf çekimi için, fotoğraf makinesi ile ürün arasındaki mesafe, çekim açısı ve odak noktası sabit olacak şekilde düzenek kurulup ürünlerin fotoğrafları alınmıştır (Şekil 3.10). Çekilen fotoğraflarda numunelerin en üst noktasından getirilen izdüşüm çizgisinin yüksekliği, fotoğraf çekme düzeneğine entegre edilen bir cetvel üzerinden tespit edilerek kabarma seviyesi olarak kaydedilmiştir. Kek örnekleri en yüksek olduğu noktadan düz bir şekilde kesilerek ölçüme hazırlanmıştır. Kurabiye örnekleri ise 4 tanesi üst üste koyularak ölçülmüştür. Kabarma indeksi ölçümü yapılan örneklerin yer aldığı fotoğraf Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Kek ve kurabiye örneklerinin kabarma indeksi ölçümü sırasındaki çekilen fotoğraflar ise Şekil 3.13 Şekil 3.14 ve Şekil 3.15 verilmiştir.



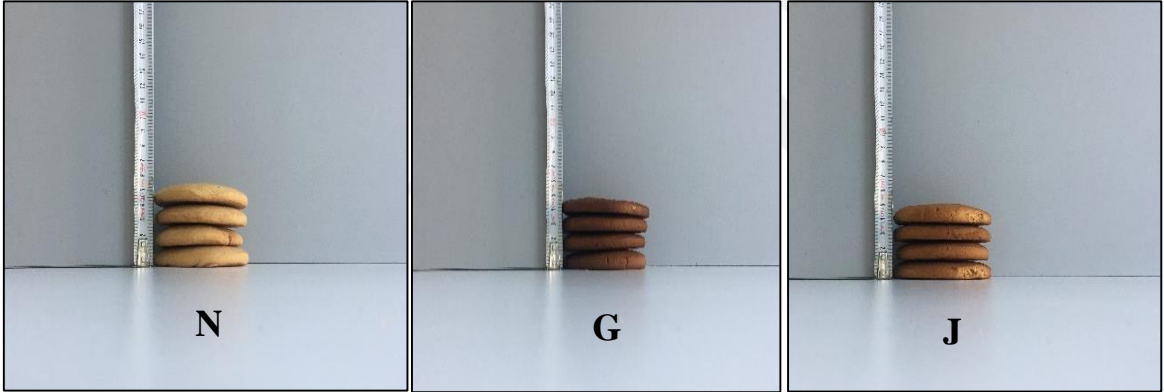
Şekil 3.10. Fotoğraf çekim düzeneği



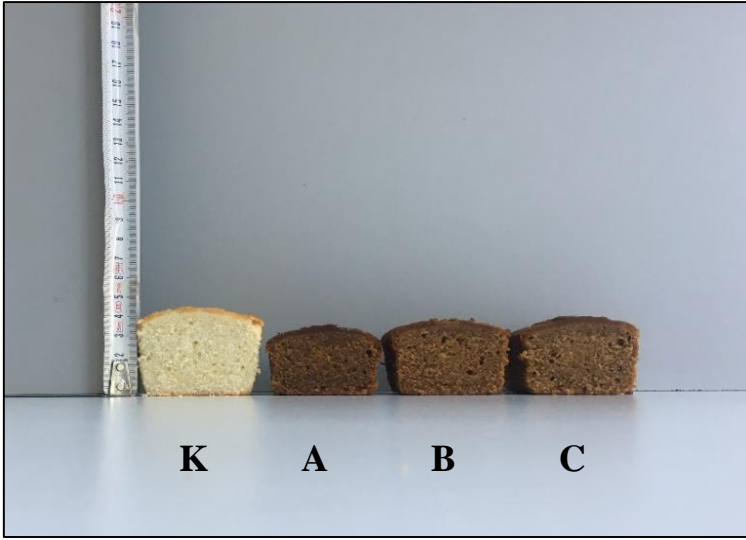
Şekil 3.11. Kurabiye örneklerinin izdüşüm çizgisi indirilerek kabarma indeksi ölçümü yapılması



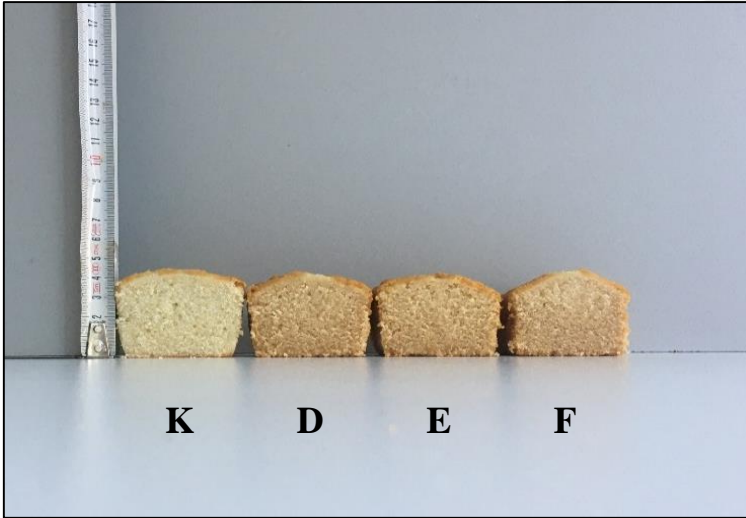
Şekil 3.12. Kek örneklerinin izdüşüm çizgisi indirilerek kabarma indeksi ölçümü yapılması



Şekil 3.13. Kurabiye örnekleri



Şekil 3.14. Pekmezli kek örnekleri



Şekil 3.15. Ballı kek örnekleri

3.2.2.5. Su aktivitesi analizi

Su aktivitesi (a_w), kek ve kurabiye hamurları ve pişirilmesi sonrasındaki örneklerde, 25 °C’de (AQUA LAB 4 TE Decagon Device, Pullman WA, ABD) su aktivitesi cihazı kullanılarak Namık Kemal Üniversitesi’nin laboratuvarında tayin edilmiştir. Cihazın özel ölçüm kabı içerisine hamur örnekleri ve öğütülmüş kek, kurabiye örnekleri koyulduktan sonra cihazdaki bölüme yerleştirilip 20 dk bekletilerek su aktivitesi değerleri ölçülmüştür. Örnekler 2 tekerrür 2 paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Su aktivitesi ölçümü yapılan örneğin yer aldığı fotoğraf Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.16. Örneklerin su aktivitesi değerleri ölçümü

3.2.2.6. Renk analizi

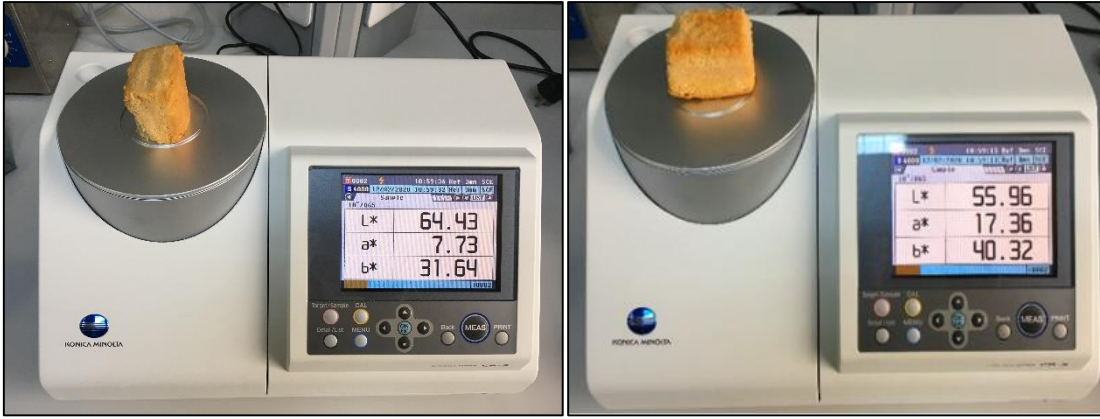
Renk değişimi, ısı işlem görmüş gıdaların güvenliği açısından önem taşıyan ve meydana gelen önemli görsel değişimlerden birisi olup gıdada birçok kimyasal değişimin göstergesidir. Renk özelliklerinin ölçümleri KONICA MINOLTA spektrofotometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Renk analizi kurabiye örneklerine ve keklerin kabuk ve iç kısımlarından, 2 tekerrür 2 paralel olarak ölçümleri alınmıştır. Hamur örnekleri, herhangi bir boşluk kalmayacak şekilde standart petri kaplarına doldurularak ölçümleri yapılmıştır.

Renk aralığı parametreleri L* değeri parlaklık ve açıklığı (beyaz=100'den siyaha=0 aralığı arasında), a* değeri kırmızı ve yeşilliği (yeşil=-60'tan kırmızı=+60 arasında), b* değeri sarı ve maviliği (mavilik=-60'tan sarılık=+60 arasında) göstermektedir (Abbot 1999). ΔE , örnek ile kontrol numunesinin L*, a* ve b* değerleri arasındaki farkları hesaba katan bir değerdir (Whetzel, 2016). Üç koordinat arasındaki toplam renk değişimi (ΔE) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

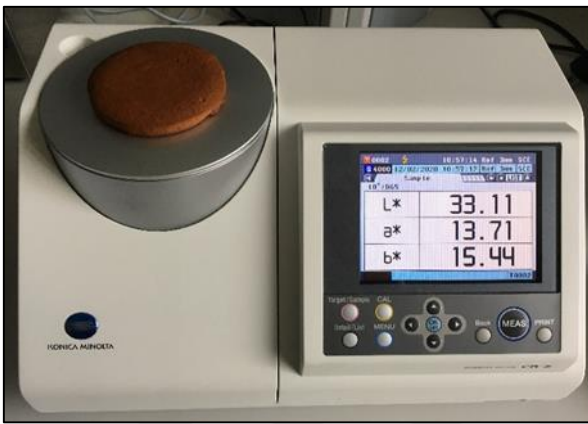
$$\Delta E = [(\Delta L^* - \Delta L^*_0)^2 + (\Delta a^* - \Delta a^*_0)^2 + (\Delta b^* - \Delta b^*_0)^2]^{1/2} \quad (3.2)$$

L*, a* ve b* değerleri incelenen örneğe ait renk bileşenlerini, L*₀, a*₀ ve b*₀ ise kontrol örneğine ait renk bileşenleri değerlerini ifade eder.

Renk ölçümü yapılan örneklerin yer aldığı fotoğraf Şekil 3.17 ve Şekil 3.18' de gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Kek örneklerinin kabuk ve iç renk ölçümü



Şekil 3.18. Kurabiye örneklerinin renk ölçümü

3.2.2.7. Şeker analizi

Kek ve kurabiyelerin pişirme işlemi sonrasında örneklerde şeker konsantrasyonu belirlenmiştir. Şeker (sükroz, glukoz ve fruktoz) analizleri HPLC ile gerçekleştirilmiştir.

Şeker analizi için, iki kademeli sıcak su ekstraksiyonu uygulanmıştır. 100 mg öğütülmüş örnek tartılarak üzerine, 0,9 ml sıcak su (70 °C), 50 µl Carrez I ve 50 µl Carrez II çözeltisi ilave edilmiştir. Vorteks karıştırıcıda 3 dk boyunca karıştırılan örnek, daha sonra 9200 x g hızda 10 dk santrifüj edilmiştir. Berrak süpernatant başka bir tüpe alınarak retentat üzerine tekrar 1 ml sıcak su ilave edilmiş ve 3 dk vortekslenerek santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrası elde edilen süpernatant, bir önceki ekstraksiyon basamağında elde edilen süpernatant ile birleştirilmiştir (iki kademeli ekstraksiyon). Birleştirilen süpernatantlar 9200 x g hızda 10 dk santrifüj edilerek, elde edilen berrak süpernatant analiz edilmiştir.

HPLC ile şeker analizleri, bir kuaterner pompa, otomatik numune vericili bir refraktif indeks dedektör (RID), bir Rheodyne 7125 enjektör ve kolon fırınından oluşan, Agilent 1100 HPLC sistemi (Agilent Technologies, Waldbronn, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analitik kolonda (HPLC, VA 300/7.8 NucleogelSugar 810H) gerçekleştirilmiştir. Mobil faz olarak 0,6 ml/dk akış hızında, 5 mM H₂SO₄ (272 mikrolitre H₂SO₄ 1 litre ultra saf suya ilave edilir) çözeltisi kullanılmıştır. Karışım 0,45 µm membran filtreden süzümüş ve ultrasonik banyoda 5 dk degaze edilmiştir. Kolon sıcaklığı 30 °C'dir. Her bir örnek iki defa analiz edilmiş ve ortalama alınmıştır. Analiz süresi 20 dk sürmüştür.

Sükroz, glukoz ve fruktoz stok çözeltileri 0,1 g/ml derişimde (%10) su içerisinde günlük olarak hazırlanmış, stok çözeltilerden 0,01 g/ml (%1) ve 0,001 g/ml (%0,1) derişimlere su ile seyreltilerek çalışma çözeltileri hazırlanmıştır.

Bal, pekmez numunlerinin hazırlanması: Bal 3 dk boyunca karıştırıcı ile kuvvetli bir şekilde karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Bal ve pekmez numunesinden 5,0 g cam beherde tartılıp ardından 40 ml ultra saf suda çözülmüştür. Çözelti, içine daha önceden 25 ml metanol konulmuş olan 100 ml'lik ölçülü balona pipetle aktarılıp işaret çizgisine kadar saf su ile doldurulmuştur. Ölçülü balon muhtevası membran filtreden süzölmüş ve deney şişesine aktarılmıştır. Şekil 3.19'da şeker analizinin yapıldığı HPLC sistemin fotoğrafı verilmiştir.



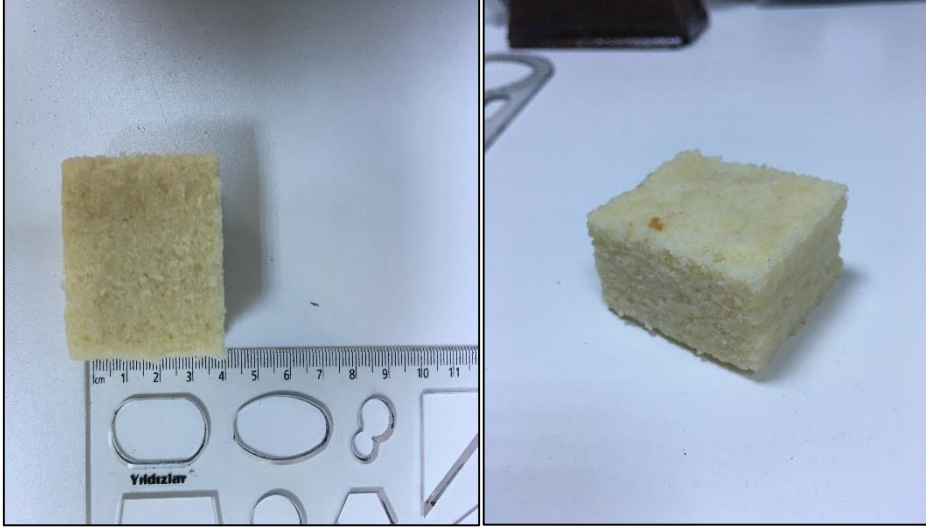
Şekil 3.19. HPLC sistemi

3.2.2.8. Tekstür analizi

Kek ve kurabiye örneklerinin tekstürel özelliklerinin analizi, Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (NABİLTEM) bulunan tekstür analiz cihazı (TA. HD. PLUS, Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, İngiltere) kullanılarak yapılmıştır.

Tekstür analizinde, kek örnekleri için 3,6 cm yarıçapında bir silindir proba sahip doku analizörü kullanılmıştır. Hız 1-10 mm/s arasında, sertlik ve elastikiyet aşağıdaki parametreleri sabitleyerek “zamana kadar tut” tekniği kullanılarak örneklerde belirlenmiştir; ön hız 2.0 mm /s, test hızı 5 mm/s, test sonrası hız 10 mm/s, mesafe 5 mm, tetik tipi ve sertlik için 5 g bir tetikleme kuvveti ve bekletme süresi 20 saniye olacak biçimde ayarlanıp örneklerin tekstür özelliklerine bakılmıştır. Tekstür analizinde kek örneklerinde yapışkanlık (adhesiveness), kohesivlik (cohesiveness), sakızimsılık (gumminess), sertlik (hardness), esneklik (springiness), elastikiyet (resilience), çiğnenebilirlik (chewiness) parametreleri ölçülmüştür. Kek örnekleri 40×40×25 mm (genişlik×derinlik×yükseklik) ebatlarında kesilerek tekstür analizleri 2 tekerrür 2 paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

Kurabiye örnekleri için kullanılan HDP/KS5 kodlu prob ile kurabiye örneklerinin kırılabilirlik/kopma mukavemetinin ölçümü belirlenmiştir. Uygulanan parametreler ise; ön hız 1 mm/s, test hızı 3mm/s, test sonrası hız 10 mm/s, mesafe 5 mm, tetik tipi 50 g olacak biçimde ayarlarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Tekstür analizinde kurabiye örneklerinin sertlik (hardness) ve esneklik (flexibility) değerleri belirlenmiştir. Örnekler 2 tekerrür 2 paralel olarak ölçümleri alınmıştır. Şekil 3.20'da kek örneğine tekstür analizi için şekil verilmiştir. Tekstür analizi yapılan kek ve kurabiye örneklerinin yer aldığı fotoğraf Şekil 3.21 ve Şekil 3.22' de gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Kek örneğine tekstür analizi için şekil verilmesi



Şekil 3.21. Kek örneklerinin tekstür analizi



Şekil 3.22. Kurabiye örneklerinin tekstür analizi

3.2.2.9. Akrlamid analizi

Akrilamid analizi, örneklerde Sıvı Kromatografi Triple Kuadropol Kütle Spektrometresi (LC MS-MS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm örnekler analizden önce bir blendırda homojen hale getirilmiştir. Öğütülmüş homojenize kek ve kurabiye örneklerinden 400 mg alınıp numune üzerine 100 µl internal Standard (13C-2D2 akrilamid) eklenmiştir. Sonrasında vortekste 30 saniye boyunca karıştırılmıştır. Standardın emilimi gerçekleşmesi için 5 dk beklenmiştir. Beklenen süre sonunda üzerine 1,9 ml metanol ilave edilip, 30 saniye boyunca vortekste karıştırılmıştır. Sonrasında 10 dk boyunca ısıl işlem uygulanmadan sonikatörde bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 5 dk boyunca 9000 rpm'de santirifüj edilmiştir. Ardından 0,22 micron nylon filtreden vial süzülüp, LC MS-MS sistemine enjekte edilmiştir.

LC MS-MS ile analiz Agilent MassHunter iş istasyonu yazılımına sahip bir Agilent 6470A üçlü dört kutuplu LC/MS sistemine bağlı bir Agilent 1290 Infinity II LC kullanılarak gıda matrislerinde akrilamidin miktarının belirlenmesi için kullanılan cihazda

gerçekleştirilmiştir. İyon kaynağı, Agilent Jet Stream Elektrosprey İyonizasyon (AJS ESI pozitif) modu kullanılarak şu arayüz parametreleri ile gerçekleştirilmiştir: Kurutucu gaz azot (N₂), akış hızı 11 l/dk, nebulizer basıncı 45 psi, kurutucu gaz sıcaklığı 350 °C, kapiler voltaj 4000V, kromatografik ayırım Poroshell 120 EC-C18, (2,1x150 mm, 2,7 µm) kolonda gerçekleştirilmiştir. Mobil faz olarak 0,25 ml/dak akış hızında %0,1 suda formik asit ile %0,1 metanolde formik asit kullanılmıştır. Kolon sıcaklığı 60 ±2 °C'dir. Akrilamid miktar tayini için m/z 75 ve 58,1 iyonları kullanılmıştır. Akrilamid kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır. Şekil 3.23'te akrilamid analizinin yapıldığı LC MS-MS sistemi fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.23. LC-MS/MS sistemi

3.2.3. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler, SPSS 17.0 (SPSS Inc. Chicago, IL) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örnek ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığının belirlenebilmesi için varyans analizi (One-way-ANOVA) uygulanmıştır. Ortalamalar arasındaki farkların önemi, $p < 0,05$ düzeyinde test edilmiştir. Önemli bulunan varyasyon kaynakları, çoklu karşılaştırma testi olan Duncan testine tabi tutulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Kek ve Kurabiye Örneklerinde Kullanılan Pekmez ve Balın Şeker ve Akrilamid Analizi Sonuçları

Kek ve kurabiye üretiminde kullanılan pekmez ve balın şeker ve akrilamid miktarları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Pekmez ve balın şeker içeriğinde, en yüksek miktardaki bileşenin fruktoz, en düşük miktardaki bileşenin ise sükroz olduğu görülmektedir. Yılmaz (2012) tarafından yapılan bir çalışmada 100 g pekmezde yaptıkları şeker analizi sonucunda 31,812 g fruktoz, 32,621 g glukoz, 0,03684 g sükroz tespit edilmiştir. Güler, Bakan, Nisbet ve Yavuz (2007) tarafından yapılan bir çalışmada 100 g balda yapılan şeker analizi sonucunda 40,06 g fruktoz, 33,95 g glukoz, 3,84 g sükroz tespit edilmiştir.

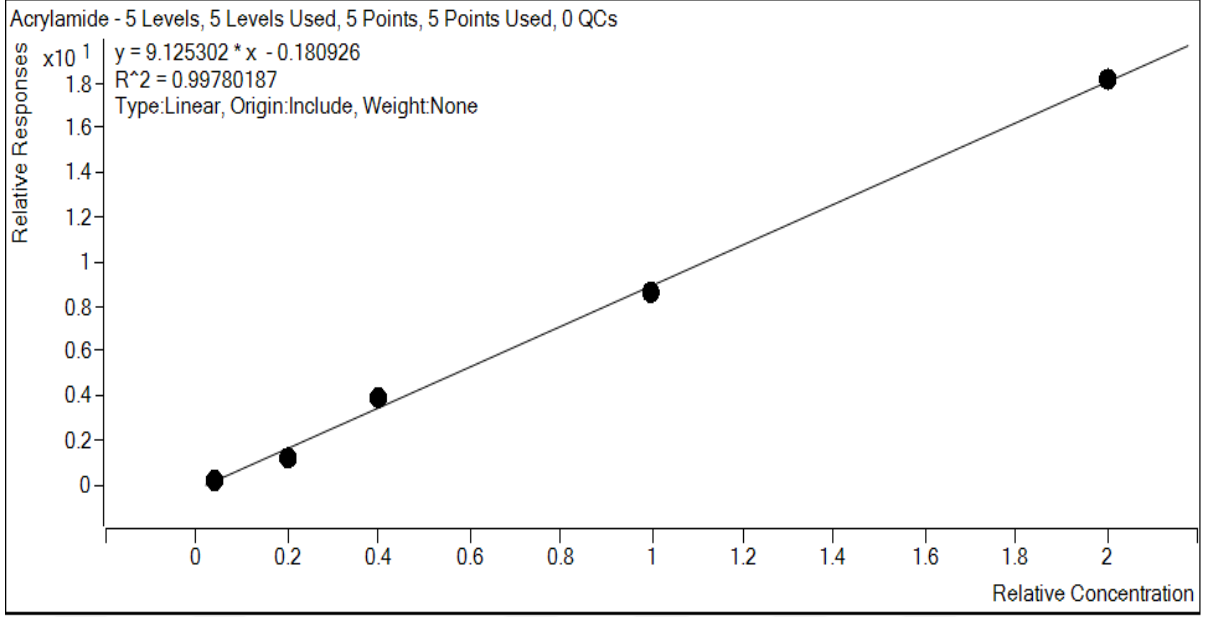
Pekmezde akrilamid miktarı 99,07 ng/g olarak tespit edilirken balda tespit limitinin altında kalmıştır. Ölmez vd. (2008), yaptıkları çalışmada pekmez üretimi geleneksel bir kaynatma işlemiyle ya da basınç altında daha düşük sıcaklıklarda buharlaştırma yoluyla üretilmesi, pekmezin akrilamid içeriğinde geniş bir varyasyon gözlenmiştir. 4 farklı pekmez örneğinde ortalama olarak 95 µg/kg akrilamid miktarı tespit etmişlerdir.

Çizelge 4.1. Kek ve kurabiye formülasyonunda kullanılan pekmez ve bal örneklerinin şeker ve akrilamid miktarları

	Şeker Değerleri			Akrilamid Değerleri (ng/g)
	Sükroz (g/100g)	Glukoz (g/100g)	Fruktoz (g/100g)	
Pekmez	4,698	15,587	33,508	99,07
Bal	12,782	18,086	38,261	<LOQ

4.2. Akrilamid Analizi

Akrilamid analizi LC-MS/MS cihazında gerçekleştirilmiştir. Akrilamid standardı ile kalibrasyon eğrisi çizdirilmiştir. Şekil 4.1’deki kalibrasyon grafiğinden akrilamid standartı için, $y = 9,125302x - 0,180926$ denklemi ($R^2 = 0,998$) elde edilmiştir. Cihaz tespit limiti (LOD) ve tayin limitleri (LOQ) sırasıyla, 0,033 ve 0,1 ppb olarak belirlenmiştir. 125 ve 250 ng/g düzeyinde olmak üzere iki farklı konsantrasyonda gerçekleştirilen geri kazanım çalışması sonucunda ise, geri kazanım değerleri, sırasıyla %79,67 ve %84,67 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Akrilamid Kalibrasyon Eğrisinin Çizilmesi

4.2.1. Kek Örneklerinin Akrilamid Analizi Sonuçları

Kek örneklerinin akrilamid miktarı Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Akrilamid konsantrasyonları ng/g olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, farklı örnek formülasyonu ile elde edilen ürünlerdeki akrilamid miktarları arasındaki farklılık önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

Çizelge 4.2. Kek örneklerinin akrilamid miktarları

Örnek	Pekmezli kek örnekleri akrilamid değerleri ¹ (ng/g)	Örnek	Ballı kek örnekleri akrilamid değerleri ¹ (ng/g)
	Kek		Kek
K (kontrol)	<LOQ	K (kontrol)	<LOQ
A (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	195,67±0,85a	D (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	<LOQ
B (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	162,82±3,63b	E (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	<LOQ
C (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	141,36±4,21c	F (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	<LOQ

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.2'ye göre örneklerin kontrol grubundaki akrilamid miktarı tespit limitinin altında bulunurken, formülasyona eklenen pekmez miktarı arttıkça akrilamid miktarının istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Pekmezdeki akrilamid miktarı 99,07 ng/g olarak belirlenmiş ve sonrasında kek formülasyonuna ilave edilerek örneklerin akrilamid miktarlarını arttırdığı görülmüştür. En yüksek akrilamid miktarı, formülasyonundaki şeker içeriğinin %100'ü pekmez olan kek örneğinde 195,67±0,85 ng/g olarak saptanmıştır.

Akrilamid analiz sonucuna göre ballı kek örneklerinin akrilamid miktarları tespit limitinin altında kalmıştır.

Mousavi-Khaneghah, Fakhri, Nematollahi, Seilani ve Vasseghian (2020) tarafından yapılan bir çalışmada bir meta-analiz yardımıyla ürün türü, ülke ve analitik yöntemler gibi alt gruplara göre, farklı gıda ürünleri arasındaki akrilamid konsantrasyonu değerlendirilmiştir. Ek olarak, insani gelişme endeksinin (İGE) ve gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH) akrilamid konsantrasyonu üzerindeki etkileri bir meta-regresyon analizi kullanılarak tartışılmıştır. Bu bağlamda, Scopus, PubMed, Web of Science ve Embase gibi bazı uluslararası veri tabanları 1 Eylül 2019 tarihine kadar taranmış ve 230 çalışmanın meta-analizi, genel sıralama sırasının ortalama ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Kek ürünlerindeki akrilamid konsantrasyonuna göre

ülke sıralaması Tayland (192,50 µg/kg) > Çin (170,96 µg/kg) > Malezya (74,70 µg/kg) > Türkiye (70,33 µg/kg) > Polonya (28,90 µg/kg) > Pakistan (17,65 µg/kg) iken keklerde toplam akrilamid konsantrasyonu ortalama 75,65 µg/kg olarak bulunmuştur.

Şenyuva ve Gökmen (2005) tarafından yapılan ve çeşitli gıda gruplarının akrilamid miktarlarının tespit edildiği çalışmada, 8 adet kek örneğinde akrilamid miktarı ortalama 204 ng/g olarak tespit edilmiştir.

4.2.2. Kurabiye Örneklerinin Akrilamid Analizi Sonuçları

Kurabiye örneklerinin akrilamid miktarları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Akrilamid konsantrasyonları ng/g olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, farklı formülasyon ile üretilen kurabiye örneklerinin akrilamid miktarları arasındaki farklılık önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

Çizelge 4.3. Kurabiye örneklerinin akrilamid miktarları

Örnek	Pekmezli kurabiye örnekleri akrilamid değerleri ¹ (ng/g)	Örnek	Ballı kurabiye örnekleri akrilamid değerleri ¹ (ng/g)
	Kurabiye		Kurabiye
N (kontrol)	30,97±4,68d	N (kontrol)	30,97±4,68d
G (Formülasyondaki şekerin %100’ü pekmezden)	1468,32±55,48a	J (Formülasyondaki şekerin %100’ü baldan)	598,63±12,95a
H (Formülasyondaki şekerin %80’i pekmezden)	1274,04±7,59b	L (Formülasyondaki şekerin %80’i baldan)	495,63±2,89b
I (Formülasyondaki şekerin % 60’ı pekmezden)	824,3±27,47c	M (Formülasyondaki şekerin % 60’ı baldan)	374,25±19,37c

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistik olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Akrilamid analizi sonuçlarına göre, pekmez katılarak yapılan kurabiye örneklerinde oluşan akrilamid miktarı, kontrol grubuna kıyasla çok yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. Kontrol grubunun akrilamid miktarı 30,97±4,68 ng/g tespit edilirken, formülasyona ilave edilen

pekmez oranı arttıkça kurabiyelerdeki akrilamid miktarı sırasıyla $824,3 \pm 27,47$, $1274,04 \pm 7,59$, $1468,32 \pm 55,48$ ng/g olarak saptanmıştır. Sonuçta formülasyona katılan pekmez miktarı arttıkça oluşan akrilamid miktarının arttığı görülmektedir. Ballı kurabiye örneklerinde de aynı şekilde formülasyona ilave edilen bal oranı arttıkça oluşan akrilamid miktarında artış tespit edilmiştir. Formülasyondaki bal oranının artmasıyla akrilamid miktarları sırasıyla $374,25 \pm 19,37$ ng/g, $495,63 \pm 2,89$ ng/g ve $598,63 \pm 12,95$ ng/g seviyelerine yükselmiştir.

Açar-Çetinkaya (2010) tarafından yapılan bir çalışmada bisküvi gibi ürünlerde ısı işlem sırasında termal proses kontaminantlarının oluşumu incelenmiştir. Bisküvilerde ve kurabiyelerde genel olarak oluşan akrilamid miktarlarına bakılarak, akrilamid için risk sınır değeri 200 ng/g olarak kabul edilmiştir. Bisküvi örneklerine uygulanan farklı sıcaklık ve pişirme süreleriyle akrilamid miktarlarına bakılmıştır. $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 90 dk pişirme sonucunda akrilamid miktarı $271,1 \pm 51,9$ ng/g, $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 10 dk sonunda akrilamid miktarı $488,52 \pm 28,24$ ng/g ve $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 2 dk sonunda akrilamid miktarı $317,25 \pm 37,26$ ng/g olarak tespit edilmiştir.

Şenyuva ve Gökmen (2005) tarafından yapılan bir çalışmada 10 adet kurabiye örneğinin akrilamid miktarları belirlenmiştir. Kurabiye örneklerinde akrilamid miktarı ortalama 126 ng/g olarak tespit edilmiştir.

Mousavi-Khaneghah vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada bisküvideki akrilamid konsantrasyonuna göre ülke sıralaması yapılmıştır. Kolombiya ($919,80\text{ }\mu\text{g/kg}$) > İran ($156,59\text{ }\mu\text{g/kg}$) > Çin ($108,16\text{ }\mu\text{g/kg}$) > Türkiye ($87,07\text{ }\mu\text{g/kg}$) iken bisküvide toplam akrilamid konsantrasyonu ortalama $116,52\text{ }\mu\text{g/kg}$ olarak bulunmuştur.

Ölmez vd. (2008) 16 adet bisküvide yaptıkları akrilamid çalışmasında ortalama $198\text{ }\mu\text{g/kg}$ düzeyinde akrilamid tespit etmişlerdir. Boyacı (2012) tarafından yapılan bir çalışmada küçük çocukların beslenmesinde kullanılan bazı gıdaların akrilamid miktarları incelenmiştir. 27 farklı bisküvi çeşidinde yapılan akrilamid analizi sonucunda ortalama $495\text{ }\mu\text{g/kg}$ akrilamid miktarı tespit edilmiştir.

4.3. Kek Örnekleri Analiz Sonuçları

4.3.1. Kek Örneklerinin Şeker Değerleri

Bileşimde yer alan şeker çeşidi ve miktarının akrilamid oluşumu üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla, keklerin 170 °C’de 30 dk pişirme sonunda oluşan akrilamid miktarları karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.4’te pekmezli kek örneklerinin şeker miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.4. Pekmezli kek örneklerinin şeker miktarları

Pekmezli Kek örnekleri şeker miktarları ¹			
Örnek	Sükroz (g/100g)	Glukoz (g/100g)	Fruktoz (g/100g)
K(kontrol)	32,82±1,84a	0±0c	0±0c
A (Formülasyondaki şekerin %100’ü pekmezden)	3,7±0,11d	5,34±0,11a	11,35±0,36a
B (Formülasyondaki şekerin %80’i pekmezden)	9,61±0,4c	5,08±0,1a	11,15±0,35a
C (Formülasyondaki şekerin %60’ı pekmezden)	15,42±1,07b	3,59±0,25b	7,8±0,41b

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.4’e göre kek örneklerinde sükroz miktarları istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Sükroz miktarı en yüksek olan örnek kontrol grubundaki örnek iken, en az sükroz içeren örnek, formülasyondaki şekerin %100’ünün pekmez ile ikame edildiği kek örneği olarak tespit edilmiştir. Formülasyona eklenen pekmez miktarı arttıkça sükroz miktarının azaldığı görülmektedir. Pişmiş örneklerdeki şeker miktarlarındaki farklılığın bir nedeninin de, indirgen şekerlerin bir kısmının Maillard reaksiyonuna girmesi nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Kek kontrol grubunun akrilamid miktarı tespit limitinin altında kalmıştır. Bu örnekte indirgen şeker bulunmaması, şeker kaynağı olarak sadece sükroz bulunması bu durumun nedeni olabilir. Çünkü indirgen şeker olmayan sükrozun, Maillard reaksiyonunda kullanılabilmesi için hidrolize uğrayıp glukoz ve fruktoza parçalanması gerekmektedir.

Kek örneklerinin glukoz ve fruktoz miktarları istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Kek örneklerinde, formülasyona pekmez eklenmesiyle glukoz ve fruktoz miktarı artış

göstermiştir. Formülasyondaki şeker oranının %100'ü, %80'i ve %60'ı pekmez olan kek örneklerinde, fruktoz miktarları glukoz miktarlarına oranla daha yüksek tespit edilmiştir. Formülasyondaki pekmez oranının artmasıyla, fruktoz ve glukoz miktarlarında görülen artışla birlikte akrilamid miktarının da arttığı görülmektedir. Akrilamid miktarları şeker oranının %100'ü pekmez olan kek örneğinde $195,67 \pm 0,85$ ng/g, %80'i pekmez olan kek örneğinde $162,82 \pm 3,63$ ng/g ve %60'ı pekmez olan kek örneğinde $141,36 \pm 4,21$ ng/g olarak tespit edilmiştir. Kontrol grubunda fruktoz ve glukoz bulunmazken formülasyona eklenen pekmez oranı arttıkça fruktoz ve glukoz miktarının arttığı ve bu indirgen şekerlerin akrilamid oluşumu için önemli şeker kaynağı oldukları görülmektedir. Örneklerdeki indirgen şeker miktarı arttıkça akrilamid miktarının arttığı ifade edilebilir.

Çizelge 4.5'te ballı kek örneklerinde yapılan şeker analizi sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.5. Ballı kek örneklerinin şeker miktarları

Ballı kek örnekleri şeker miktarları ¹			
Örnek	Sükroz (g/100g)	Glukoz (g/100g)	Fruktoz (g/100g)
K(kontrol)	$32,82 \pm 1,84a$	$0 \pm 0c$	$0 \pm 0c$
D (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	$5,59 \pm 0,05c$	$6,22 \pm 0a$	$12,82 \pm 0a$
E (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	$8,18 \pm 0bc$	$5,19 \pm 0,12b$	$10,71 \pm 0,29b$
F (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	$10,77 \pm 0,06b$	$5,28 \pm 0,02b$	$10,85 \pm 0,14b$

¹ Değerler ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.5'te kek örneklerinin sükroz miktarları istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Kek örneklerinin şeker çeşidi ve miktarlarına bakıldığında en yüksek sükroz miktarı kontrol grubunda görülürken, formülasyondaki bal oranının artmasıyla sükroz miktarı düşmüştür. Ballı kek örnekleri arasında glukoz ve fruktoz miktarları istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Kontrol grubunda glukoz ve fruktoz bulunmazken, keklere bal eklenmesiyle glukoz ve fruktoz tespit edilmiştir. Formülasyondaki bal oranının artmasıyla glukoz ve fruktoz değerleri ise yükselmiştir. Pişmiş örneklerdeki şeker miktarları arasındaki farklılığın bir nedeninin de, ortamdaki indirgen şekerlerin bir kısmının Maillard reaksiyonuna

girmesi olduğu düşünölmektedir. Bal eklenmesi ile ortama indirgen şeker eklenmiş olmasına rağmen, ballı kek örneklerinde akrilamid miktarı tespit limitinin altında kalmıştır. Buna göre, akrilamid oluşumu için indirgen şeker kaynağının yanında diğör bazı faktörlerin de önemli olduğu ifade edilebilir.

4.3.2. Kek Örneklerinin Renk Değörleri

Örneklere ait hamurlarda ve pişirme sonrasında kek örneklerinde renk analizi, kabuk ve iç kısımda gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.6'da pekmezli kek hamuru ve örneklerinin L* (açıklık-parlaklık) değörleri verilmiştir.

Çizelge 4.6. Pekmezli kek hamuru ve örneklerinin L* değörleri

Örnek	Pekmezli kek örnekleri L* değörleri ¹		
	Hamur	Kek (kabuk)	Kek (iç)
K (kontrol)	83,91±0,08a	60,33±0,92a	77,82±0,65a
A (Formölasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	51,1±0,57d	34,68±0,13b	40,88±0,54c
B (Formölasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	54,33±0,23c	28,01±8,2b	43,25±0,59c
C (Formölasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	58,02±0,51b	39,11±0,57b	47,76±1,34b

¹ Değörler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değörler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.6'ya göre kek örneklerine ait hamurların L* değörleri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). En yüksek L* değeri kontrol grubunda gözlenmiş olup formölasyona eklenen pekmez oranı arttıkça L* değörünün azaldığı görölmektedir. Pekmezli kek kabuk örnekleri incelendiğinde L* (açıklık) değeri en yüksek kontrol grubunun tespit edilirken pekmezli kek kabuk örnekleri arasında istatistiki açıdan fark bulunmamıştır. Pekmezli kek içi renk değörleri incelendiğinde ise en yüksek L* değeri kontrol grubunda gözlenirken, en düşük L* değeri şeker içeriğinin %100'ü ve %80'i pekmez olan kek örneklerinde tespit edilmiştir. Kek formölasyonuna pekmez eklenmesiyle örneklerin L* değörünün düşmesine, pekmezin koyu renkli olmasının da etki ettiğı ifade edilebilir.

Yapılan bir çalışmada kek formülasyonuna eklenen şekerin %25, 50 ve 100 oranlarında üzüm, andıç ve kayısı pekmezi ile yer değiştirilerek hazırlanan keklerin özellikleri incelenmiştir. Sadece şeker ile hazırlanan kontrol grubunda L* değeri 51,63 tespit edilirken, keke eklenen tüm pekmez çeşitlerinde pekmez oranının artmasıyla L* değerlerinde azalma tespit edilmiştir. %25 oranında tüm pekmez çeşitlerinin katılmasında bile kek örneklerinin parlaklık değerini düşürdüğü bildirilmiştir (Ertaş ve Çoklar, 2008).

Bilgiçli ve Akbulut (2009) tarafından yapılan bir çalışmada kek formülasyonundaki kristal şekerin üzüm pekmezi ile yer değiştirmesiyle L* değerinde düşüş tespit edilmiştir. Kek örneklerinin kabuk kısımları incelendiğinde kontrol grubunda L* değeri 38,32 görülürken, üzüm pekmezi eklenmesiyle 19,38'e düştüğü tespit edilmiştir. Kek örneklerinin iç kısmında yapılan renk analizi sonucunda ise kontrol grubunun L* değeri 51,63 bulunurken, üzüm pekmezi eklenmesiyle bu değer 22,12'ye düşmüştür. Sonuçta kek üretiminde pekmezin kullanılması kek örneklerindeki parlaklığı azaltmıştır.

Kek formülasyonuna pekmez eklenmesi örneklerin L* değerini düşürmüştür. L* değerindeki düşüşle birlikte akrilamid miktarının da düştüğü tespit edilmiştir. Yapılan bir diğer araştırmaya göre zencefilli ekmekler, 180 °C ve 200 °C'de pişirme sonrasında akrilamid miktarları incelenmiştir. 180 °C'de pişirme sırasında L* değeri ile akrilamid içeriği arasında güçlü korelasyon ($R^2=0.947$) bulunmuştur (Amrein vd., 2004).

Çizelge 4.7'de pekmezli kek hamuru ve örneklerinin a* değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.7. Pekmezli kek hamuru ve örneklerinin a* değerleri

Örnek	Pekmezli kek örnekleri a* değerleri ¹		
	Hamur	Kek (kabuk)	Kek (iç)
K (kontrol)	1,42±0,04d	13,91±0,33a	-0,5±0,22c
A (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	10,07±0,12a	13,61±0,23a	11,67±0,09a
B (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	9,25±0,09b	14,37±0,9a	11,86±0,27a
C (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	8,3±0,11c	15,04±0,82a	10,63±0,16b

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.7'ye göre hamur örneklerinin a* değerleri arasındaki fark, istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Formülasyonda kullanılan pekmez miktarı arttıkça a* değeri de artış göstermiştir. Pişirme işlemi sonrasında kek örneklerinin kabuklarında yapılan renk analizi sonuçlarına göre örnekler arasında istatistiksel açıdan farklılık bulunmazken, kek örneklerinin iç kısmında pekmez oranının artmasıyla kırmızılığın arttığı görülmektedir. Kırmızılık değeri en yüksek, şeker içeriğinin %100'ü ve %80'i pekmez ile ikame edilen numunelerde tespit edilmiştir.

18 farklı üzüm pekmezinde yapılan renk analizi sonucunda üzüm pekmezinin a* değerlerinin pozitif çıkması kırmızıya yakın bir renkte olduğunu göstermiştir (Yaman, 2019). Bu nedenle kek hamurlarında pekmez oranının artmasıyla, a* değerlerinde oransal bir artış görülmüştür. Bununla birlikte, pişirme işleminden sonra kek kabuklarının a* değerlerinin, kek örneklerinin iç kısımlarına ait a* değerlerinden yüksek olması, özellikle kabukta ısı işlem ile Maillard reaksiyon ürünlerinin oluştuğunu düşündürmektedir.

Ertaş ve Çoklar (2008), yaptığı bir çalışmada kek formülasyonundaki şekerin yerine %25, 50 ve 100 oranlarında üzüm, andıç ve kayısı pekmezi katılarak hazırlanan kek örneklerinin kontrol grubuna kıyasla a* değerlerinde artış tespit edilmiştir. Bilgiçli ve Akbulut (2009) tarafından yapılan bir çalışmada formülasyona eklenen pekmez kek içi örneklerinde a* değerini arttırdığı görülmüştür.

Çizelge 4.8'de pekmezli kek hamuru ve örneklerinin b* değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. Pekmezli kek hamuru ve örneklerinin b* değerleri

Örnek	Pekmezli kek örnekleri b* değerleri ¹		
	Hamur	Kek (kabuk)	Kek (iç)
K (kontrol)	16,08±0,06d	41,43±0,3a	20,52±0,26c
A (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	29,93±0,1a	17,98±0,23d	26,32±0,26b
B (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	29,56±0,06b	21,43±0,7c	28,39±0,3a
C (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	28,87±0,16c	24,09±1,16b	28,66±0,96a

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.8'e göre kek örneklerinin b* değerleri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Örnek hamurlarında pekmez oranının artmasıyla b* değerinde artış tespit edilmiştir. Pişirme işlemi sonrasında ise kek kabuğunda formülasyona eklenen pekmez miktarı arttıkça b* değerinin istatistiksel açıdan anlamlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Kek içi örneklerinde kontrol grubuna kıyasla b* değeri pekmezli keklerde yükselmiştir. Bilgiçli ve Akbulut (2009) tarafından yapılan bir çalışmada kek formülasyonundaki şekerin pekmez ile yer değiştirilmesiyle üretilen keklerde ölçülen b* değerinin kontrol grubuna kıyasla düştüğü tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9'da pekmezli kek hamuru ve örneklerinin toplam renk değişimi (ΔE) değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.9. Pekmezli kek hamuru ve örneklerinin ΔE değerleri

Örnek	Pekmezli kek örnekleri ΔE değerleri ¹		
	Hamur	Kek (kabuk)	Kek (iç)
K (kontrol)	-	-	-
A (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	36,65±0,54a	34,76±0,25a	39,33±0,5a
B (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	33,43±0,21b	31,15±0,8b	37,56±0,53a
C (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	29,69±0,52c	27,49±1,14c	33,16±0,95b

¹ Değerler ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.9'a göre pekmezli kek örneklerinin ΔE değerleri istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Pekmezli kek örneklerinde, formülasyondaki pekmez oranının artmasıyla ΔE değerinin arttığı görülmektedir. Pekmezli kek kabuk örneklerinin ΔE değerleri ile akrilamid konsantrasyonları arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki de bulunmuştur ($r=0,928$). Surdyk vd. (2004), farklı sıcaklık derecesinde ve süresinde pişirilen ekmeklerin kabuğunda renk değişimi (ΔE) ile oluşan akrilamid miktarı arasında doğrusal bir ilişki bulmuşlardır ($R^2=0,93$).

Çizelge 4.10'da ballı kek hamuru ve örneklerinin L* değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.10. Ballı kek hamuru ve örneklerinin L* değerleri

Örnek	Ballı kek örnekleri L* değerleri ¹		
	Hamur	Kek (kabuk)	Kek (iç)
K (kontrol)	83,91±0,08a	60,33±0,92a	77,82±0,65a
D (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	78,86±0,03d	56,43±0,88b	66,83±0,68b
E (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	79,91±0,07c	56,04±0,82b	67,18±0,65b
F (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	81,02±0,16b	56,88±0,62b	67,83±0,35b

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.10'a göre ballı kek hamuru örneklerinin L* değerleri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Ballı kek hamuru örneklerinde, formülasyondaki bal oranının artmasıyla parlaklığın azaldığı tespit edilmiştir. Pişirme işlemi sonrasında ise kek örneklerinin kabuk ve iç kısımları incelendiğinde kontrol grubunda en yüksek L* değeri görülürken, ballı kek örnekleri arasındaki farklılık istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Formülasyona eklenen bal, keklerdeki L* (açıklık) değerini düşürmüştür.

Demir ve Kılınç (2019) tarafından yapılan bir çalışmada kek formülasyonuna çeşitli oranlarda bal tozu katılmasının kek kalitesine etkileri araştırılmıştır. Kek kontrol örneğinin L* (açıklık) değeri, bal tozu katılarak yapılan kek örneklerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde mevcut çalışmada da kontrol örneğinde, bal katılarak yapılan keklerle kıyasla L* değeri daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.11'de ballı kek hamuru ve örneklerinin a* değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.11. Ballı kek hamuru ve örneklerinin a* değerleri

Örnek	Ballı kek örnekleri a* değerleri ¹		
	Hamur	Kek (kabuk)	Kek (iç)
K (kontrol)	1,42±0,04d	13,91±0,33b	-0,5±0,22b
D (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	3,65±0,02a	16,16±0,21a	5,83±0,25a
E (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	3,27±0,03b	15,08±0,81ab	5,36±0,48a
F (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	2,87±0,05c	15,61±0,64ab	5,82±0,14a

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.11'e göre ballı kek hamur örneklerinin a* değerleri istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Kek hamur örneklerinde formülasyondaki bal oranı arttıkça a* değerinin arttığı tespit edilmiştir. Pişirme işlemi sonrasında a* değeri kek kabuk örneklerinde en düşük kontrol grubunda görülürken, en yüksek şeker oranının %100'ü bal olan örnekte tespit edilmiştir. Kek içi örneklerinde ise a* değeri kontrol grubuna kıyasla ballı kek örneklerinde yükselmiştir. Ballı kek içi renk değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır.

Demir ve Kılınc (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, çeşitli oranlarda bal tozu ikamesiyle üretilen kek örneklerinde, keklerin kabuk renk değerlerinde a* parametresinin kontrol grubuna kıyasla arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12'de ballı kek hamuru ve örneklerinin b* değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.12. Ballı kek hamuru ve örneklerinin b* değerleri

Örnek	Ballı kek örnekleri b* değerleri ¹		
	Hamur	Kek (kabuk)	Kek (iç)
K (kontrol)	16,08±0,06d	41,43±0,3a	20,52±0,26b
D (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	21,56±0,14a	40,94± 0,6a	28,05±0,33a
E (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	20,24±0,05b	39,92±0,4a	27,39±0,63a
F (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	18,98±0,2c	40,18±0,5a	26,98±0,48a

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.12'ye göre ballı kek hamuru örneklerinin b* değerleri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Kek hamuru örnekleri incelendiğinde formülasyona eklenen bal miktarının artmasıyla b* değerlerinin arttığı görülmektedir. Pişirme işlemi sonrasında ise kontrol grubu ile ballı kek örneklerinin kabuk renk değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Kek içi renk değerlerine bakıldığında b* değeri en az kontrol grubunda tespit edilirken, ballı kek örnekleri arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır. Kek hamur formülasyonunda şekerin farklı oranlarda bal eklenerek yapılmasıyla kek örneklerinin b* değerinin yükselmesine sebep olmuştur ve bu durumun nedeni balın sarı renkte olmasından kaynaklanmaktadır. Bal tozunun ekmek kalitesine etkilerini inceleyen bir çalışmada, bal tozu ilave edilen ekmeklerin içi, kontrol grubuna göre daha sarımsı renkte olduğu görülmüştür (Tong vd., 2010).

Çizelge 4.13'te ballı kek hamuru ve örneklerinin toplam renk değişimi (ΔE) değerleri verilmiştir.

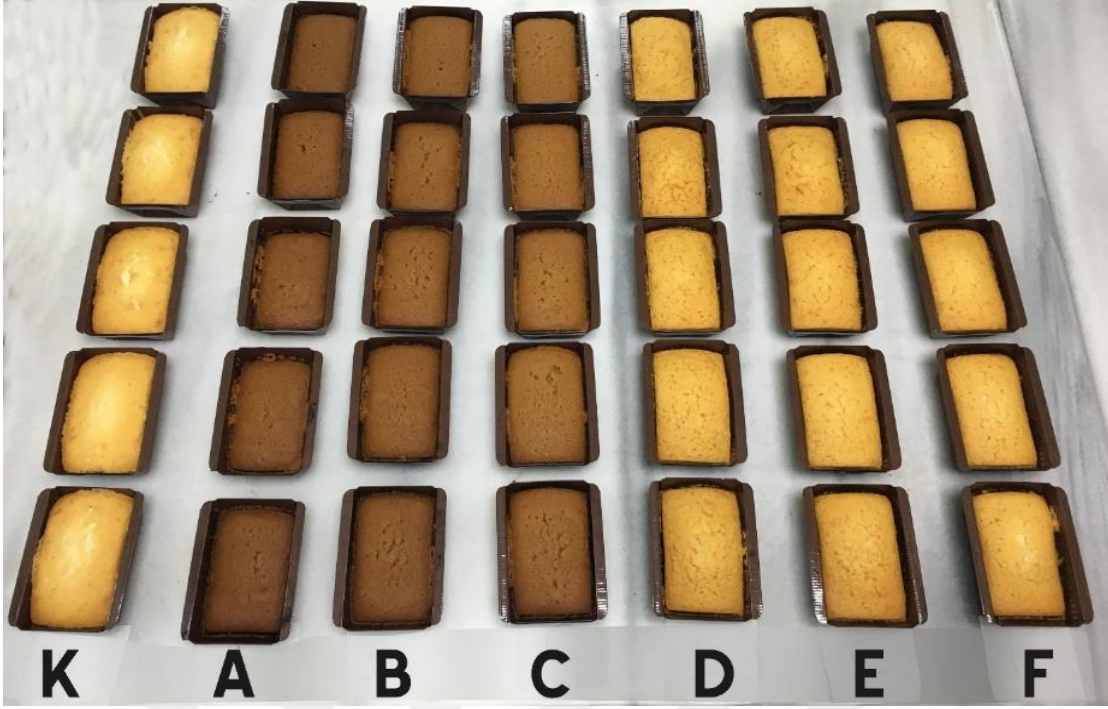
Çizelge 4.13. Ballı kek hamuru ve örneklerinin ΔE değerleri

Örnek	Ballı kek örnekleri ΔE değerleri ¹		
	Hamur	Kek (kabuk)	Kek (iç)
K (kontrol)	-	-	-
D (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	7,78±0,13a	4,78±0,65a	14,77±0,71a
E (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	6,06±0,09b	4,93±0,86a	13,98±0,92a
F (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	4,35±0,25c	4,22±0,58a	13,49±0,46a

¹ Değerler ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Ballı kek hamuru örnekleri ΔE değerleri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Ballı kek hamuru örneklerinde görüldüğü üzere formülasyona bal ilavesi arttıkça ΔE değerinin arttığı görülmektedir. Uygulanan ısı işlem sonrasında ise ballı kek örneklerinin kabuk ve iç kısmının ΔE değerleri istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Şekil 4.2'de pişirme işlemi sonrasında kek örneklerinin yer aldığı fotoğraf verilmiştir.



Şekil 4.2. Kek örnekleri

Formülasyondaki şekerin çeşitli oranlarda pekmez ile yer değiştirilmesiyle üretilen kek hamuru örneklerine uygulanan ısı işlem sonrasında, örneklerin renginin kontrol grubuna kıyasla daha koyu renkte olduğu gözlenmiştir. Kontrol grubu ve ballı kek örneklerinde akrilamid miktarı tespit limitinin altında kalırken, pekmez ilave edilen daha koyu renkli kek örneklerinde akrilamid miktarları yüksek tespit edilmiştir. Aghamohammadi vd. (2012), yapmış olduğu bir çalışmada kek formülasyondaki şekerin yerine %25, 50, 75 ve 100 oranlarında pekmez ilave edilmesiyle örneklerin kontrol grubuna kıyasla daha koyu renkte oldukları tespit edilmiştir. Amrein vd. (2004) tarafında yapılan bir çalışmada da, ürün ne kadar koyu renkli olursa, akrilamid konsantrasyonunun o kadar yüksek olduğu belirtilmiştir.

4.3.3. Kek Örneklerinin pH Değerleri

Kek hamurlarının ve hamurların pişirilmesinden sonra elde edilen örneklerin pH değerleri Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Kek hamuru ve örneklerinin pH değerleri

Örnek	Pekmezli kek örnekleri pH değerleri ¹		Örnek	Ballı kek örnekleri pH değerleri ¹	
	Hamur	Kek		Hamur	Kek
K (kontrol)	7,07±0a	8,18±0,02a	K (kontrol)	7,07±0a	8,18±0,02a
A (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	6,29±0,01c	5,74±0,03d	D (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	6,66±0,01d	7±0,01b
B (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	6,35±0,01b	5,86±0,01c	E (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	6,71±0,01c	7,06±0,07b
C (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	6,37±0,01b	6,14±0,02b	F (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	6,74±0,01b	7±0,01b

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.14'e göre pekmezli kek örnekleri pH değerleri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Pekmezli kek hamuru pH değerleri incelendiğinde, en yüksek pH değeri kontrol grubunda gözlenirken, formülasyonda şeker oranının %100'ü pekmez olan kek örneğinde en düşük pH tespit edilmiştir. Isıl işlem sonrasındaki örneklerde formülasyona eklenen pekmez oranı arttıkça pH seviyesi istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşmüştür. Pekmezin pH değerinin düşük olması nedeniyle, pekmez ilavesinin, kek örneklerinin pH değerini düşüdüğü tespit edilmiştir. pH değeri düşük olan örneklerde akrilamid miktarı daha yüksek tespit edilmiştir. Örneklerin kontrol grubunda akrilamid miktarı tespit limitinin altında kalırken pekmez oranı artmasıyla akrilamid miktarları sırasıyla 141,36±4,21 ng/g, 162,82±3,63 ng/g, 195,67±0,85 ng/g seviyelerine yükselmiştir. Kek örneklerine eklenen pekmez oranı arttıkça fruktoz ve glukoz içeriğinin arttığı, pH'nın azaldığı ve oluşan akrilamid miktarında artış meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca, pekmezli kek örnekleri pH değerleri ile akrilamid konsantrasyonu arasında negatif yönde güçlü bir ilişki bulunmuştur ($r = -0,946$). Gertz ve Klostermann (2002) tarafından yapılan bir çalışmada, ürünlere uygulanan ısıl işlemin, gıda ürünlerinin kabuğunda, suyun iyonlaşması ve su aktivitesi nedeniyle pH'da azalmaya neden olarak Maillard reaksiyon ürünlerinin oluşumuna neden olabileceği belirtilmiştir.

Ertay ve Çoklar (2008) tarafından yapılan bir çalışmada kristal şeker kullanılarak hazırlanan kek örneğindeki şeker oranının %25, 50 ve 100'ünün üzüm pekmezi ile yer değiştirilmesiyle kek özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Hazırlanan kek örneklerinin pH değerlerindeki değişim gözlenmiştir. Kek örneklerinin pişirilmesinde hemen sonra yapılan pH analizi sonucuna göre %25, 50 ve 100 oranında üzüm pekmezi içeren keklerde sırasıyla pH değerleri 7,1 6,7 ve 6,4 olarak tespit edilmiştir. Keklerdeki şekerin yerine pekmez oranı artırılarak hazırlan örneklerin pH değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Kek örneklerinde düşen pH örneklerin asitliklerinde artışa sebep olmuştur.

Yapılan bir çalışmada kek formülasyonunun bileşeni olan kristal şekerin yerine üzüm pekmezi kullanılarak üretilen kek örneğinin pH değerindeki değişim gözlenmiştir. Kontrol grubunda pH değeri 7,51 tespit edilirken, üzüm pekmezi kullanılmasıyla pH 6,42'ye düşmüştür (Bilgiçli ve Akbulut, 2009).

Kek hamur formülasyonuna eklenen bal miktarı arttıkça da, pH istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşmüştür. Ancak, pişirme işlemi sonrasında kontrol grubu ile ballı kek örnekleri arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunurken ($p < 0,05$), ballı kek örnekleri arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Bunun nedeni, balın pH değerinin pekmeze kıyasla biraz daha yüksek olması ve su içeriğinin düşük olması olabilir.

4.3.4. Kek Örneklerinin Kuru Madde ve Su Aktivitesi (a_w) Değerleri

Kek hamurlarında ve kek hamurunun pişirme işlemi sonrasında pekmezli keklerin kuru madde ve su aktivitesi değerleri Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Pekmezli kek hamuru ve örneklerinin su aktivitesi ve kuru madde değerleri

Örnek	Pekmezli kek örnekleri		
	a _w değerleri ¹		Kuru madde ¹ (%)
	Hamur	Kek	Kek
K (kontrol)	0,9±0,002a	0,89±0,001a	70,51±0,18a
A (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	0,85±0,003c	0,84±0,001c	70,62±0,22a
B (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	0,88±0,003b	0,85±0,004b	70,35±0,4a
C (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	0,88±0,001b	0,86±0,004b	70,42±0,13a

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.15'e göre pekmezli kek örneklerinin kuru madde değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Kuru madde değerleri kek örneklerinde ortalama %70,48 bulunmuştur.

Pekmezli kek hamuru örneklerinin su aktivitesi değerleri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Pekmezli kek hamuru su aktivitesi değerleri incelendiğinde, en yüksek değer kontrol grubunda görülürken, %100 pekmez oranına sahip kek örneğinde en düşük su aktivitesi değeri tespit edilmiştir. Şeker oranının %80'i ve %60'ı pekmez olan örnekler arasında farklılık bulunmamıştır. Pişirme işlemi sonrasında örneklerin su aktivitesi değerleri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Formülasyondaki şeker oranının, farklı oranlarda pekmez ile yer değiştirilmesi sonucunda, su aktivitesi değerlerinde de değişim meydana geldiği görülmektedir. Sükroz içeriği yüksek olan kontrol grubunda en yüksek su aktivitesi değeri görülürken, fruktoz ve glukoz içeriği en yüksek olan ve şeker oranının %100'ü pekmez olan kek örneğinde ise en düşük su aktivitesi değeri tespit edilmiştir. Akrilamid oluşumunun gerçekleşmesi için su aktivitesinin düşük seviyelerde seyretmesi gerekmektedir. Sükroz içeriği yüksek olan kontrol grubunda, akrilamid oluşumu için daha düşük su aktivitesi gerekmektedir. Su aktivitesinin yüksek olması durumunda indirgen şeker özelliği olmayan sükrozun indirgen

şeker olan glukoz ve fruktoza hidrolizi sınırlandırıldığından, akrilamid oluşumu da engellenmektedir.

Yapılan bir araştırmada kek formülasyondaki kristal şekerin farklı pekmezler (dut, kayısı, andız, üzüm ve karpuz) ile yer değiştirilmesiyle üretilen keklerin bazı kimyasal, besinsel özellikleri ve saklama stabiliteleri araştırılmıştır. Bunun üzerine kek formülasyonunda kullanılan kristal şeker yerine üzüm pekmezi eklenmesiyle su aktivitesi değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Kontrol grubunda su aktivitesi değerini 0,558 tespit ederken, formülasyona üzüm pekmezi eklenmesiyle bu değer 0,485'e düştüğü görülmüştür (Bilgiçli ve Akbulut, 2009).

Kek hamur ve kek hamurunun 170 °C'de 30 dk pişirme işlemi sonrasında ballı keklerin kuru madde ve su aktivitesi değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Ballı kek hamuru ve örneklerinin su aktivitesi ve kuru madde değerleri

Örnek	Ballı kek örnekleri		
	a _w değerleri ¹		Kuru madde ¹ (%)
	Hamur	Kek	Kek
K (kontrol)	0,9±0,002a	0,89±0,001a	70,51±0,18a
D (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	0,86±0,001c	0,83±0,002c	70,84±0,12a
E (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	0,87±0,004b	0,85±0,002bc	71,24±0,12a
F (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	0,88±0,003b	0,85±0,009b	70,59±0,56a

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli (P < 0,05) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.16'ya göre formülasyonda şeker oranının değiştirilerek çeşitli oranlarda bal katılmasıyla hazırlanan örneklerde, kuru madde değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır (p>0,05). Ballı kek örneklerinin ortalama kuru madde değerleri %70,8 tespit edilmiştir.

Ballı kek formülasyonlarının su aktivitesi değerleri istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (p<0,05). Ballı kek hamuru su aktivitesi değerleri incelendiğinde,

formülasyondaki bal oranı arttıkça su aktivitesi değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Su aktivitesi açısından en yüksek değer kontrol grubunda görülürken, en düşük değer şeker oranının %100'ü bal olan kek örneğinde tespit edilmiştir. Kek örneklerine uygulanan ısı işleminden sonra formülasyondaki bal oranı arttıkça su aktivitesi değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.

4.3.5. Kek Örneklerinin Tekstür Değerleri

Tekstür analizinde, kek örneklerinin yapışkanlık (adhesiveness), kohesivlik (cohesiveness), sakızımsılık (gumminess), sertlik (hardness), esneklik (springiness), elastikiyet (resilience) ve çiğnenebilirlik (chewiness) değerleri ölçülmüştür.

Tekstür analizi için ölçümü yapılan kek örnekleri parametrelerinin tanımları aşağıda açıklanmaktadır (Szczeniak, 2002).

- Sertlik değeri, gıda maddesini çiğneme işlemi aşamasında dişler arasında parçalamak için gereken kuvvettir.
- Yapışkanlık değeri, gıda yapısının iç direncini gösteren bir özelliktir.
- Esneklik değeri, bir gıda maddesine uygulanan kuvvet kaldırıldıktan sonra gıda maddesinin deforme olmuş durumundan deforme olmamış durumuna geri dönme hızıdır.
- Kohesivlik değeri, bir gıda maddesi kırılmadan önce dişler arasında sıkıştırma derecesini belirler.
- Sakızımsılık değeri, gıdanın ağızda çiğneme boyunca yarı katı hale gelip yutulmaya hazır duruma gelmesi için gereken enerjidir.
- Çiğnenebilirlik değeri, gıda maddesini çiğnemeye hazır hale getirmek için gereken enerjidir.
- Elastikiyet değeri, gıda maddesinin çiğneme sırasında direncindeki değişikliklerdir.

Formülasyona farklı oranlarda pekmez eklenerek üretilen kek örneklerinin tekstür değerleri Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Pekmezli kek örneklerinin tekstür değerleri

Tekstür parametreleri	Pekmezli kek örnekleri tekstür değerleri ¹			
	K (kontrol)	A (Formülasyonda ki şekerin %100'ü pekmezden)	B (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	C (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)
Sertlik	1151,33±104,94b	1818,76±89,37a	1626,36±232,76ab	1358,09±227,15ab
Yapışkanlık	-1,59±0,46a	-7,42±1,68b	-3,68±0,41a	-3,02±0,02a
Esneklik	0,9±0,01a	0,85±0,02b	0,84±0,01b	0,84±0,01b
Kohesivlik	0,58±0,01a	0,51±0,02b	0,52±0,01b	0,54±0,01ab
Sakızimsılık	666,71±74,99a	916,08±19,38a	846,69±111,48a	734,48±117,63a
Çiğnenebilirlik	601,58±71,57a	781,44±24,93a	710,09±92,09a	618,91±97,52a
Elastikiyet	0,24±0,01a	0,2±0,01b	0,21±0,01b	0,22±0,01ab

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.17'ye göre sertlik değeri en yüksek formülasyonda şeker oranının %100'ü pekmez olan kek örneğinde tespit edilmiştir. Kek örneklerinde sertlik değeri kontrol grubuna kıyasla pekmez eklenerek yapılan keklerde yüksek çıkmıştır. Pekmez eklenmesiyle sertliğin artmasının nedeninin pekmezin viskozitesinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bilgiçli ve Akbulut (2009) tarafından yapılan bir çalışmada kek üretiminde kullanılan kristal şekerin üzüm pekmezi ile yer değiştirmesiyle üretilen kekin tekstürel özellikleri araştırılmıştır. Kek üretiminde kullanılan pekmezin, kekin sertlik değerini arttırdığı tespit edilmiştir. Aghamohammadi vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada kek formülasyonundaki şekerin %25, 50, 75 ve 100 oranında pekmez ile yer değiştirilmesiyle kek özelliklerine etkileri incelenmiştir. Kek formülasyonundaki pekmez oranının artmasıyla sertliğin arttığı tespit edilmiştir.

Yapışkanlık değeri en düşük formülasyondaki şeker oranının %100'ü pekmez olan kek örneğinde gözlenirken, diğer örnekler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p < 0,05$). Esneklik değeri en yüksek kontrol grubunda gözlenirken çeşitli oranlarda pekmez eklenmesiyle yapılan kek örnekleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır.

($p>0,05$). Kohesivlik değeri en yüksek kontrol grubunda gözlenmiştir. En düşük değer ise şeker oranının %100'ü ve %80'ni pekmez olan kek örneklerinde tespit edilmiştir. Örneklerin sakızimsılık değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Örneklerin çiğnenebilirlik değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Elastikiyet değeri en yüksek kontrol grubunda gözlenmiştir. Pekmezli kek örnekleri birbirleriyle kıyaslandığında, şeker oranının %60'ı pekmez olan kek örneğinde elastikiyet değeri, şeker oranının %100'ü ve %80'i pekmez olan kek örneklerine kıyasla daha yüksek tespit edilmiştir.

Formülasyona bal ilave edilerek üretilen kek örneklerinin tekstür değerleri Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Ballı kek örneklerinin tekstür değerleri

Tekstür parametreleri	Ballı kek örneklerinin tekstür değerleri ¹			
	K (kontrol)	D (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	E (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	F (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)
Sertlik	1151,33±104,94b	1535,17±33,41a	1572,03±199,42a	1392,34±76,46ab
Yapışkanlık	-1,59±0,46a	-5,94±0,63c	-4,32±0,86bc	-2,54±0,57ab
Esneklik	0,9±0,01a	0,9±0,02a	0,88±0,01a	0,89±0,01a
Kohesivlik	0,58±0,01a	0,57±0,01a	0,58±0,01a	0,59±0,01a
Sakızimsılık	666,71±74,99b	867,02±13,13ab	904,87±102,72a	828,68±51,43ab
Çiğnenebilirlik	601,58±71,57a	777,01±16,44a	795,17±88,31a	732,75±39,05a
Elastikiyet	0,24±0,01a	0,23±0,01a	0,24±0,01a	0,25±0,01a

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı satırda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistik olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.18'e göre kek örneklerinin sertlik değeri, kontrol grubuna kıyasla bal ikamesiyle yapılan keklerde yüksek çıkmıştır. Bu da gıdaya uygulanan kuvvetin kontrol grubuna kıyasla ballı örneklerde daha fazla olduğu görülmektedir. Bal eklenmesiyle sertliğin artmasının nedeninin balın viskozitesinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Örneklerin yapışkanlık değerleri arasında fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). En yüksek değer kontrol grubunda gözlenirken formülasyondaki bal oranının artmasıyla yapışkanlık değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Tong vd. (2010) tarafından yapılan bir araştırmada ekmeğe eklenen bal tozunun miktarı arttıkça yapışkanlık değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Örneklerin esneklik değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Örneklerin kohesivlik değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Örneklerin sakızimsılık değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Kek örneklerine eklenen bal sakızimsılık değerini yükseltmiştir. Örneklerin çignenebilirlik değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Örneklerin elastikiyet değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$).

4.3.6. Kek Örneklerinin Ağırlık Kaybı Değerleri

Pekmezli ve ballı kek hamurunun 170 °C’de 30 dk pişirme işlemi sonrasında meydana gelen ağırlık kaybı (%) değerleri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Kek örneklerinin ağırlık kaybı değerleri

Örnek	Pekmezli kek örnekleri ağırlık kaybı ¹ (%)	Örnek	Ballı kek örnekleri ağırlık kaybı ¹ (%)
K (kontrol)	7,67±0,12a	K (kontrol)	7,67±0,12a
A (Formülasyondaki şekerin %100’ü pekmezden)	6,68±0,14b	D (Formülasyondaki şekerin %100’ü baldan)	5,71±0,1b
B (Formülasyondaki şekerin %80’i pekmezden)	6,65±0,11b	E (Formülasyondaki şekerin %80’i baldan)	5,83±0,25b
C (Formülasyondaki şekerin % 60’ı pekmezden)	6,27±0c	F (Formülasyondaki şekerin % 60’ı baldan)	6,17±0,1b

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.19’a göre % ağırlık kaybı en çok kontrol grubunda görülürken, en az ağırlık kaybı, şeker oranının %60’ı pekmez olan kek örneğinde tespit edilmiştir. Formülasyondaki

şekerin pekmez ile yer değiştirilmesiyle ağırlık kaybı azalmıştır. Aghamohammadi vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada kek formülasyonunda yer alan şeker oranının %25, 50, 75 ve 100 oranlarında pekmezle yer değiştirilmesi sonucunda ağırlık kaybındaki değişim gözlenmiştir. Formülasyondaki pekmez oranının artmasıyla örneklerde ağırlık kaybının azaldığı tespit edilmiştir.

Ballı kek örneklerinde ise kontrol grubundaki ağırlık kaybı %7,67 bulunurken, bal eklenerek yapılan kek örneklerinde ağırlık kaybı kontrol grubuna kıyasla daha düşük bulunmuştur. Ballı kek örnekleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

4.3.7. Kek Örneklerinin Kabarma İndeksi Değerleri

Pekmezli ve ballı kek hamurunun 170 °C’de 30 dk pişirme işlemi sonrasında ölçülen kabarma indeksi değerleri Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Kek örneklerine ait kabarma değerleri

Örnek	Pekmezli kek örnekleri		Örnek	Ballı kek örnekleri	
	Yükseklik (cm)	Kabarma İndeksi (%)		Yükseklik (cm)	Kabarma İndeksi (%)
K (kontrol)	4,3±0,06a	-	K (kontrol)	4,3±0,06a	-
A (Formülasyondaki şekerin %100’ü pekmezden)	3,5±0c	-18,6	D (Formülasyondaki şekerin %100’ü baldan)	3,75±0,14b	-12,8
B (Formülasyondaki şekerin %80’i pekmezden)	3,6±0,06c	-16,3	E (Formülasyondaki şekerin %80’i baldan)	4,05±0,14ab	-5,8
C (Formülasyondaki şekerin % 60’ı pekmezden)	3,85±0,03b	-10,5	F (Formülasyondaki şekerin % 60’ı baldan)	4,15±0,09a	-3,5

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.20’ye göre örneklerin kabarma yüksekliği değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). En yüksek kabarma kontrol grubunda

görülürken, en düşük kabarma pekmez oranının %100'ü ve %80'i pekmez olan kek örneğinde tespit edilmiştir. Kek formülasyonlarındaki pekmez oranının artmasıyla ölçülen kabarma indeksinde düşüş tespit edilmiştir. Ballı kek örneklerinde ise en yüksek kabarma yüksekliği kontrol grubu ile %60 oranında bal içeren örnekte tespit edilirken en düşük kabarma %100'ü bal olan örnekte görülmüştür.

4.4. Kurabiye Örnekleri Analiz Sonuçları

4.4.1. Kurabiye Örneklerinin Şeker Değerleri

Bileşimde yer alan şeker çeşidinin ve miktarının akrilamid oluşumu üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla, kurabiyelerin 205 °C'de 20 dk pişirme işlemi sonunda oluşan akrilamid miktarları karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.21'de pekmezli kurabiye örneklerinin şeker miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.21. Pekmezli kurabiye örneklerinin şeker miktarları

Pekmezli kurabiye örnekleri şeker miktarları ¹			
Örnek	Sükroz (g/100g)	Glukoz (g/100g)	Fruktoz (g/100g)
N (kontrol)	25,14±0,59a	0±0d	0±0d
G (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	1,86±0,03d	4,19±0,11a	9,59±0,02a
H (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	5,94±0,22c	3,32±0,1b	7,71±0,04b
I (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	11,15±0,53b	2,52±0,02c	5,39±0,08c

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.21'e göre pekmezli kurabiye örneklerinin şeker değerleri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Örneklerde sükroz miktarı en yüksek kontrol grubunda tespit edilirken, formülasyondaki pekmez oranının artmasıyla sükroz miktarının azaldığı görülmektedir. Glukoz ve fruktoz şekerleri ise kontrol grubunda bulunmazken, kurabiye örneklerine eklenen pekmez miktarıyla orantılı olarak arttığı görülmektedir. Örneklerin şeker oranında pekmez oranının artmasıyla birlikte fruktoz miktarı glukoz miktarından daha yüksek

tespit edilmiştir. Pişmiş örneklerdeki şeker miktarlarındaki farklılığın bir nedeninin de, indirgen şekerlerin bir kısmının Maillard reaksiyonuna girmiş olması olabilir. Kontrol grubunun akrilamid miktarı $30,97 \pm 4,68$ olarak tespit edilirken, kurabiye örneklerinde pekmez oranının artmasıyla akrilamid miktarları sırasıyla $824,3 \pm 27,47$, $1274,04 \pm 7,59$, $1468,32 \pm 55,48$ ng/g seviyelerine yükselmiştir. Glukoz ve fruktoz şeker çeşitlerinin en fazla bulunduğu kurabiye örneğinde, en yüksek akrilamid miktarı tespit edilmiştir. Pekmezin içeriğinde bulunan indirgen şekerlerin (fruktoz, glukoz) kurabiye ürünlerinde oluşan akrilamid miktarını arttırdığı görülmüştür.

Çizelge 4.22’de ballı kurabiye örneklerinin şeker miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.22. Ballı kurabiye örneklerinin şeker miktarları

Ballı kurabiye örnekleri şeker miktarları ¹			
Örnek	Sükroz (g/100g)	Glukoz (g/100g)	Fruktoz (g/100g)
N (kontrol)	$25,14 \pm 0,59a$	$0 \pm 0c$	$0 \pm 0c$
J (Formülasyondaki şekerin %100’ü baldan)	$3,07 \pm 0,05d$	$3,51 \pm 0,34a$	$7,06 \pm 0,57a$
L (Formülasyondaki şekerin %80’i baldan)	$6,15 \pm 0c$	$3,76 \pm 0a$	$7,7 \pm 0a$
M (Formülasyondaki şekerin %60’ı baldan)	$8,79 \pm 0,14b$	$2,65 \pm 0,21b$	$5,27 \pm 0,38b$

¹ Değerler ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Ballı kurabiye örneklerinin şeker değerleri arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Kurabiye örnekleri şeker analizi sonucunda en yüksek sükroz miktarı kontrol grubunda tespit edilirken, formülasyondaki bal oranı arttıkça sükroz miktarının düştüğü görülmüştür. Formülasyondaki bal oranı arttıkça indirgen şeker olan fruktoz ve glukozun miktarında artış tespit edilmiştir. Örneklerdeki şeker miktarlarındaki farklılığın bir nedeninin de, indirgen şekerlerin bir kısmının Maillard reaksiyonuna girmiş olması olduğu düşünülmektedir. Kontrol grubunun akrilamid miktarı $30,97 \pm 4,68$ olarak tespit edilirken, ballı kurabiye örneklerinde bal oranının artmasıyla akrilamid miktarları sırasıyla $374,25 \pm 19,37$, $495,63 \pm 2,89$, $598,63 \pm 12,95$ ng/g seviyelerine yükselmiştir. Ortamda bulunan indirgen şekerlerin varlığının, ürünlerdeki akrilamid konsantrasyonunu arttırdığı ifade edilebilir.

Graf vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada bisküvilerde indirgen şeker olmayan sükrozun kullanılmasının, üründe oluşan akrilamid miktarını %70 oranında azalttığı tespit edilmiştir. İndirgen şekerlerin sükroz ile yer değiştirilmesiyle akrilamid içeriğinin önemli ölçüde azaldığı rapor edilmiştir.

Açar-Çetinkaya (2010) tarafından yapılan bir çalışmada bisküvi bileşimindeki sükrozun yerine glukozun kullanılması akrilamid miktarını belirgin ölçüde arttırmıştır. Farklı miktarlarda sükroz içeren bisküvilerin akrilamid miktarları arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmamışken, farklı oranlarda glukoz içeren bisküvileri, hiç glukoz içermeyen bisküvi örneği ile karşılaştırıldığında akrilamid miktarları arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. 10g sükroz eklenerek yapılan bisküvilerde $74,12 \pm 11,21$ ng/g akrilamid miktarı tespit edilirken, 10g sükroz + 25g glukoz eklenerek yapılan bisküvilerde ise $260,34 \pm 10,17$ ng/g düzeyinde akrilamid tespit edilmiştir.

Summa, Wenzl, Brohee, De La Calle ve Anklam (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, sükroz içeren bisküvi örneklerinde akrilamid oluşum hızının düşük olduğu, fruktoz içeren bisküvi örneklerinde ise sükroz kullanımına kıyasla akrilamid konsantrasyonunun arttığı tespit edilmiştir.

Yakıcı (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı reçetelerle üretilen bisküvi formülasyonlarında akrilamid ve aroma oluşumu araştırılmıştır. Kurabiye formülasyonlarındaki indirgen şeker içeriğinin azalmasıyla akrilamid miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

4.4.2. Kurabiye Örneklerinin Renk Değerleri

Kurabiye hamurlarının ve pişirme işlemi sonrasında kurabiye örneklerinin renk değerleri incelenmiştir. Çizelge 4.23'te kurabiye hamuru ve örneklerinin L* (parlaklık-açıklık) değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.23. Kurabiye hamuru ve örneklerinin L* değerleri

Örnek	Pekmezli kurabiye örnekleri L* değerleri ¹		Örnek	Ballı kurabiye örnekleri L* değerleri ¹	
	Hamur	Kurabiye		Hamur	Kurabiye
N (kontrol)	70,12±0,99a	65,98±0,08a	N (kontrol)	70,12±0,99a	65,98±0,08a
G (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	47,08±4,11b	35,96±0,58d	J (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	70,74±0,81a	42,19±0,32c
H (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	48,02±3,05b	37,18±0,39c	L (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	71,18±0,93a	44,83±0,72b
I (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	50,8±2,61b	40,65±0,29b	M (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	70,61±0,38a	45,29±0,63b

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.23'te pekmezli kurabiye hamur örneklerinde L* değeri en yüksek kontrol grubunda gözlenirken, formülasyondaki şeker miktarının azaltılıp farklı oranlarda pekmez ilave edilerek hazırlanan örnekler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Pişirme işlemi sonrasında ise pekmezli kurabiyeler birbirinden ayrılmaktadır. En yüksek L* değeri kontrol grubunda gözlenirken, formülasyondaki pekmez oranı arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. İnanır (2018) yapmış olduğu bir çalışmada, bisküvi içeriğinde yer alan şekerin %50 ve %100 oranlarında keçiyoynuzu pekmezi ile yer değiştirilmesiyle renk özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Renk analizi sonucunda kurabiye formülasyonundaki keçiyoynuzu pekmezi oranının artmasıyla L* değerinde düşüş tespit edilmiştir.

Kontrol grubu ile ballı kurabiye hamur örneklerinin L* değerleri arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Pişirme işlemi sonrasında örneklerde bal oranının artmasıyla açıklığın azaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.24'te kurabiye hamuru ve örneklerinin a* (kırmızılık) değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.24. Kurabiye hamuru ve örneklerinin a* değerleri

Örnek	Pekmezli kurabiye örnekleri a* değerleri ¹		Örnek	Ballı kurabiye örnekleri a* değerleri ¹	
	Hamur	Kurabiye		Hamur	Kurabiye
N (kontrol)	1,54±0,07b	9,36±0,2b	N (kontrol)	1,54±0,07c	9,36±0,2c
G (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	10,08±0,38a	16,34±0,07a	J (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	3,62±0,16a	17,58±0,05a
H (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	9,88±0,31a	15,82±0,16a	L (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	3,37±0,15a	17,31±0,13ab
I (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	9,71±0,25a	16,09±0,16a	M (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	2,93±0,11b	17,11±0,1b

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.24'e göre a* değeri kurabiye örneklerinde en düşük kontrol grubunda gözlenirken formülasyonda eklenen pekmez, örneklerdeki a* değerini yükseltmiştir. İnanır (2018) tarafından yapılan bir çalışmada kurabiye formülasyonundaki keçiyoynuzu pekmezi oranının artmasıyla a* değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir.

Ballı kurabiye hamur örneklerinde a* değerinin formülasyona eklenen bal oranı arttıkça arttığı görülmektedir. Uygulanan ısıl işlem sonrasında ise a* parametresi en yüksek formülasyondaki şekerin %100'ü bal olan kurabiye örneğinde görülürken, formülasyondaki bal oranı düştükçe a* değerinin de düştüğü tespit edilmiştir. En düşük değer ise kontrol grubunda görülmüştür.

Çalışmalarda, akrilamid miktarı ile a* parametresi arasında ilişki olduğu rapor edilmektedir (Açar-Çetinkaya, 2010; Süvari, 2015).

Açar-Çetinkaya (2010) tarafından yapılan bir çalışmada bisküvi benzeri ürünlerde pişirme sırasında termal proses kontaminantlarının oluşumu araştırılmıştır. Bisküvinin pişirilmesiyle birlikte a* (kırmızılık) değeri ile akrilamid oluşumu arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, a* değerinin akrilamid yoğunluğu göstergesi olarak

tek başına güvenilir bir gösterge olmadığı da bildirilmiştir (Gökmen, Açar, Arribas-Lorenzo ve Morales, 2008).

Çizelge 4.25'te kurabiye hamuru ve örneklerinin b* (sarılık) değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.25. Kurabiye hamuru ve örneklerinin b* değerleri

Örnek	Pekmezli kurabiye örnekleri b* değerleri ¹		Örnek	Ballı kurabiye örnekleri b* değerleri ¹	
	Hamur	Kurabiye		Hamur	Kurabiye
N (kontrol)	25,21±0,34b	34,04±0,21a	N (kontrol)	25,21±0,34a	34,04±0,21a
G (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	26,82±1,6ab	19,85±0,93d	J (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	26,95±0,56a	28,78±0,25c
H (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	28,68±0,76a	21,56±0,44c	L (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	26,37±0,82a	30,78±0,43b
I (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	29,07±0,48a	25±0,35b	M (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	26,58±0,31a	31±0,49b

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.25'e göre pekmezli kurabiye örneklerinin b* değerleri arasında fark istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Pekmezli kurabiye hamuru örnekleri incelendiğinde b* değeri, kontrol grubuna kıyasla pekmezli kurabiye örneklerinde arttığı görülmüştür. Isıl işlem sonrasında analizi yapılan kurabiye örneklerinde ise b* değeri en yüksek kontrol grubunda görülürken, formülasyondaki pekmez oranının artmasıyla b* değeri istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde azalmıştır.

Kontrol grubunun hamur örneği ile ballı kurabiye hamur örnekleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Pişirme işleminden sonra analizi yapılan kurabiye örneklerinde b* değeri, kontrol grubuna kıyasla ballı kurabiye örneklerinde daha düşük tespit edilmiştir.

Çizelge 4.26'da kurabiye hamuru ve örneklerinin ΔE değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.26. Kurabiye hamuru ve örneklerinin ΔE değerleri

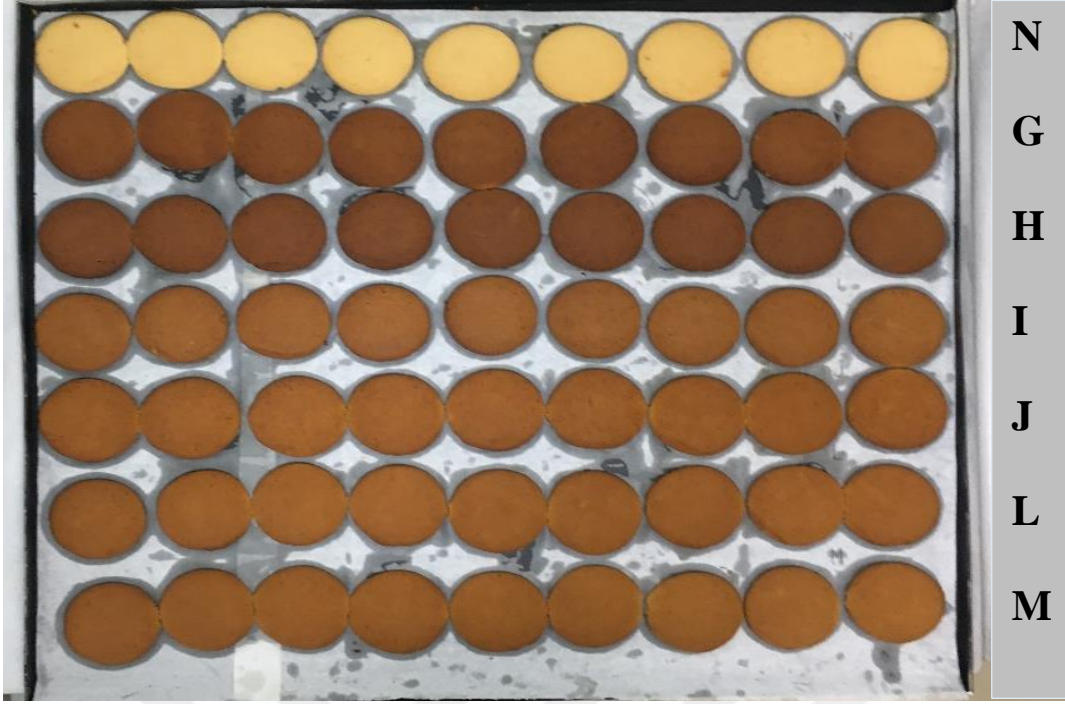
Örnek	Pekmezli kurabiye örnekleri ΔE değerleri ¹		Örnek	Ballı kurabiye örnekleri ΔE değerleri ¹	
	Hamur	Kurabiye		Hamur	Kurabiye
N (kontrol)	-	-	N (kontrol)	-	-
G (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	24,9±3,87a	28,39±0,81a	J (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	3,19±0,43a	20,73±0,39a
H (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	22,59±1,83a	26,56±1,05ab	L (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	3,14±0,47a	19,65±0,25b
I (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	21,42±2,41a	24,97±0,44b	M (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	2,16±0,24a	18,64±0,31c

¹ Değerler ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.26'ya göre pekmezli kurabiye hamur örneklerinin ΔE değerleri arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Isıl işlem sonrasında ise örnekler arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). ΔE değeri en düşük formülasyondaki şeker oranının %60'ı pekmez olan kurabiye örneğinde görülürken, formülasyondaki pekmez oranının artmasıyla ΔE değerinin arttığı tespit edilmiştir. Pekmezli kurabiye örneklerinin ΔE değerleri ile akrilamid konsantrasyonları arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki bulunmuştur ($r = 0,792$).

Ballı kurabiye hamuru örneklerinin ΔE değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Pişirme işlemi sonrasında örneklerin ΔE değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Toplam renk değişimi değerleri incelendiğinde formülasyona eklenen bal oranı ile orantılı şekilde artış gösterdiği görülmektedir. Ballı kurabiye örneklerinin ΔE değerleri ile akrilamid konsantrasyonları arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki bulunmuştur ($r = 0,915$). Şekil 4.3'te pişirme işlemi sonrasında kurabiye örneklerinin yer aldığı fotoğraf verilmiştir.



Şekil 4.3. Kurabiye örnekleri

Fırıncılık ürünlerinde pişirme sırasında renk oluşumu yaygın olarak kahverengileşme olarak bilinir. Kahverengileşme, pişirme işlemi sırasında renkli bileşikler üreten enzimatik olmayan kimyasal reaksiyonların sonucudur. Pekmez veya bal katılarak yapılan örneklerin kontrol grubuna kıyasla daha koyu renkte oldukları görülmektedir. Ürünlerde oluşan akrilamid miktarı ise daha koyu renkte olan kurabiyelerde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada, bisküvi örneklerinde kahverengileşme ile oluşan akrilamid miktarının orantılı bir şekilde artış gösterdiği ileri sürülmüştür (Gökmen vd., 2008).

4.4.3. Kurabiye Örneklerinin pH Değerleri

Kurabiye hamuru ve uygulanan ısı işlem sonrası örneklerin pH değerleri Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Kurabiye hamuru ve örneklerinin pH değerleri

Örnek	Pekmezli kurabiye örnekleri pH değerleri ¹		Örnek	Ballı kurabiye örnekleri pH değerleri ¹	
	Hamur	Kurabiye		Hamur	Kurabiye
N (kontrol)	8±0,05a	9,41±0,03a	N (kontrol)	8±0,05a	9,41±0,03a
G (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	7,29±0,06d	6,66±0,07d	J (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	7,74±0,05c	6,86±0,03d
H (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	7,51±0,03c	6,83±0,04c	L (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	7,8±0,06bc	7,01±0,01c
I (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	7,68±0,04b	7,11±0,02b	M (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	7,96±0,07b	7,15±0,04b

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.27'ye göre pekmezli kurabiye örneklerinin pH değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Pekmezli kurabiye hamur örneklerinde formülasyondaki pekmez oranı arttıkça pH'nın azaldığı görülmektedir. Isıl işlem sonrasında ise formülasyondaki pekmez oranı arttıkça pH'nın düzenli bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Kurabiye formülasyonlarına ilave edilen pekmez oranı arttıkça indirgen şeker içeriğinin arttığı, pH'nın azaldığı ve oluşan akrilamid miktarında artış meydana geldiği görülmüştür. Kurabiye örneklerinde kontrol grubunda akrilamid miktarı $30,97 \pm 4,68$ olarak tespit edilirken, ilave edilen pekmez miktarı arttıkça akrilamid miktarları sırasıyla $824,3 \pm 27,47$, $1274,04 \pm 7,59$, $1468,32 \pm 55,48$ seviyelerine yükseldiği görülmüştür. Pekmezli kurabiye örneklerinde pH seviyesi düştükçe akrilamid miktarında artış gözlenmiştir. Pekmezli kurabiye örneklerinin pH değerleri ile akrilamid konsantrasyonları arasında negatif yönde güçlü bir ilişki bulunmuştur ($r = -0,92$).

İnanır (2018) tarafından yapılan bir çalışmada bisküvi formülasyonundaki şekerin farklı oranlarda keçiyoynuzu pekmezi ile yer değiştirilmesinin pH değişimine etkisi incelenmiştir. Kontrol grubunda pH 6,58 tespit edilirken, formülasyondaki keçiyoynuzu pekmez oranının artması pH seviyesini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Ballı kurabiye örneklerinin pH değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Hamur örneklerinde kontrole kıyasla ballı ürünlerde pH düşük tespit edilmiştir. Isıl işlem sonrasında formülasyona ilave edilen bal oranı arttıkça pH seviyesinin azaldığı tespit edilmiştir. Kurabiye formülasyonlarına ilave edilen bal oranı arttıkça indirgen şeker içeriğinin arttığı, pH'nın azaldığı ve oluşan akrilamid miktarında artış meydana geldiği görülmüştür. Kurabiye örneklerinin kontrol grubunda akrilamid miktarı $30,97 \pm 4,68$ olarak tespit edilirken, örneklere ilave edilen bal miktarı arttıkça akrilamid miktarları sırasıyla $374,25 \pm 19,37$, $495,63 \pm 2,89$, $598,63 \pm 12,95$ seviyelerine yükseldiği görülmüştür. Ballı kurabiye örneklerindeki pH seviyesi düştükçe akrilamid miktarında artış görülmüştür. Keramat, LeBail, Prostve ve Jafari (2011) tarafından yapılan bir çalışmada kurabiye gibi bazı fırıncılık ürünlerinde pH'nın düşürülmesi akrilamid oluşumunda ters bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Ballı kurabiye örneklerinin pH değerleri ile akrilamid konsantrasyonları arasında negatif yönde güçlü bir ilişki bulunmuştur ($r = -0,867$).

4.4.4. Kurabiye Örneklerinin Kuru Madde ve Su Aktivitesi (a_w) Değerleri

Çizelge 4.28'de pekmezli kurabiye hamurlarının ve pişirme işlemi sonrasındaki örneklerin % kuru madde ve su aktivitesi değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.28. Pekmezli kurabiye hamuru ve örneklerinin su aktivitesi ve kuru madde değerleri

Örnek	Pekmezli kurabiye örnekleri		
	a_w değerleri ¹		Kuru madde ¹ (%)
	Hamur	Kurabiye	Kurabiye
N (kontrol)	$0,83 \pm 0,009a$	$0,51 \pm 0,002a$	$94,54 \pm 0,13a$
G (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	$0,78 \pm 0,001c$	$0,45 \pm 0,004b$	$94,1 \pm 0,22a$
H (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	$0,78 \pm 0,006c$	$0,46 \pm 0,014b$	$94,99 \pm 0,56a$
I (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	$0,81 \pm 0,001b$	$0,46 \pm 0,008b$	$94,4 \pm 0,09a$

¹ Değerler ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.28'e göre kontrol grubu ile pekmezli kurabiye örneklerinin kuru madde değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Kuru madde değerleri kurabiye örneklerinde ortalama %94,51 olarak bulunmuştur.

Örneklerin su aktivitesi değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Kurabiye hamurlarının su aktivitesi değeri en yüksek kontrol grubunda görülürken en düşük şeker içeriğinin %100'ü ve %80'ni pekmez olan örneklerde bulunmuştur. Pişirme işlemi sonrasında kontrol grubu ile pekmezli kurabiyeler birbirinden ayrılmaktadır. En yüksek su aktivitesi değeri kontrol grubunda görülürken, pekmezli kurabiye örnekleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.29'da ballı kurabiye hamurlarının ve pişirme işlemi sonrasındaki örneklerin % kuru madde ve su aktivitesi değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.29. Ballı kurabiye hamuru ve örneklerinin su aktivitesi ve kuru madde değerleri

Örnek	Ballı kurabiye örnekleri		
	a_w değerleri ¹		Kuru madde ¹ (%)
	Hamur	Kurabiye	Kurabiye
N (kontrol)	0,83±0,009a	0,51±0,002a	94,54±0,13a
J (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	0,8±0,008b	0,43±0,003c	94,86±0,07a
L (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	0,81±0,001b	0,44±0,006bc	94,65±0,03a
M (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	0,81±0,001b	0,45±0,004b	94,58±0,1a

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.29'a göre kontrol grubu ile ballı kurabiye örneklerinin kuru madde değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Kuru madde değerleri kurabiye örneklerinde ortalama %94,66 olarak bulunmuştur.

Ballı kurabiye örneklerinin su aktivitesi değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Kurabiye hamurlarında formülasyona eklenen bal su aktivitesi değerini azaltmıştır. Kurabiyelere uygulanan ısı işlem sonrasında formülasyondaki bal oranı arttıkça su aktivitesi değerlerinde düşüş tespit edilmiştir.

Sıcaklık, pişirme süresi ve son nem içeriği pişirme işlemiyle yakından ilişkilidir. Isıl işlem sonrasında kurabiye örneklerin su aktivitesi değerlerinde meydana gelen düşüş, örneklerin akrilamid oluşumu için gerekli uygun koşulların sağlandığını göstermektedir. Su aktivitesi 0,8'in altına düşmeden önce akrilamidin oluşmadığı ve su aktivitesi yaklaşık 0,4 olduğunda maksimum akrilamid oluşumu gerçekleşmektedir. Su aktivitesinin 0,4'ten daha fazla azaltılması, akrilamid miktarını azaltma eğiliminde olduğu bildirilmiştir (Keramat vd., 2011).

Yapılan bir araştırmada %10 nem oranı ihtiva eden bisküvilere uygulanan farklı pişirme koşullarında akrilamid oluşmadığı gözlenmiştir. Nem oranı %6 ve %2 olan bisküvilere ise uygulanan sıcaklık derecesi arttıkça oluşan akrilamid konsantrasyonunda artış tespit edilmiştir (Taeymans vd., 2004).

4.4.5. Kurabiye Örneklerinin Tekstür Değerleri

Tekstür analizinde kurabiye örneklerinin sertlik (hardness) ve esneklik (flexibility) değerleri ölçülmüştür. Formülasyona pekmez ilave edilerek üretilen kurabiye örneklerinin tekstür değerleri Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Tekstür analizi için ölçümü yapılan kurabiye örnekleri parametrelerinin tanımları aşağıda açıklanmaktadır (Szczeniak, 2002).

- Sertlik değeri, gıda maddesinin çiğneme işlemi aşamasında dişler arasında parçalamak için gereken kuvvettir.
- Esneklik değeri, bir gıda maddesine uygulanan kuvvet kaldırıldıktan sonra gıda maddesinin deforme olmuş durumundan deforme olmamış durumuna geri dönme hızıdır.

Çizelge 4.30. Pekmezli kurabiye örneklerinin tekstür değerleri

Örnek	Pekmezli kurabiye örnekleri tekstür değerleri ¹	
	Sertlik	Esneklik
N (kontrol)	3545,29±337,46a	14,94±0,16b
G (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	2872,4±129,72a	16,63±0,35a
H (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	3155,16±444,9a	16,19±0,54a
I (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	3648,79±153,57a	16,69±0,19a

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Tekstür analizi sonucuna göre, kontrol grubu ile pekmez katılarak hazırlanan kurabiye örneklerinin sertlik değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$)

Esneklik değerinde ise kontrol grubu ile formülasyona eklenen pekmezli örnekler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($p < 0,05$). Esneklik değerinin, kontrol grubuna kıyasla pekmez eklenmesiyle hazırlanan kurabiye örneklerinde yükseldiği görülmektedir.

Formülasyona bal ilave edilerek üretilen kurabiye örneklerinin tekstür değerleri Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Ballı kurabiye örneklerinin tekstür değerleri

Örnek	Ballı kurabiye örnekleri tekstür değerleri ¹	
	Sertlik	Esneklik
N (kontrol)	3545,29±337,46a	14,94±0,16a
J (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	4236,12±460,4a	16,13±0,26a
L (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	4410,03±279,09a	16,08±0,61a
M (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	3808,94±188,42a	15,74±0,53a

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Tekstür analiz sonucuna göre kontrol grubu ile bal katılarak hazırlanan kurabiye örneklerinin sertlik değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Kontrol grubu ile bal katılarak hazırlanan kurabiye örneklerinin esneklik değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Bornare ve Khan (2015) tarafından yapılan bir çalışmada kurabiye formülasyonundaki pudra şekerinin yerine %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında bal eklenmesiyle sertlik değerlerindeki değişim gözlenmiştir. Kurabiyelere eklenen bal oranı arttıkça ürünlerdeki sertliğin azaldığı tespit edilmiştir.

4.4.6. Kurabiye Örneklerinin Ağırlık Kaybı Değerleri

Pekmezli ve ballı kurabiye hamurunun 205 °C'de 20 dk pişirme işlemi sonrasında meydana gelen ağırlık kaybı (%) değerleri Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Kurabiye örneklerinin ağırlık kaybı değerleri

Örnek	Pekmezli kurabiye örnekleri ağırlık kaybı ¹ (%)	Örnek	Ballı kurabiye örnekleri ağırlık kaybı ¹ (%)
N (kontrol)	13,85±0,18b	N (kontrol)	13,85±0,18a
G (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	15,06±0,28a	J (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	14,06±0,12a
H (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	13,14±0,32b	L (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	14,37±0,33a
I (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	13,68±0,34b	M (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	13,99±0,21a

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.32'ye göre pekmezli kurabiye örneklerinin % ağırlık kaybı değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Kurabiye formülasyonundaki şekerin %100'ü pekmez kullanılarak yapılan kek örneğinin ağırlık kaybında artış görülsede, kontrol grubu ile şekerin farklı oranlarda pekmeze ikamesiyle üretilen örneklerin ağırlık kaybı değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Kontrol grubu ile ballı kurabiye örneklerinin % ağırlık kaybı değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$).

4.4.7. Kurabiye Örneklerinin Kabarma İndeksi Değerleri

Pekmezli ve ballı kurabiye hamurunun 205 °C'de 20 dk pişirilme işlemi sonrasında ölçülen kabarma indeksi değerleri Çizelge 4.33'te verilmiştir.

Çizelge 4.33. Kurabiye örneklerine ait kabarma değerleri

Örnek	Pekmezli kurabiye örnekleri ¹		Örnek	Ballı kurabiye örnekleri ¹	
	Yükseklik (cm)	Kabarma İndeksi (%)		Yükselik (cm)	Kabarma İndeksi (%)
N (kontrol)	1,29±0,05a	-	N (kontrol)	1,29±0,05a	-
G (Formülasyondaki şekerin %100'ü pekmezden)	1,16±0,01b	-10,07	J (Formülasyondaki şekerin %100'ü baldan)	1,25±0,01a	-3,1
H (Formülasyondaki şekerin %80'i pekmezden)	1,15±0b	-10,9	L (Formülasyondaki şekerin %80'i baldan)	1,3±0,04a	-0,8
I (Formülasyondaki şekerin %60'ı pekmezden)	1,16±0,01b	-10,07	M (Formülasyondaki şekerin %60'ı baldan)	1,29±0,02a	-0

¹ Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) fark bulunmaktadır.

Çizelge 4.33'e göre pekmezli kurabiye örneklerinin kabarma yükseklikleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Kontrol grubuna kıyasla pekmezli kurabiyelerin kabarma yüksekliğinde düşüş tespit edilmiştir. Ballı kurabiye örnekleri ile kontrol grubunun kabarma yüksekliği değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fırıncılık ürünleri içerisinde yaygın olarak tüketilen kek, kurabiye gibi ürünlerin üretiminde, formülasyondaki şekerin yerine bal veya pekmez kullanımı, son dönemde öne çıkan bir uygulama olmaya başlamıştır. Bal veya pekmez ilave edilerek üretilen ürünler, bazen daha sağlıklı bazen de daha doğal oldukları varsayımı ile talep görebilmektedir. Endüstriyel uygulamalara ilave olarak, ev tipi kek, kurabiye gibi gıdaların üretiminde şeker yerine bal veya pekmez ilave edilmesi de bazı uzmanlar tarafından öneri olarak sunulmaktadır. Fırıncılık ürünlerinde yüksek indirgen şeker içeren ingrediyenlerin kullanımının, son üründe akrilamid, HMF gibi toksik bileşiklerin oluşumunu artırıcı etki yapabileceği bilinmektedir.

Bu tezde, şeker yerine indirgen şeker içeriği yüksek pekmez ve bal gibi ingrediyenler kullanılarak üretilen kek ve kurabiyelerdeki akrilamid oluşum riskinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada biri kontrol grubu olmak üzere, yedişer farklı örnek formülasyonu kullanılarak kek ve kurabiye üretimi gerçekleştirilmiştir. Örneklerdeki akrilamid miktarları, Sıvı Kromatografisi-Kütle/Kütle Spektrometresi (LC-MS/MS) yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca örneklerin şeker içerikleri belirlenip, su aktivitesi, pH, kuru madde, ağırlık kaybı, kabarma indeksi, renk ve tekstür ölçümleri yapılmıştır. Örneklerin hamurunda ise pH, su aktivitesi ve renk ölçümleri yapılmıştır.

Yapılan analizler neticesinde kek örneklerinin % kuru madde değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Pekmezli kek örneklerinin % kuru madde içerikleri ortalama %70,48, ballı kek örneklerinin ise %70,78 olarak tespit edilmiştir. Kurabiye örneklerinin % kuru madde değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Pekmezli kurabiye örneklerinin % kuru madde içerikleri ortalama %94,51 iken, ballı kurabiye örneklerinin %94,66 olarak saptanmıştır.

Pekmez ve bal oranı arttıkça, kek ve kurabiye örneklerinin su aktivitesi değerlerinin düştüğü tespit edilmiş ve su aktivitesindeki değişim istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Kek örneklerinin pH değerleri incelendiğinde kontrol grubunun pH'sı 8,18 iken formülasyondaki şekerin farklı oranlarda bal ve pekmez ile ikamesiyle örneklerin pH değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Kurabiye kontrol örneğinin pH'sı 9,41 iken formülasyona eklenen pekmez ve bal oranı arttıkça pH değerinin düştüğü görülmüştür.

L* değeri kek kontrol grubunun kabuk kısmında 60,33 tespit edilirken, iç kısmında 77,82 bulunmuştur. Kek formülasyonlarına şeker yerine farklı oranlarda pekmez veya balın eklenmesi L* değerini azalttığı tespit edilmiştir. Kurabiye kontrol grubunda ise L* değeri 65,98 olarak tespit edilirken, örnek formülasyonlarına eklenen pekmez veya bal L* değerini azaltmıştır. Sonuçlar istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

a* değerinin kek ve kurabiye formülasyonlarına eklenen pekmez veya bal ile arttığı tespit edilmiştir. Pekmezli keklerin kabuk kısmında örnekler arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır. Kek içi değerlerinde ise pekmez oranının artmasıyla birlikte a* değerinin arttığı tespit edilmiştir. Kek formülasyonuna ilave edilen bal, keklerin iç ve kabuk kısmında a* değerini yükseltmiştir. Kurabiye örneklerinde ise kontrol grubuna kıyasla formülasyona eklenen pekmez veya balın a* değerini arttırdığı tespit edilmiştir. Sonuçlar istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

b* değeri en yüksek kek kontrol grubu örneğinin kabuğunda görülürken, formülasyondaki pekmez oranının artmasıyla kabuk kısmındaki b* değeri azalmıştır. Kek içinde ise formülasyona eklenen pekmez, kekin b* değerini arttırmıştır. Kontrol grubunun kabuk örneği ile ballı kek kabuk örnekleri b* değerleri arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır. Ballı kek içi örneklerinde ise kontrol grubuna kıyasla formülasyona eklenen balın, b* değerini arttırdığı görülmüştür. Pekmezli ve ballı kurabiye örneklerine eklenen pekmez veya bal oranı arttıkça, b* değerleri azalmıştır. Kurabiye örneklerinin b* değerleri istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Kek örneklerinin tekstür değerlerine bakıldığında sertlik değeri, eklenen pekmezle birlikte artmıştır. Yapışkanlık değeri formülasyondaki şeker oranının %100'ü pekmez olan örnekte en düşük tespit edilirken, diğer örnekler arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır ($p<0,05$). Esneklik değeri en yüksek kontrol grubunda görülürken, pekmez katılarak yapılan kek örnekleri arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Kohesivlik değeri formülasyona eklenen pekmezle düşmüştür. Sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerleri kontrol grubu ile pekmezli kek örnekleri arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Elastikiyet değeri formülasyona eklenen pekmezle azalmıştır. Kek örneklerinde sertlik değeri, kontrol grubuna kıyasla bal ikamesiyle yapılan keklerde yüksek çıkmıştır. Formülasyondaki bal oranı arttıkça yapışkanlık değeri düşmüştür. Esneklik, kohesivlik, çiğnenebilirlik ve elastikiyet değerleri kontrol grubu ile ballı kek örnekleri arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Kek örneklerine eklenen bal,

sakızımsılık değerini yükseltmiştir. Kurabiye örneklerinin tekstür değerlerine bakıldığında sertlik değeri, kontrol grubu ile pekmez katılarak hazırlanan kurabiye örnekleri arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Kontrol grubuna kıyasla formülasyona eklenen pekmez, kurabiye örneklerinde esneklik değerini yükseltmiştir. Ballı kurabiyelerde sertlik ve esneklik değerleri, istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

% Ağırlık kaybı değerlerine bakıldığında kek formülasyonuna eklenen pekmez ağırlık kaybını azaltmıştır. Kontrol grubuna kıyasla ballı keklerde ağırlık kaybı düşmüştür. Ballı kek örnekleri arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Kurabiye formülasyonunda şekerin %100'ü pekmez olan kek örneğinde ağırlık kaybı artsa da, kontrol grubu ile şekerin farklı oranlarda pekmezle ikamesiyle üretilen örneklerin ağırlık kaybı değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Kontrol grubu ile ballı kurabiye örnekleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Kabarma indeksi değerlerine bakıldığında kek formülasyonlarındaki pekmez veya bal oranının artmasıyla kabarma yüksekliği değeri düşmüştür. Kurabiye örneklerine bakıldığında kontrol grubuna kıyasla pekmezli kurabiye örneklerinin kabarma yüksekliğinde düşüş tespit edilmiştir. Ballı kurabiye örnekleri ile kontrol grubunun kabarma yüksekliği değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Şeker çeşidine ve miktarlarına bakıldığında kek ve kurabiye örneklerinin kontrol grubunda sükroz bulunurken fruktoz ve glukoz tespit edilmemiştir. Pekmezli kek ve kurabiye formülasyonundaki pekmez oranı arttıkça indirgen şeker olan fruktoz ve glukoz içeriği artmıştır. Sükroz miktarı ise pekmez oranının artmasıyla azalmıştır. Ballı kek ve kurabiye formülasyonlarında ise bal oranının artmasıyla fruktoz ve glukoz miktarında artış tespit edilmiştir.

Akrilamid analizi sonucuna göre kek formülasyonundaki pekmez miktarı arttıkça akrilamid miktarı yükselmiştir. Pekmezli kek örneklerinde akrilamid miktarları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Ballı kek örneklerinde ise akrilamid miktarı tespit limitinin altında akrilamid miktarı en yüksek olan kalmıştır. Formülasyondaki şekerin %100'ünün pekmez ile ikame edildiği kek örneğinde, akrilamid miktarı $195,67\pm 0,85$ ng/g düzeyinde bulunmuştur. Kurabiye örneklerine bakıldığında, formülasyondaki pekmez veya bal oranının artmasıyla akrilamid miktarının yükseldiği tespit edilmiştir. Kurabiye örneklerinde akrilamid miktarları arasındaki değişim istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Kurabiye örneklerindeki en yüksek akrilamid düzeyi, formülasyondaki şekerin %100'ünün pekmez ile ikame edildiği pekmezli kurabiye örneğinde, 1468,32±55,48 ng/g olarak bulunmuştur.

Ballı keklerde, olası kanserojen bir bileşik olan akrilamidin tespit limitinin altında kalması, balın kek üretiminde şeker yerine kullanılmasının sağlık açısından tehlike yaratmadığını düşündürmektedir. Formülasyondaki şekerin tamamının bal ile ikame edilmesi, kabarma yüksekliğini düşürse de şeker ile balın farklı oranlarda ikame edilmesiyle kek kabarma yüksekliğinde herhangi bir değişiklik görülmemektedir. Bununla birlikte, ballı kurabiye örneklerinde bal oranı arttıkça akrilamid miktarı artış göstermiştir. Kurabiye örneklerine kek örneklerine kıyasla uygulanan sıcaklık derecesinin yüksek olması ve ürün su aktivitesi değerlerinin düşük olması nedeniyle örneklerde daha yüksek akrilamid oluşumu gerçekleştiği düşünülmektedir. Akrilamid oluşumunu etkileyen birçok faktör vardır. Her ne kadar besinsel açıdan zengin olduğu bilinen balın, kek formülasyonunda kullanılmasının ardından ürünlere 170 °C'de 30 dk boyunca ısı işlem uygulamasıyla akrilamid önemli miktarda oluşmasa da, bal içeriğindeki indirgen şeker miktarı, ürüne uygulanan yüksek sıcaklıklar ve süre akrilamid oluşumunu arttıran önemli faktörlerdir. Bu nedenle fırıncılık ürünlerinde balın kullanımına dikkat edilmelidir. Ayrıca kek üretiminde balın, şeker ve su ile birlikte kullanımını geliştirmek için daha fazla araştırma yapılmasının faydalı olacağı ifade edilebilir.

Tez çalışması sonucunda, ballı kek örneklerinin akrilamid miktarları tespit limitinin altında kalırken pekmezli kek, ballı kurabiye ve pekmezli kurabiye örneklerinde, formülasyondaki bal veya pekmez oranının artmasıyla akrilamid miktarlarında artış meydana gelmiştir. Rafine şeker içeren ürünlerin tüketimi ile oluşabilecek sağlık risklerinden kaçınmak için, bazı fırıncılık ürünlerinin üretiminde bal ve/veya pekmez kullanma şeklindeki uygulamanın, akrilamid maruziyetini arttıran bir uygulamaya dönüşebileceği göz ardı edilmemelidir. Konuya dikkat çekilerek yapılacak bilgilendirme ve sunumların özellikle de çocukların, olası akrilamid maruziyetlerinin azaltılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AACC. (2000). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. (11th ed.) Methods 10-90.01. St. Paul, Minnesota.
- AACC. (2000). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. (11th ed.) Methods 10-54.01. St. Paul, Minnesota.
- Abbott, J.A. (1999). Quality measurement of Fruits and Vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(1999), 207-225.
- Abramsson-Zetterberg, L., Vikström, A. C., Törnqvist, M. and Hellenas, K. E. (2008). Differences in the frequency of micronucleated erythrocytes in humans in relation to consumption of fried carbohydrate-rich food. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 653(1-2), 50-56.
- Açar, Ö. Ç. and Gökmen, V. (2010). A new approach to evaluate the risk arising from acrylamide formation in cookies during baking: Total risk calculation. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 642-648.
- Açar-Çetinkaya, Ö. (2010). *Bisküvi benzeri ürünlerde pişirme sırasında termal proses kontaminantlarının oluşumunun incelenmesi* (Doktora Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aghamohammadi, B., Ghiassi, T. B., Honarvar, M. and Delkhosh, B. (2012). The effects of using molasses as a sugar substitute on physicochemical and sensory properties of shortened cake. *Food Science and Technology*. 4(2), 37-45.
- Ahrne, L., Andersson, C. G., Floberg, P., Rosen, J. and 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.
- Alpözen, E., Güven, G., Özdeştan, Ö. and Üren, A. (2015). Determination of acrylamide in three different bread types by an in-house validated LC-MS/MS method. *Acta Aliment*, 44(2), 211-220.
- Amrein, T. M., Andres, L., Escher, F. and Amadò, R. (2007). Occurrence of acrylamide in selected foods and mitigation options. *Food Additives and Contaminants*, 24(sup1), 13-25.

- Amrein, T. M., Andres, L., Schönbächler, B., Conde-Petit, B., Escher, F., and Amadò, R. (2005). *Acrylamide in almond products. European Food Research and Technology*, 221(1-2), 14-18.
- Amrein, T. M., Schönbächler, B., Escher, F. and 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.
- Anonim, (2005). Acrylamide in food. FAO. Erişim Tarihi: 10.12.2020 <http://www.fao.org/newsroom/en/news/2005/100102/index.html>
- Arusoğlu, G., (2015). Akrilamid oluşumu ve insan sağlığına etkileri. *Akademik Gıda*, 13(1), 61-7.
- Becalski, A., Lau, B. P. Y., Lewis, D., and Seaman, S. W. (2003). Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 802-808.
- Bergmark, E. (1997). Hemoglobin adducts of acrylamide and acrylonitrile in laboratory workers smokers and non-smokers. *Chemical Research in Toxicology*, 10(1), 78–84.
- Bergmark, E., Calleman, C.J., He, F.S. and Costa, L.G., (1993). Determination of hemaoglobin adducts in humans occupationally exposed to acrylamide. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 120(1), 45-54.
- 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.
- Biedermann-Brem, M. and Grob, K. (2003). Model studies on acrylamide formation in potato, wheat flour and corn starch; ways to reduce acrylamide contents in bakery ware. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*. 94(5), 406-422.
- Bilgiçli, N. and Akbulut, M. (2009). Effects of different pekmez (fruit molasses) types on chemical, nutritional content and storage stability of cake. *Journal of Food Quality*, 32(1), 96-107.
- Bilişli, A. (2016). Özel Gıdalar. (2. baskı). Sidas Medya: İzmir.

- Bornare, D. T. and Khan, K. S. A. (2015). Physical and sensory evaluation of cookies incorporated with oats and honey. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, 4(8), 407-411.
- Boyacı, C. P. (2012). *Küçük çocuk beslenmesinde kullanılan bazı ek gıdalardan kaynaklanan akrilamid maruziyetinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Brathen, E., Kita, A., Knutsen, S. H. and Wicklind, T. (2005). Addition of glycine reduces the content of acrylamide in cereal and potato product. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 52(8), 3259-3264.
- Cengiz, M. F. and Gündüz, C. P. B. (2013). Acrylamide exposure among Turkish toddlers from selected cereal-based baby food samples. *Food and Chemical Toxicology*, 60(2013), 514-519.
- Claeys, W. L., De Vleeschouwer, K. and Hendrickx, M. E. (2005a). Kinetics of acrylamide formation and elimination during heating of an asparagine sugar model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(26), 9999-10005.
- Claeys, W. L., De Vleeschouwer, K. and Hendrickx, M. E. (2005b). Quantifying the formation of carcinogens during food processing: acrylamide. *Trends in Food Science and Technology*, 16(5), 181-193.
- Claus, A., Carle, R. and Schieber, A. (2008). Acrylamide in cereal products: A review. *Journal of Cereal Science*, 47(2), 118-133.
- Cook, D. J. and Taylor, A. J. (2005). Online MS/MS monitoring of acrylamide generation in potato-and cereal-based systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(23), 8926-8933.
- Daniel, J. R. and Whistler, R. L. (1985). *Carbohydrates*. In 'Food Chemistry' (2nd ed.). New York: O. R. Fennema.
- De Wilde, T., De Meulenaer, B., Mestdagh, F., Govaert, Y., Vandeburie, S., Ooghe, W., Fraselle, S., Demeulemeester, K., Peteghem, C.V., Claus, A., Degroodt, J.M. and Verhe, R.

- (2005). Influence of storage practices on acrylamide formation during potato frying. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 53(16), 6550-6557.
- Demir, M. K. ve Kılınç, M. (2019). Bal tozu ikamesinin kek kalitesi üzerine etkisi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 53-58.
- Demirci, M. (2014). Beslenme (7. baskı). Tekirdağ: Gıda Teknolojisi Deneği Yayını.
- Dybing, E. and Sanner, T. (2003). Risk assessment of acrylamide in foods. *Toxicological Sciences*, 75(1), 7-15.
- Elmore, J. S., Koutsidis, G., Dodson, A. T., Mottram, D. S. and 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.
- Ertaş, N. ve Çoklar, H. (2008). Farklı pekmez çeşitlerinin doğal şeker kaynağı olarak kek hamuru ve kek özelliklerine etkisi. *Selcuk Journal Of Agriculture And Food Sciences*, 22(46), 51-54.
- European Commission (EC), (2000). *Risk Assessment of Acrylamide*. Erişim Tarihi: 15.08.2020
<https://echa.europa.eu/documents/10162/50218bf9-ba0f-4254-a0d9-d577a5504ca7>
- FAO/WHO (2011). *Safety Evaluation of Certain Contaminants in Food*. Erişim Tarihi: 20.10.2020
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44520/9789241660631_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Feather, M. S. (1994). Dicarbonyl sugar derivatives and their role in the Maillard reaction. *ChemInform*, 25(14), 127-141.
- Franke, K., Sell, M. and Reimerdes, E. H. (2005). Quality related minimization of acrylamide formation--an integrated approach. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 561, 357-369.
- Galesa, K., Bren, U., Kranjc, A. and Mavri, J. (2008). Carcinogenicity of acrylamide: A computational study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(18), 8720-8727.

- Gentry, T. S. and Roberts, J. S. (2004). Formation kinetics and application of 5-hydroxymethylfurfural as a time–temperature indicator of lethality for continuous pasteurization of apple cider. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5(3), 327-333.
- Gertz, C. and Klostermann, S. (2002). Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(11), 762-771.
- Gökmen, V., Açar, J., Akbudak, B. ve Turan, Z.M. (2006). Kontrollü Atmosferde Depolama ve Işınlama Uygulamalarının Patateslerde Akrilamid Oluşum Riski Üzerine Etkileri. *TÜBİTAK Proje No: TOVAG 3248*.
- Gökmen, V., Açar, Ö. Ç., Arribas-Lorenzo, G. and Morales, F. J. (2008). Investigating the correlation between acrylamide content and browning ratio of model cookies. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 380-385.
- Gökmen, V., Açar, Ö. Ç., Köksel, H., and Açar, J. (2007). Effects of dough formula and baking conditions on acrylamide and hydroxymethylfurfural formation in cookies. *Food Chemistry*, 104(3), 1136-1142.
- Gökmen, V. and Şenyuva, H. Z. (2006). Study of colour and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. *Food Chemistry*, 99(2), 238-243.
- Gökmen, V. and Şenyuva, H. Z. (2007). Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. *Food Chemistry*, 103(1), 196-203.
- Gökmen, V., Palazoğlu, T. K. and Şenyuva, H. Z. (2006). Relation between the acrylamide formation and time–temperature history of surface and core regions of French fries. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 972-976.
- Graf, M., Amrein, T. M., Graf, S., Szalay, R., Escher, F. and Amadò, R. (2006). Reducing the acrylamide content of a semi-finished biscuit on industrial scale. *LWT-Food Science and Technology*, 39(7), 724-728.

- Granvogl, M. and Schieberle, P. (2006). Thermally generated 3-aminopropionamide as a transient intermediate in the formation of acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(16), 5933-5938.
- Granvogl, M., Jezussek, M., Koehler, P. and Schieberle, P. (2004). Quantitation of 3-aminopropionamide in potatoes a minor but potent precursor in acrylamide formation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(15), 4751-4757.
- Gunderson, K., Coate, K. and Terry, P. (2018). The effects of replacing granulated sugar with locally farmed honey on the physical, nutritional and sensory characteristics of sugar cookies. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 118(9), A94.
- Güler, A., Bakan, A., Nisbet, C. and Yavuz, O. (2007). Determination of important biochemical properties of honey to discriminate pure and adulterated honey with sucrose (*Saccharum officinarum* L.) syrup. *Food chemistry*, 105(3), 1119-1125.
- Gündüz, C. P., Bilgin, A. K., and Cengiz, M. F. (2017). Acrylamide contents of some commercial crackers, biscuits, and baby biscuits. *Journal of Academic Food*, 15(1), 1-7.
- 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.
- İnanır, C. (2018). *Keçiboynuzu pekmezi kullanılarak şeker içeriği azaltılan bisküvilerin bazı özelliklerinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Jung, M. Y., Choi, D. S. and 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.
- Karakul D., (2006). *Patateslerde ön ıslatma işleminin kızartılmış üründe akrilamid oluşumuna etkisi üzerinde araştırmalar* (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Keramat, J., LeBail, A., Prost, C. and Jafari, M. (2011). Acrylamide in baking products: a review article. *Food and Bioprocess Technology*, 4(4), 530-543.

- Kita, A., Brathen, E., Knutsen, S. H. and Wicklund, T. (2004). Effective ways of decreasing acrylamide content in potato crisps during processing. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 52(23), 7011-7016.
- Kocadağlı, T., Hamzalıoğu, B.A., Taş, N. ve Gökmen, V. (2016). Gıdalarda Isıl İşlem Sırasında Oluşan Zararlı Bileşikler, Gıda Kimyası. Editör: Saldamlı, Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Kolek, E., Simko, P. and Simon, P. (2006). Inhibition of acrylamide formation in asparagine/D-glucose model system by NaCl addition. *European Food Research and Technology*, 224(2), 283-284.
- Küçük, Z. (2009). *Farklı tahıllardan üretilen malt unlarının akrilamid düzeylerinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Luning, P. and Sanny, M. (2016). Acrylamide in Fried Potato Products. *Acrylamide in Food*, (1st ed.) (159-179). Cambridge: Academic Press.
- Mestdagh, F., Maertens, J., Cucu, T., Delporte, K., Van Peteghem, C. and De Meulenaer, B. (2008). Impact of additives to lower the formation of acrylamide in a potato model system through pH reduction and other mechanisms. *Food Chemistry*, 107(1), 26-31.
- Mottram, D. S., Wedzicha, B. L. and Dodson, A. T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419(6906), 448-449.
- Mousavi-Khaneghah, A., Fakhri, Y., Nematollahi, A., Seilani, F. and Vasseghian, Y. (2020). The concentration of acrylamide in different food products: a global systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Food Reviews International*, 1-19.
- Mucci, L. A., Dickman, P. W., Steineck, G., Adami, H. O. and Augustsson, K. (2003). Dietary acrylamide and cancer of the large bowel, kidney, and bladder: Absence of an association in a population-based study in Sweden. *British Journal of Cancer*, 88(1), 84-89.
- Nizamlıoğlu, N. M. ve Nas, S. (2019). Gıdalarda akrilamid oluşum mekanizmaları, gıdaların akrilamid içeriği ve sağlık üzerine etkileri. *Akademik Gıda*, 17(2), 232-242

- Ölmez, H., Tuncay, F., Özcan, N. and Demirel, S. (2008). A survey of acrylamide levels in foods from the Turkish market. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(7), 564-568.
- Özkaynak E. (2006). *Çeşitli pişirme tekniklerinin sigara böreğinde akrilamid oluşumu üzerine etkileri* (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Park, J.H. and Penning, T.M. (2009). *Process-Induced Food Toxicants-occurrence, Formation, Mitigation, and Health Risks* John Wiley and Sons, New Jersey (2009), pp. 243-282.
- Pedreschi, F., Granby, K. and Risum, J. (2010). Acrylamide mitigation in potato chips by using NaCl. *Food and Bioprocess Technology*, 3(6), 917-921.
- Pedreschi, F., Kaack, K. and Granby, K. (2004). Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. *LWT-Food Science and Technology*, 37(6), 679-685.
- Pollien, P., Lindinger, C., Yeretzyan, C. and Blank, I. (2003). Proton transfer reaction mass spectrometry, a tool for online monitoring of acrylamide formation in the headspace of Maillard reaction systems and processed food. *Analytical Chemistry*, 75(20), 5488-5494.
- Reineccius, G. (2006). Choosing the correct analytical technique in aroma analysis. In A. Voilley and P. Etiévant (Eds.), *Flavour in food* (pp. 81-97). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
- Richardson, P. (2001). *Thermal technologies in food processing* (1 st ed.). Cambridge, England: Woodhead Publishing.
- Richmond, P. and Borrow, R. (2003). Acrylamide in Food. *The Lancet*, 361(2), 361-362.
- Rommens, C. M., Yan, H., Swords, K., Richael, C. and Ye, J. (2008). Low-acrylamide French fries and potato chips. *Plant Biotechnology Journal*, 6(8), 843-853.
- Rosen, J. and Hellenas, K. E. (2002). Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Analyst*, 127(7), 880-882.
- Ruden, C. (2004). Acrylamide and cancer risk-expert risk assessments and the public debate. *Food and Chemical Toxicology*, 42(3), 335-349.

- Rydberg, P., Eriksson, S., Tareke, E., Karlsson, P., Ehrenberg, L. and Törnqvist, M. (2003). Investigations of factors that influence the acrylamide content of heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(24), 7012-7018.
- Stadler, R. H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P. A., Robert M. C. and Riediker, S. (2002). Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*, 419(6906), 449-450.
- Summa, C., Wenzl, T., Brohee, M., De La Calle, B. and Anklam, E. (2006). Investigation of the correlation of the acrylamide content and the antioxidant activity of model cookies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(3), 853-859.
- Surdyk, N., Rosen, J., Andersson, R., and Aman, P. (2004). Effects of asparagine, fructose, and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(7), 2047-2051.
- Süvari, M. (2015). *Farklı kavurma sıcaklıklarının bazı kuruyemişlerde akrilamid oluşumuna etkisi* (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Svensson, K., Abramsson, L., Becker, W., Glynn, A., Hellenas, K. E., Lind, Y. and Rosen, J. (2003). Dietary intake of acrylamide in Sweden. *Food and Chemical Toxicology*, 41(11), 1581-1586.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215-225.
- Şenyuva, H. Z. and Gökmen, V. (2005). Survey of acrylamide in Turkish foods by an in-house validated LC-MS method. *Food Additives and Contaminants*, 22(3), 204–209.
- Taeymans, D., Wood, J., Ashby, P., Blank, I., Studer, A., Stadler, R.H., Gonde, P., Van, Eijck, P., lalljie, S., Lingnert, H., Lindblom, M., Matissek, R., Muller, D., Tallmadge, D., O' Brian, J., Thompson, S., Silvian, D. and Whitmore T. (2004). A review of acrylamide; an industry perspective on research analysis, formation and control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(5), 323-347.
- Tardiff, R. G., Gargas, M. L., Kirman, C. R., Carson, M. L. and Sweeney, L. M. (2010). Estimation of safe dietary intake levels of acrylamide for humans. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 658-667.

- Tareke, E. (2003). *Identification and origin of potential backgroundcarcinogens: endogenous isoprene and oxiranes, dietary acryl-amide*. (PhD thesis), Department of Environmental Chemistry, Stockholm University, Sweden.
- Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S. and Törnqvist, M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17), 4998-5006.
- Tateo, F., Bononi, M. and Andreoli, G. (2007). Acrylamide levels in cooked rice, tomato sauces and some fast food on the Italian market. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3-4), 232-235.
- Tong, Q., Zhang, X., Wu, F., Tong, J., Zhang, P. and Zhang, J. (2010). Effect of honey powder on dough rheology and bread quality, *Food Research International*, 43(9), 2284-2288.
- Törnqvist, M., Ehrenberg, L. and Hagmar, L. (2000). Leakage of acrylamides from a tunnel construction work: exposure monitoring and health effects to humans and animals. *European ALARA Network*. Belgium, 1–8.
- Ulusoy, S. (2011). *Stevia ile tatlandırılmış bisküvilerin kalite özellikleri ve akrilamid içeriğinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Mersin Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Uzunlu, S. ve Herken, E. N. (2016). Bisküvilerde hmf ve akrilamid varlığının önemi. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 3(1), 138-142.
- Vattem, D. A. and Shetty, K. (2003). Acrylamide in food: a model for mechanism of formation and its reduction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4(3), 331-338.
- Wakaizumi, M., Yamamoto, H., Fujimoto, N. and Ozeki, K. (2009), Acrylamide degradation by filamentous fungi used in food and beverage industries, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 108(5),391-393.
- Weisshaar, R. (2004). Acrylamid in backwaren: Ergebnisse von modellversuchen. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 100(3), 92-97.
- Wenzl, T. and Anklam, E. (2007). European Union database of acrylamide levels in food: update and critical review of data collection. *Food Additives and Contaminants*, 24(sup1), 5-12.

- Whetzel, N. (2016). Measuring color using Hunter L, a, b versus CIE (1976) L*a*b*. Erişim Tarihi: 17.08.2020. <https://support.hunterlab.com/hc/en-us/articles/204137825-Measuring-Color-using-Hunter-L-a-b-versus-CIE-1976-L-a-b-AN-1005b>.
- World Health Organization (WHO). (1985). Acrylamide. Environ-mental Health Criteria 49. World Health Organisation, Geneva. Erişim Tarihi: 5.11.2020 <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39596/924154189Xeng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Xu, Y., Cui, B., Ran, R., Liu, Y., Chen, H., Kai, G. and Shi, J. (2014). Risk assessment, formation, and mitigation of dietary acrylamide: current status and future prospects. *Food and Chemical Toxicology*, 69(2014), 1-12.
- Yakıcı, T. (2012). *Farklı reçetelerle üretilen bisküvilerde aroma ve akrilamid oluşumu* (Doktora Tezi), Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Yaman, N. (2019). *Dut, keçiboynuzu ve üzüm pekmezlerine glukoz şurubu katılarak yapılan tağsişin fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ile tespiti* (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Yasuhara, A., Tanaka, Y., Hengel, M. and Shibamoto, T. (2003). Gas chromatographic investigation of acrylamide formation in browning model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(14), 3999-4003.
- Yıldız, O., şahin, H., Kara, M., Aliyazıcıoğlu, R., Tarhan, Ö. ve Kolaylı, S. (2010). Maillard reaksiyon ürünlerinin gıdalardaki önemi, *Akademik Gıda*, 8(6), 44-51.
- Yılmaz, M. (2012). *Pekmeze benzer gıdalarda. taklit, tağsiş ve coğrafi köken tayini araştırması* (Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, İstanbul.
- Zyzak, D.V., Sanders, R.A., Stojanovic, M., Tallmadge, D.H., Eberhart, B.L., Ewald, D.K., Gruber, D.C., Morsch, T.R., Strothers, M.A., Rizzi, G.R. and Villagran, M.D. (2003). Acrylamide formation mechanism in heated foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16), 4782-4787.