

**VAKUM FIRINLAMA TEKNİĞİ İLE  
BİSKÜVİLERİN AKRİLAMİD İÇERİĞİNİN  
AZALTILMASI**

**HURİYE GÖZDE YILDIZ**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MERSİN  
ARALIK – 2015**



**VAKUM FIRINLAMA TEKNİĞİ İLE  
BİSKÜVİLERİN AKRİLAMİD İÇERİĞİNİN  
AZALTILMASI**

**HURİYE GÖZDE YILDIZ**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Danışman  
Prof. Dr. T. Koray PALAZOĞLU**

**MERSİN  
ARALIK– 2015**

Huriye Gözde YILDIZ tarafından Prof. Dr. T. Koray PALAZOĞLU danışmanlığında hazırlanan ‘‘Vakum Fırınlama Tekniği ile Bisküvilerin Akrilamid İçeriğinin Azaltılması’’ başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri yeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. H. İbrahim EKİZ

Prof. Dr. T. Koray PALAZOĞLU

Prof. Dr. Figen KAYMAK-ERTEKİN

*(Handwritten signatures in blue ink)*

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/01/2015 tarih ve 2015-1/37 sayılı kararıyla onaylanmıştır



## VAKUM FIRINLAMA TEKNİĞİ İLE BİSKÜVİLERİN AKRILAMİD İÇERİĞİNİN AZALTILMASI

HURİYE GÖZDE YILDIZ

### ÖZ

Bu çalışmada fırınlanma işlemi sırasında bisküvi hamurunun maruz kaldığı ısı yükü azaltmak amacı ile geleneksel fırınlama işlemi ile vakum fırınlama tekniği kombine edilmiştir. Kombine yöntemle elde edilen örnekler, geleneksel fırınlama yöntemi ile elde edilen örnekler ile akrilamid içeriği ve kalite özellikleri açısından karşılaştırılmıştır.

Çalışmada bisküvi hamurları 3 mm kalınlık ve 50 mm çap olacak şekilde hazırlanmış ve fırınlama işlemleri 180°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Geleneksel fırınlama işlemi tamamen atmosfer basıncı altında, kombine yöntem ise geleneksel yöntem ile kısmen fırınlanmış bisküvilerin pişirme işleminin vakum altında tamamlanması sureti ile gerçekleştirilmiştir. Fırınlama süreleri bisküvilerin son nem içeriği %3-3,5 olacak şekilde belirlenmiştir. Geleneksel ve kombine yöntem ile hazırlanan örnekler sırası ile 12 ve 11 (8 dakika geleneksel + 3 dakika 61 kPa, 8 dakika geleneksel + 3 dakika 41 kPa) dakika fırınlanmıştır. Geleneksel ve kombine yöntem ile fırınlama sırasında bisküvi iç sıcaklığı ısı çift, yüzey sıcaklığı ise termal kamera yardımı ile ölçülmüştür. Elde edilen örneklerde kimyasal (LC-MS ile akrilamid analizi), fiziksel (yayıma oranı, renk, tekstür) ve duyu analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ayrıca lumped kapasitans yöntemi kullanılarak geleneksel ve vakum fırınlama sırasında ısı transfer katsayısı belirlenmiştir.

Kombine yöntem ile elde edilen bisküvilerin akrilamid içeriğinde kontrol örneğine kıyasla yaklaşık %30 oranında bir azalma meydana geldiği görülmüştür. Bisküvilerde gerçekleştirilen fiziksel analiz sonuçlarından kombine yöntem ile hazırlanan bisküvilerin kontrol grubuna oranla daha fazla yayıldığı ve rengin daha açık olduğu anlaşılmaktadır. Örnekler arasında tekstür açısından önemli bir fark görülmemiştir. Duyusal analiz sonuçları da fiziksel analiz sonuçlarını destekler niteliktedir. Ayrıca, fırınlama basıncının azalmasıyla ısı transfer katsayısında bir azalma olduğu belirlenmiştir.

Bu alışma ile literatürde ilk kez bisküvi yüzey sıcaklığı fırlama işlemleri boyunca termal kamera ile ölçülerek kaydedilmiş ve elde edilen yüzey sıcaklık profili son ürünledeki akrilamid miktarı ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde kombine yöntemin bisküvi benzeri fırlama ürünlerinde akrilamid içeriğini kalite özelliklerini değiştirmeksizin azaltmada umut verici bir teknoloji olduğu söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Bisküvi, akrilamid, vakum fırlama, ısı transfer katsayısı, kalite

**Danışman:** Prof. Dr. T. Koray PALAZOĞLU, Mersin Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı

## **REDUCTION OF ACRYLAMIDE CONTENT OF COOKIES BY VACUUM BAKING**

**HURİYE GÖZDE YILDIZ**

### **ABSTRACT**

In this study, conventional baking was combined with vacuum baking technique in order to reduce the thermal load experienced by cookie dough during the baking process. The samples prepared by the combined method were compared to conventionally-baked cookies in terms of acrylamide content and quality characteristics.

Baking of cookie dough samples (3 mm thickness and 50 mm diameter) was performed at 180°C. Conventional baking process was conducted completely under atmospheric pressure, whereas combined method was performed by partially baking cookies conventionally then completing the baking process under a reduced pressure. Baking times were adjusted to yield cookies with a final moisture content of 3-3.5%. Samples prepared by conventional and combined methods were baked for 12 and 11 (8 minutes conventional + 3 minutes 61 kPa, 8 minutes conventional + 3 minutes 41 kPa) minutes, respectively. Surface temperature was recorded by using a thermal camera and internal temperature was measured by using a thermocouple. Chemical (acrylamide analysis by LC-MS), physical (spread ratio, color, texture) and sensory analyses were conducted on the final products. In addition, heat transfer coefficient during conventional and combined baking was determined by using the lumped capacitance method.

Acrylamide content of cookies prepared by the combined method was about %30 lower than that of the conventionally baked sample. Biscuits prepared by the combined method also showed a greater spread and had a lighter color. No significant difference, however, was observed between samples in terms of texture. Sensory analysis results were found to support the instrumental analysis results. Also, a slight decrease in convective heat transfer coefficient was also observed upon pressure reduction.

With thist study for the first time in the literature, cookie surface temperature was recorded with a thermal camera throughout the baking process and was related to the amount of acrylamide level in the final product. Based on the results, it is concluded that vacuum-combined baking method is a promising technology to reduce the acrylamide content of bakery products without changing the quality characteristics.

**Key Words:** Cookies, acrylamide, vacuum baking, heat transfer coefficient, quality

**Advisor:** Prof. Dr. T. Koray PALAZOĞLU, Mersin University, Department of Food Engineering



## TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığımı titizlikle yürüten, danışmanlığımı üstlendiği ilk günden itibaren sahip olduğu bilgileri bana aktaran, bana her zaman destek olan, anlayışını ve sabrını benden esirgemeyen ve kendisiyle çalıştığım için kendimi şanslı gördüğüm değerli danışmanım Prof. Dr. T. Koray PALAZOĞLU'na emeklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın deneysel kısmını birlikte yaptığımız ve kendi tezi gibi özveriyle her zaman yanımda olan, yardımlarını benden esirgemeyen ve çalışmanın sürekliliği konusunda titizlikle çalışan değerli arkadaşım Welat MİRAN'a çok teşekkür ederim.

Deneysilerimde yardımlarından dolayı Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Vural GÖKMEN'e ve Arş. Gör. Tolgahan KOCADAĞLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bölümümüz doktora öğrencisi Özge DURKAN'a yüksek lisans eğitimimin başında beri bana verdiği destek ve arkadaşlık için teşekkür ederim.

Son olarak ailem başta olmak üzere yanımda olup bana bu yolda destek olan tüm yakınlarıma sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>EKLER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b> .....	<b>5</b>
2.1. BİSKÜVİ .....	9
2.1.1. Bisküvi Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	10
2.1.2. Bisküvi Üretim Prosesi .....	10
2.2. AKRİLAMİD.....	11
2.2.1. Akrilamidin Kimyasal Yapısı .....	12
2.2.2. Gıdalarda Akrilamid Oluşumu.....	12
2.2.3. Akrilamidin Sağlık Üzerine Etkileri .....	15
2.2.4. Gıdalardaki Akrilamid Miktarları .....	16
2.3. VAKUM KOMBİNELİ UYGULAMALAR.....	20
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>22</b>
3.1. BİSKÜVİ HAMURUNUN HAZIRLANMASI.....	22
3.1.1. Hamur Açma İşlemi .....	23
3.2. FIRINLAMA İŞLEMİ .....	24
3.3. SICAKLIK ÖLÇÜMÜ.....	25
3.3.1. Isıl Çiftlerle Sıcaklık Ölçümü .....	25
3.3.2. Termal Kamera ile Yüzey Sıcaklık Ölçümü .....	26
3.3.2.1. Emisivite Değeri .....	28
3.3.2.2. Infrared Geçirgen Camın Transmisivite Değeri.....	28
3.4. ISI TRANSFER KATSAYISININ BELİRLENMESİ .....	29
3.5. BİSKÜVİ ÖRNEKLERİNDE YAPILAN FİZİKSEL ANALİZLER .....	30
3.5.1. Fiziksel Analiz .....	30
3.5.2. Renk Ölçümü .....	31

3.5.3. Tekstür Analizi.....	33
3.5.4. Nem Tayini .....	34
3.5.5. Duyusal Analiz.....	34
3.6. BİSKÜVİ ÖRNEKLERİNDE YAPILAN KİMYASAL ANALİZLER.....	36
3.6.1. LC-MS ile Akrilamid Analizi .....	36
3.7. İSTATİSTİKSEL ANALİZ .....	38
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....</b>	<b>39</b>
4.1. SICAKLIK ÖLÇÜMÜ.....	39
4.1.1. Termal Kamera ile Sıcaklık Ölçümü .....	42
4.2. ISI TRANSFER KATSAYISI.....	45
4.3. BİSKÜVİ ÖRNEKLERİNDE YAPILAN FİZİKSEL ANALİZLER .....	46
4.3.1. Fiziksel Analiz .....	46
4.3.2. Renk Analizi .....	47
4.3.3. Tekstür Analizi.....	51
4.3.4. Nem Tayini .....	52
4.3.5. Duyusal Analiz.....	53
4.4. BİSKÜVİ ÖRNEKLERİNDE YAPILAN KİMYASAL ANALİZLER.....	53
4.4.1. LC-MS ile Akrilamid Analizi .....	53
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>58</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>60</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>66</b>
Ek-1 .....	66
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>67</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Çeşitli gıdalardaki akrilamid içerikleri .....	17
Çizelge 3.1. Bisküvi formülasyonu.....	22
Çizelge 3.2. Geleneksel ve vakum fırınlama şartları .....	25
Çizelge 3.3. Tekstür ölçümünde kullanılan parametreler .....	34
Çizelge 4.1. Lumped kapasitans yöntemi ile elde edilen ısı transfer katsayıları .....	46
Çizelge 4.2. Kontrol, 61 ve 41 kPa örneklerinin çap ve kalınlık değerleri.....	47
Çizelge 4.3. Dijital renk analiz sonuçları.....	48
Çizelge 4.4. Bisküvi örneklerine ait tekstür analiz sonuçları .....	52
Çizelge 4.5. Bisküvi örneklerine ait nem değerleri .....	52
Çizelge 4.6. Kontrol, 61 ve 41 kPa örnek gruplarına ait duyuşal analiz sonuçları.....	52

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Bisküvi üretim akış şeması .....	10
Şekil 2.2. Akrilamid molekülünün kimyasal yapısı .....	12
Şekil 2.3. Maillard reaksiyonuyla akrilamid oluşumu .....	14
Şekil 2.4. Akrilamidin gıdalarda oluşum yolları .....	15
Şekil 2.5. İnsanlarda akrilamide maruziyet yolları .....	18
Şekil 3.1. Bisküvi hamuru hazırlanmasında kullanılan mikser .....	23
Şekil 3.2. Sıcaklık ölçümünde kullanılan T-tipi ısı çifti .....	26
Şekil 3.3. Yüzeysel sıcaklık ölçümünde kullanılan infrared kamera .....	26
Şekil 3.4. Sıcaklık ölçümünde kullanılan düzenek .....	27
Şekil 3.5. Isı transfer katsayısının belirlenmesinde kullanılan parlak bakır disk .....	30
Şekil 3.6. Isı transfer katsayısının belirlenmesinde kullanılan siyah bakır disk .....	30
Şekil 3.7. Çap ve kalınlık ölçümünde kullanılan elektronik kumpas .....	31
Şekil 3.8. 45 derece aralıklarla yapılan çap ve kalınlık ölçümünün şematik gösterimi .....	31
Şekil 3.9. Örneklerin dijital görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan kontrollü ışık kabini .....	32
Şekil 3.10. Renk analizi amacı ile kullanılan yazılım .....	32
Şekil 3.11. Tekstür ölçümünde kullanılan 3-nokta eğme testi .....	33
Şekil 3.12. Nem analiz cihazı .....	34
Şekil 3.13. Duyusal analiz test ortamı .....	35
Şekil 3.14. Akrilamid analizinde kullanılan LC-MS cihazı .....	37
Şekil 4.1. Kontrol örneğine ait fırın, yüzeysel ve iç sıcaklık profilleri .....	39
Şekil 4.2. 61 kPa örneğine ait fırın, yüzeysel ve iç sıcaklık profilleri .....	40
Şekil 4.3. 41 kPa örneğine ait fırın, yüzeysel ve iç sıcaklık profilleri .....	41
Şekil 4.4. Termal sıcaklık ölçümü sonucu elde edilen görüntüler ve sıcaklık değerleri .....	43
Şekil 4.5 Sıcaklığı 120°C üzerinde olan bisküvi yüzeysel alanının tüm bisküvi yüzeysel alanına oranı .....	45
Şekil 4.6. Dijital renk analizinde kullanılan kontrol örnekleri .....	49
Şekil 4.7. Dijital renk analizinde kullanılan 61 kPa örnekleri .....	50
Şekil 4.8. Dijital renk analizinde kullanılan 41 kPa örnekleri .....	50
Şekil 4.9. Geleneksel-vakum fırınlamayla hazırlanmış bisküvilerin akrilamid içerikleri .....	54
Şekil 4.10. Kontrol grubuna ait toplam risk değeri .....	55
Şekil 4.11. 61 kPa grubuna ait toplam risk değeri .....	56
Şekil 4.12. 41 kPa grubuna ait toplam risk değeri .....	56

## **EKLER DİZİNİ**

Ek 1.	Duyusal Analiz Formu.....	66
-------	---------------------------	----



## 1. GİRİŞ

Romalılar tarafından keşfedilen bisküvi, Latince "bi costus" ve Fransızca "biscuit" sözcüklerinden türetilmiş olup "iki defa pişirilmiş" anlamına gelmektedir.

En basit tanımı ile "tahıl ürünlerinin kimyasal yollardan fermente edilip kabartılarak pişirilmesi ile elde edilen bisküvi, rutubet ortamı %5'ten az olan ve temelde yumuşak buğdaydan elde edilen un, su ve yağdan oluşan gıda ürünü" olarak tanımlanır.

Dünyada bisküvi üretimi ve ihracatında AB ülkeleri (özellikle İngiltere, Almanya, Belçika, İtalya, Fransa ve Hollanda) ve Kanada ilk sırada yer almaktadır. Bisküviyi ithal eden başlıca ülkeler ise ABD, Fransa, Almanya, İngiltere, Belçika, Kanada, İtalya, İspanya, Hollanda ve İrlanda'dır.

Dünya pazarında 15 milyon ton paya sahip bisküvi pazarı yılda ortalama %3-4 oranında büyüme göstermektedir. Bu verilere bakıldığında bisküvi sektörünün büyük, iyi organize olmuş ve giderek büyüyen bir sektör profili çizdiği görülmektedir.

Ülkemizde bisküvi üretimine baktığımızda sanayi temelinde ilk bisküvi üretimi 1924 yılında başlamıştır ve 1932 yılında İstanbul'da iki fabrika kurulmuştur. 1942 yılında görülen un kıtlığı nedeniyle üretime bir süre ara verilmiş olup 1956 yılında bu sektörde ilk kez otomatik şekil verici ve dizici makine kullanılmıştır. 1960 yılından sonra kentleşme ve nüfus artışı ile birlikte bisküvi tüketiminde artış görülmüştür. 1980'lerde Konya, Kayseri ve Eskişehir civarlarında birçok küçük tesisin kurulması ile ülkemiz bisküvi ihracatına başlamıştır. Ülkemizde bisküvi üretimi un fabrikalarıyla paralellik göstermekte olup ağırlıklı olarak Güneydoğu Anadolu, Marmara ve Orta Anadolu bölgelerinde yapılmaktadır [1].

Gıdaların işlenmesi geçmişten beri gıdaların raf ömürlerini arttırmak amacıyla yapılmakta olup tuzlama, fermantasyon ve kurutma en eski gıda muhafaza yöntemlerindedir. Teknolojik gelişimlerle birlikte pastörizasyon, sterilizasyon ve ışınlama gibi modern muhafaza yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Gıdaların işlenmesi ve dayanıklı hale getirilmesi sırasında 90-200°C arasında değişen ısı

işlemlere sıklıkla başvurulmaktadır ve bu ısıll işlemler gıdalarda toksik bileşenlerin oluşmasına sebep olmaktadır [2].

Dünyada ve ülkemizde her geçen yıl değişen yaşam koşullarıyla mutfakta geçirilen zamanın azalması ve alım gücünün artmasıyla birlikte atıştırılan yiyecekler arasında olan bisküvi tüketimi ve üretiminde artışlar görülmektedir. Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı(IARC) tarafından ısıll işlem görmüş gıdalarda Maillard reaksiyonu sonucu oluşan "insanlar için olası kanserojen" olarak sınıflandırılan akrilamidin günlük beslenmeyle en fazla alındığı gıda ürünlerinden biri olan bisküvilerde akrilamidi azaltma çalışmaları son yıllarda oldukça önem kazanmıştır [3].

Akrilamid ısıll işlem görmüş gıdalarda Maillard Reaksiyonu yoluyla bir karbonil kaynağı ve asparajin arasındaki reaksiyon sonucu meydana gelmektedir. Gıdalarda olası kanserojen ve toksik etkiye sahip akrilamid varlığının belirlenmesi ile birlikte bilim dünyasının çabalarıyla gıdalardaki akrilamid seviyesini azaltmak için potansiyel yollar araştırılmıştır. 2002 yılından beri akrilamidi azaltmaya yönelik 250'den fazla makale yayınlanmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen bulgular ışığında gıdalarda bu molekülün azaltılmasına yönelik iki teknolojik yaklaşım mevcuttur. Bunlardan ilki azaltma stratejileri olup ısıll proses sırasında bu molekülün mümkün olduğunca az oluşmasını sağlamaktır. İkinci yaklaşım ise proses sırasında meydana gelen akrilamidin son üründen uzaklaştırılmaya çalışılmasıdır.

Isıll işlem görmüş gıdalarda arzu edilen duyuusal özelliklerin gelişmesi ve akrilamid oluşumu arasında yakın bir ilişki vardır. Isıll işlem görmüş ürünlerde istenen tekstür, aroma ve rengin meydana gelmesi beraberinde akrilamid oluşumunu da getirir. Bu sebeple gıdanın duyuusal özelliklerinden taviz vermeksizin akrilamidi minimize etmek oldukça zordur. Gıdalarda akrilamidi azaltma stratejileri tarımsal ve teknolojik yöntemler olarak ikiye ayrılmış ve teknolojik yöntemler de kendi içinde ön işlemler, formülasyon ve proses modifikasyonları olarak gruplandırılmıştır. Akrilamid oluşumunu etkileyen en önemli parametrelerden biri olan ısıll işlem süresini ve sıcaklığının minimize edilmesiyle akrilamidin azaltılmaya çalışıldığı çalışmalar mevcuttur [4].



Patates cipsi, patates kızartması, kavrulmuş kahve, ekmek, bisküvi, kraker, kahvaltılık gevrek gibi fırın ürünleri birkaç ppb'den 1000 ppb'ye kadar akrilamid içermektedirler. Günlük beslenmede önemli bir yere sahip bisküvideki akrilamid seviyesi göz önüne alındığında bisküvi üretiminde akrilamidin uzaklaştırılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Fırlama işlemi kimyasal ve fiziksel değişimlerin eş zamanlı gerçekleştiği kompleks bir prostir. Fırlama işlemi sadece ürünün raf ömrü açısından önemli olmayıp tat, tekstür ve yeme kalitesi açısından da oldukça önemlidir. Endüstriyel bisküvi üretiminde istenen duysal özelliklerin sağlanmasının yanında akrilamidin oluşumunun da gerçekleştiği fırlama işleminde çok zonlu, geleneksel tünel fırlarlarda fırlama işleminin sonuna doğru fırın sıcaklığı oldukça yüksek seviyelere çıkmaktadır. Hava hızı da fırlama işleminin sonuna doğru artırılmaktadır. Fırın sıcaklığı ile birlikte hava hızının da arttırılması ürünün yüzey sıcaklığının aşırı yükselmesine sebep olmaktadır. Bu tablo üründe yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde meydana gelen akrilamid oluşumunu hızlandırmakta ve ürün güvenilirliğini etkilemektedir. Ürünün geleneksel fırlama tekniğinde maruz kaldığı bu aşırı ısıl yükün azaltılması amacıyla yeni fırlama tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde bisküvi üretiminde akrilamid oluşumunu azaltmak amacıyla geleneksel fırlama ve vakum fırlama tekniğinin kombine edildiği çalışmalar oldukça sınırlıdır. Vakum fırlama ve geleneksel fırlama tekniğinin kombine edildiği bu çalışmalarda (Gökmen ve ark., 2014) vakum fırlama tekniği ile elde edilen örneklerin akrilamid içeriğinin geleneksel fırlama yöntemiyle elde edilen örneklere kıyasla çok daha düşük seviyelerde akrilamid içerdiği görülmüştür. Proses sırasında sıcaklığın düşürülmesi akrilamidin azaltılması için bir yaklaşımdır fakat pratikte bu mümkün değildir. Çünkü daha düşük sıcaklık uygulaması üründe istenen nem içeriğine ulaşmak için daha uzun süre fırlama gerektirir. Bu çalışmadaki yaklaşım vakum altında ısıtma ile bisküvilerin daha hızlı istenen nem içeriğine ulaşmasını sağlamaktır [5].

Bu çalışmada amaç geleneksel ve vakum fırlama tekniğinin kombine edilmesiyle fırlama sırasında bisküvi yüzeyinde meydana gelen aşırı ısıl yük

hafifletilmeye çalışılmasıdır. Önerilen bu yeni teknik ile bisküvilerde akrilamid oluşumun sınırlandırılacağı düşünölmektedir.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2002 yılında gıdalarda akrilamid varlığının tespit edilmesiyle birlikte bu molekülün gıda maddelerinde azaltılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. 2003 yılında Avrupa Komisyonu gıdalarda akrilamid seviyesinin nasıl düşürebileceği konusunu görüşmek üzere bir toplantı düzenlemiştir. Bu çalıştayda gıdalarda akrilamid oluşumunu sınırlayacak birçok yaklaşım tartışılmıştır ve daha çok kızartılmış ve fırınlanmış patates ve fırınlanmış tahıl ürünleri üzerinde durulmuştur. Bu çalıştayda fırın ürünlerinde akrilamid oluşumunu sınırlamak için aşırı kahverengileşmenin meydana geldiği uzun pişirme süresi ve yüksek fırın sıcaklığı uygulamasından kaçınılması gerektiği vurgulanmıştır. Yine aynı çalıştayda akrilamid oluşumu ve yıkımı arasında bir dengenin var olduğu bildirilmiştir [6].

Palazoğlu ve ark. (2013) yapmış oldukları çalışmada geleneksel fırınlama ve radyo frekans tekniğini kombine ederek patates cipsinde akrilamid seviyesi ve kalite özelliklerini incelenmişlerdir. Yapılan çalışma sonucu patates cipslerinde akrilamid seviyesinin azaldığı ve son ürünün yağ içeriğinde %12'lik bir azalma olduğu görülmüştür. Enstrümental analiz sonuçlarına göre kontrol örneğine göre kombine yöntemle hazırlanan örnekler daha az sert ve daha az kahverengi bulunmuştur. Ayrıca duyu analizi sonuçlarına göre örnekler arasında önemli bir fark bulunmamıştır [7].

Palazoğlu ve ark. (2012) tarafından radyo frekans ile son kurutmaya tabi tutularak hazırlanan bisküvilerin akrilamid içeriği, renk ve tekstür özellikleri incelenmiştir. Çalışmada radyo frekansla son kurutmaya tabi tutulan örneklerin akrilamid içerikleri kontrol örneğine göre çok daha düşük bulunmuştur. Aynı zamanda yapılan enstrümental analiz sonuçlarına göre radyo frekans tekniği ile son kurutmaya tabi tutulmuş bisküviler ve kontrol bisküvileri arasında önemli bir farklılık olmadığı görülmüştür [8].

Anese ve ark. (2008) tarafından yürütölen bir çalışmada fırın ürünlerinde akrilamid oluşumu üzerine radyofrekans ısıtmanın etkisi incelenmiştir. Bu amaçla mayalı kek ve kısa hamur bisküviler son nem içerikleri %3,5 ve %3,0 oluncaya kadar geleneksel yöntem ve radyofrekans ısıtmanın farklı şekillerde kombine edilmesi ile

fırınlanmıştır. Fırınlama tekniği olarak 3 farklı yöntem denenmiştir (geleneksel, %6 nem içeriğine ulaşıncaya kadar geleneksel ve son kurutma olarak radyofrekans ve son yöntem olarak %10 nem içeriğine ulaşıncaya kadar geleneksel ve son kurutma olarak radyofrekans ısıtma). Elde edilen sonuçlar fırınlamanın son aşamasında radyofrekans uygulamasının fırın ürünlerinde akrilamid seviyesinin azaltmada ümit verici olduğunu göstermiştir. Özellikle en iyi sonuçlar yüksek nem içeriğine sahip ürünlerin sıcak hava fırınından radyofrekans ısıtmaya alındığı zaman elde edilmiştir. Aynı zamanda bisküvi gibi düşük nem içerikli ince gıdalarda mayalı kek gibi kalın ürünlere kıyasla bu teknolojinin oldukça ümit verici olduğu ifade edilmiştir. Çünkü mayalı kek gibi kalın ürünlerde radyofrekans ısıtmanın sonucu olarak ürünün iç kısmında aşırı bir kahverengileşme görülmüştür [9].

Tuta (2009) tarafından hazırlanmış olan yüksek lisans tezinde dondurulmuş parmak patateslere mikrodalga ile ön çözündürme işlemi uygulanarak kızartma süresinin kısaltılması hedeflenmiş böylece akrilamid içeriğinde %10-%89 değerleri arasında bir azalma meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca çalışmada parmak patateslerin kalite özellikleri de incelenmiş ve mikrodalga ile ön çözündürme işleminin akrilamid içeriğinde azalmaya sebep olurken kalite özelliklerinde önemli ölçüde bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür [10].

Anese ve ark. (2014) tarafından kahve çekirdeklerinin vakum altında kavrulmasının akrilamid oluşumu ve azaltılması üzerine etkisinin incelendiği çalışmada geleneksel, vakum ve bu iki tekniğin kombine edilmesi ile üç farklı kavurma tekniği kullanılmıştır. Vakum altında elde edilen örnekler geleneksel kavurma tekniği kullanılarak hazırlanan örneklerle kıyaslandığında %50 daha az akrilamid içerdikleri görülmüştür. Çalışmada vakum uygulamasının son üründe meydana gelen akrilamidi sıyırmada etkili olduğu yorumu yapılmıştır. Aynı zamanda örnekler renk ve duyusal özellikler açısından da kıyaslanmış ve bu özellikler açısından örnekler arasında belirgin bir fark tespit edilmemiştir [11].

Palazoğlu ve ark. (2007) tarafından yürütülen çalışmada patates dilimlerinin mikrodalga ile ön kurutma işlemine tabi tutulmasıyla patates kızartmasında akrilamid oluşumunun azaltılması amaçlanmıştır. Çalışmada örneklerin iç ve yüzey sıcaklıkları proses sırasında gözlemlenmiş ve bu bölgelerde ayrı ayrı akrilamid içerikleri

belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda örneklerin yüzeyde akrilamid içeriğinde mikrodalga ile ön kurutma işlemi ile birlikte önemli bir azalma görülmüştür. Fakat örneklerin iç bölgesindeki akrilamid seviyesinde küçük de olsa bir artış gözlemlenmiştir. Yüzeyde akrilamid içeriğinin azalması daha düşük yüzey sıcaklığının elde edilmesine bağlanırken iç bölgedeki akrilamid artışı mikrodalga ile ön kurutmanın iç bölgede daha hızlı bir kurumaya sebep olması böylece Maillard reaksiyonu için daha elverişli hale gelmesine bağlanmıştır. Ayrıca tüm dilimlerin akrilamid içeriğinin mikrodalga ön kurutma süresinin artışıyla azaldığı görülmüştür [12].

Gökmen ve ark. (2007) yapmış oldukları çalışmada fırınlama şartları ve hamur formülasyonun bisküvilerde akrilamid ve HMF oluşumu üzerinde etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda çalışılan örneklerin kabul edilebilir renk ve tekstüre sahip olduğunu, formülasyondaki fazla şekerin ve fırın sıcaklığının azaltılması ile 150 ng/g'dan daha az akrilamid içeriğine sahip bisküvilerin üretilebileceğini vurgulamışlardır. Elde edilen bulgulardan formülasyona asit ilavesinin sukroz hidrolizine sebep olması akrilamid oluşumunu arttırmış ve ürünün duyu özelliklerini olumsuz etkilediği sonucuna varılmıştır [13].

Amado ve ark. (2005) tarafından endüstriyel ölçekte fırın ürünlerinde akrilamidi sınırlamak için kabarma ajanları, indirgen şeker ve organik asit ilavesinin etkisi incelenmiştir. Kabarma ajanlarından amonyum bikarbonat kullanımının akrilamid oluşumunu teşvik ettiği ve bu kabarma ajanı yerine sodyum bikarbonat kullanımının akrilamid oluşumunu sınırladığı ifade edilmiştir. Amonyum bikarbonat yerine sodyum bikarbonat kullanımı ile akrilamid içeriğinde %70 oranında bir azalma sağlanmıştır. Yine bu çalışmada indirgen şeker yerine sukroz şurubu kullanımı ile aynı etkinin görüldüğü bildirilmiştir. Tartarik asit ilavesi ile de akrilamid içeriğinde üçte bir oranında bir azalma sağlandığı ifade edilmiştir [14].

Gökmen ve ark. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada kalsiyum türevlerinin kurabiyelerin akrilamid ve HMF seviyesi üzerine etkisi incelenmiştir. Akrilamidi azaltmak amacı ile formülasyona kalsiyum gibi çift değerlikli katyonların ilavesinin sadece akrilamid seviyesini azaltmadığı aynı zamanda fırın ürünlerine besinsel açıdan katkı sağladığı ifade edilmiştir. Sonuçlar ilave edilen kalsiyum

miktarı ve akrilamid seviyesi arasında direkt bir ilişki olduğunu göstermiştir. Ayrıca kalsiyum türevleri kurabiyelerin çap ve kalınlığını etkilememiş fakat yüzey renginde farklılığa sebep olmuştur. Kalsiyum türevlerinin ilavesi ile kurabiyelerin tatlılık, tuzluluk ve acılık özelliklerinin önemli ölçüde etkilenmediği görülmüştür. Fakat farklı fırın ürünlerinde kalsiyum türevlerinin kullanımının duyu özellikleri ve HMF oluşumuna etkisinin daha fazla araştırılması gerektiği vurgulanmıştır [15].

Anese ve ark. (2010) tarafından yapılan bir diğer çalışmada kısa hamur bisküvilerde akrilamid oluşumu üzerinde asparaginaz enzimin etkisi incelenmiştir. Akrilamid oluşumunun yanında bisküvi örnekleri renk gelişimi açısından da kıyaslanmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda ham patates ve hamura asparaginaz ilavesinin akrilamid oluşumunda anahtar bir rol oynayan asparajin hidrolizini katalize ederek akrilamid oluşumunu büyük ölçüde azalttığı ifade edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar önceki çalışmaları destekler nitelikte olup asparaginaz ilavesinin son ürünün rengini etkilemeksizin akrilamid oluşumunu azalttığı ifade edilmiştir [16].

Açar ve Gökmen (2009) tarafından yürütülen çalışmada kabuk model sistemi kullanılarak fırın ürünlerinde akrilamid oluşumu araştırılmıştır. Çalışmada fırın ürünlerinde akrilamid oluşumunu araştırmak amacıyla bir kabuk model geliştirilmiş ve akrilamid oluşumu üzerine ürün kalınlığının ve ürün içinde sıcaklık gradientlerinin etkisi incelenmiştir. Ayrıca bazı akrilamid azaltma ajanlarının etkisi bu yöntem ile test edilmiştir. Çalışmada 1 ve 10 mm kalınlığında örnekler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda örneklerin farklı bölgelerindeki sıcaklık değişiminin ürün kalınlığından etkilendiği görülmüştür. 1 mm kalınlığa sahip örneklerin sıcaklık değerleri birbirine yakın bulunmuş ve 10 mm kalınlığa sahip örneklerin sıcaklık değerlerinin 30 dakika içinde 100 °C'yi aşmadığı görülmüştür. Bu örneklerde sıcaklığın 100 °C'yi aşmaması buharlaşma sırasında meydana gelen soğumaya bağlanmıştır. Çalışmada akrilamid oluşumunun ürün kalınlığından ve fırın sıcaklığından önemli şekilde etkilendiği ifade edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada kabuk model sistemi ile akrilamid azaltma stratejilerinin test edilebileceği vurgusu yapılmıştır [17].

Anese ve ark. (2010) tarafından yürütülen çalışmada akrilamidin kimyasal özelliklerinden faydalanılarak ısıtılmış gıdalardan akrilamidin uzaklaştırılması incelenmiştir. Ticari patates cipsi ve bisküvi örneklerine farklı zaman, sıcaklık ve basınçlarda vakum uygulanmıştır. Vakum uygulanmış bisküvi ve patates cipsi örneklerinden %43 ve %18 oranında akrilamidin uzaklaştırılabildiği ifade edilmiştir. Akrilamidi azaltma stratejilerine nazaran gıdalardan akrilamidin uzaklaştırılması farklıdır. Azaltma stratejilerinde ısıtma prosesi sırasında akrilamid oluşumunu sınırlandırmak amaçlanmıştır. Akrilamidin uzaklaştırılmasında ise amaç ısıtma prosesi tamamlandıktan sonra akrilamid molekülünün gıdadan fiziksel olarak uzaklaştırılmasıdır. Akrilamidin düşük molekül ağırlığı sayesinde uygun sıcaklık ve basınç şartlarında gıdalardan akrilamidin buhar olarak uzaklaştırılabileceği ifade edilmiş ve bu yöntemin azaltma stratejilerine bir alternatif olarak düşünülebileceği bildirilmiştir [18].

Gökmen ve Açar (2010) akrilamid gibi termal proses kontaminantları toplam risk değerlendirmesi için Bigelow'un "general method" adlı prosedüründen yola çıkarak bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşıma göre referans sıcaklığı olarak 200°C ve akrilamid risk alt sınırı (üründe kabul edilebilen maksimum akrilamid değeri) olarak 200 ppb kabul edilmiştir. Çalışmada risk değerlendirmesi için zamana karşı akrilamid oluşum hızı grafiğinde eğrinin altında kalan alan esas alınmış ve akrilamid risk değeri 150, 200 ve 250°C sıcaklıklar için 6,29, 0,20 ve 0,03 dakika bulunmuştur [19].

## 2.1. BİSKÜVİ

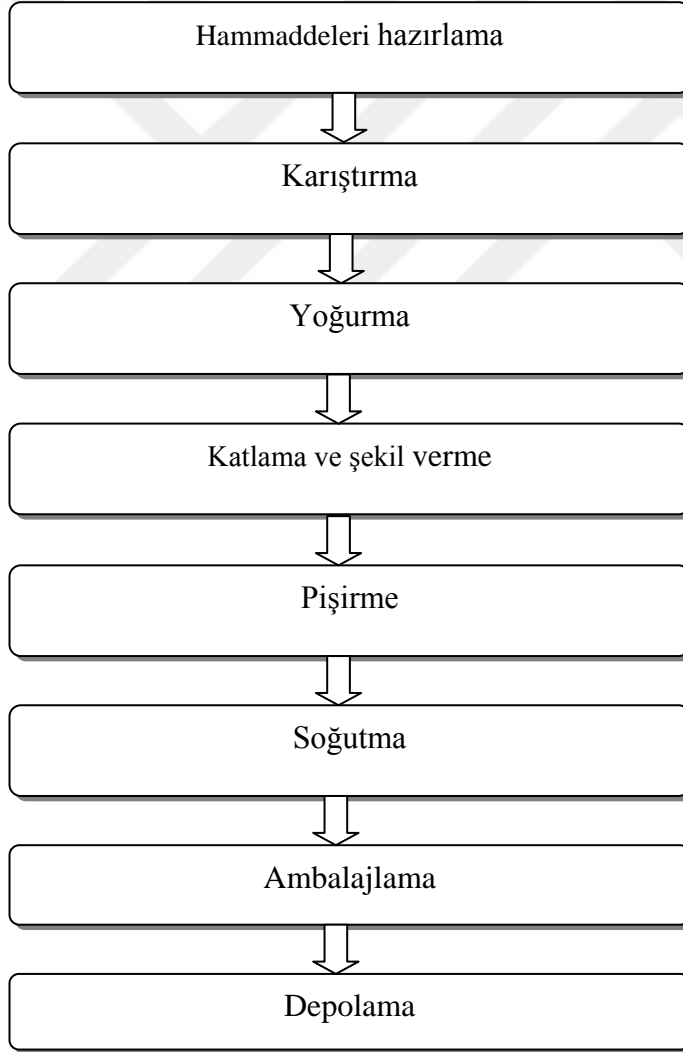
Bisküvi; un, yağ, şeker ve glikoz, süt, yumurta, tuz, nişasta, kakao, karbonat, vanilya, lesitin, esans gibi maddelerin yapılacak bisküvi çeşidine göre değişik oranlarda karıştırılarak tekniğine uygun şekilde hamur yapıldıktan sonra şekillendirilip pişirilmesiyle elde edilen bir gıda maddesidir. Bisküvi, bayatlamadan uzun süre muhafaza edilebilmesi ve farklı çeşitlerle tüketiciye sunulabilmesi gibi özellikleri sebebiyle atıştırılabilirlik olarak önemli yer tutmaktadır.

Ülkemizde bisküvi üretimine bakıldığında son yıllarda bisküvi sanayinin büyük bir gelişme gösterdiği, üretilen bisküvi çeşitliliğinin arttığı ve modern teknolojik yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir [20].

### 2.1.1. Bisküvi Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Bisküvi üretiminde kullanılan hammaddeler un, bitkisel hidrojene veya sıvı yağ, su, süt ve kabartıcı maddelerdir. Bisküvi formülasyonuna üretilecek bisküvi çeşidine göre ilave edilen diğer maddeler ise; invert şeker, süt tozu, tuz, lesitin, karamel, kakao, yumurta, fındık, fıstık, peynir, çeşitli baharat, krema ve gıda boylarıdır [18].

### 2.1.2. Bisküvi Üretim Prosesi



Şekil 2.1. Bisküvi üretim akış şeması [21].



Bisküvi son halini alan kadar birçok işlem ve aşamadan geçmektedir. Bisküvi üretimin genel aşamaları ve üretim hattı küçük farklılıklar göstermekle birlikte Şekil 2.1.'de verildiği gibidir.

## 2.2. AKRİLAMİD

Akrilamid ilk kez 1983 yılında Almanya'da Christian Mouraeu tarafından bulunmuş kimyasal bir bileşiktir. Akrilamid 1952-1954 yılları arasında Almanya'da ticari amaçlı kullanılmış olup akrilamidin su ve gıdalardaki önemi 2002 yılında ortaya koyulmuştur. 24 Nisan 2004 yılında İsveç Ulusal Gıda Komisyonu nişasta bakımından zengin gıdaların yüksek sıcaklıklarda üretilmesi sonucu akrilamid içerdiklerini ortaya koymuştur. Bu bulgular Hollanda, Norveç, İngiltere, İsviçre ve ABD'de yapılan çalışmalarla da doğrulanmıştır [22,23].

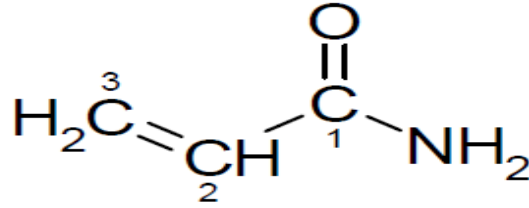
Akrilamid günlük hayatta kullandığımız birçok ürün içinde farklı şekilde yer almakta olan çok yönlü organik bir bileşiktir ve monomerik ve polimerik olmak üzere iki ayrı formu bulunur [24]. Monomer halindeki akrilamid laboratuvar çalışmalarında jel hazırlanmasında, elektroforez işleminde kullanılmaktadır. Monomer haldeki akrilamidin sinir sistemi için toksik etkisi mevcuttur ve laboratuvar hayvanları üzerinde yapılan deneyler sonucu hayvanlar için kanserojen olduğu insanlar için de kanserojen etkisi olabileceği bildirilmiştir. Polimer formadaki akrilamid ise boya, macun, kontak lens, baraj, tünel ve kanalizasyon yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca poliakrilamidin kağıt üretiminde koyulaştırıcı madde, su arıtımında katkı maddesi olarak, organik kimyasalların üretiminde, maden cevheri ve ham yağ işlemlerinde de kullanıldığı bilinmektedir. Monomerik akrilamid formunun polimer formuna göre daha zararlı olduğu bildirilmiş fakat poliakrilamidin de gıdalara dışarıdan bulaşması durumunda zararlı etkileri olduğu ifade edilmiştir [22,25].

İsveç Ulusal Gıda Komisyonu ve Stockholm Üniversitesi tarafından yapılan çalışmalar sonucu; akrilamidin monomerik formunun yüksek sıcaklık uygulanmış gıdalarda, karbonhidratlar ve aminoasitler arasında meydana gelen reaksiyon sonucu oluştuğu ortaya koyulmuştur. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ise gıdalardaki akrilamid

oluşumu ve miktarı hakkında daha fazla çalışma yapılması gerektiğini bildirmiştir [22].

### 2.2.1. Akrilamidin Kimyasal Yapısı

Akrilamid; 2-propenamid, etilen karboksiamid, akrilik amid ve vinil amid gibi isimlerle de bilinmektedir. Akrilamid (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>NO, 2-propenamid), yapısında vinil bulunduran, poliakrilamidin suda çözünen monomerlerinden biridir. Akrilamid beyaz katı kristaller halinde olup suda çözünürlüğü yüksek (204 g/100 ml, 25 °C'de) ve molekül ağırlığı 71,08 g/mol bir moleküldür. Ayrıca erime noktası 84,5°C ve kaynama noktası atmosferik basınçta 192, 6 °C'dir. Katı formadaki akrilamid oda sıcaklığında stabil haldeyken UV ışığa maruz kaldığında ve kaynama noktasında kolayca polimerize olmaktadır [23, 26,27].



Şekil 2.2. Akrilamid molekülünün kimyasal yapısı [28].

### 2.2.2. Gıdalarda Akrilamid Oluşumu

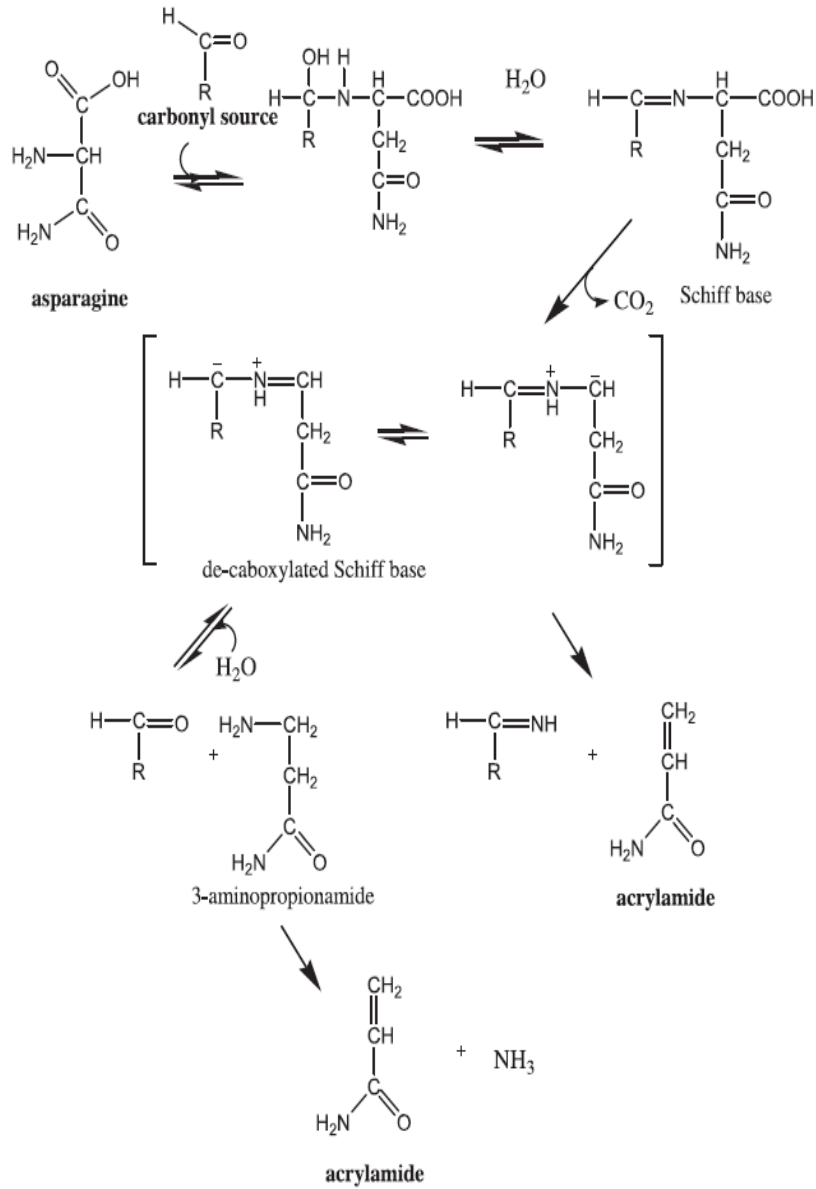
Gıdaların işlenmesi, hazırlanması ve muhafazaları amacıyla 90-220 °C'de uygulanan kızartma, fırınlama, ızgarada pişirme ve sterilizasyon gibi çeşitli ısı işlemler gıda maddesinde fiziksel ve kimyasal birçok değişime neden olabilmektedir. Bu ısı işlemler gıda maddesine arzu edilen özellikleri kazandırmasının yanında gıda maddesinin besleyici özelliğini olumsuz etkileyebilecek akrilamid gibi toksik bileşiklerin oluşumuna neden olmaktadır.

Akrilamid oluşumunda genel kabul gören teori akrilamidin serbest haldeki asparajin aminoasidi ve reaktif karbonil grubu içeren indirgen şekerler arasında meydana gelen Maillard reaksiyonu aracılığıyla meydana geldiğidir [29].

Akrilamid oluşumu hakkındaki ilk detaylı bilgiler Zyzak ve ark. (2003), Yaylayan ve ark.(2003), Stadler ve ark. (2002), Mottram ve ark. (2002) tarafından yürütölen çalışmalar sonucu elde edilmiş olup akrilamidin indirgen şekerler gibi karbonil kaynakları ve asparajin aminoasidi arasındaki Maillard reaksiyonu yoluyla oluştuğu ortaya koyulmuştur. Prensipde asparajin deaminasyon ve dekarboksilasyona neden olan ısı etkisiyle akrilamide dönüşmekteyken pratikte akrilamide dönüşümde karbonhidratlar gereklidir. Çoğu teoride karbonil bileşenlerinin bu reaksiyonu arttırdığı ifade edilirken fruktoz ya da glukoz gibi  $\alpha$ -hidroksi karbonil bileşiklerinin aktivasyon enerjilerinin düşük olması sebebiyle bu reaksiyonda daha etkili olduğu da kabul görmektedir.

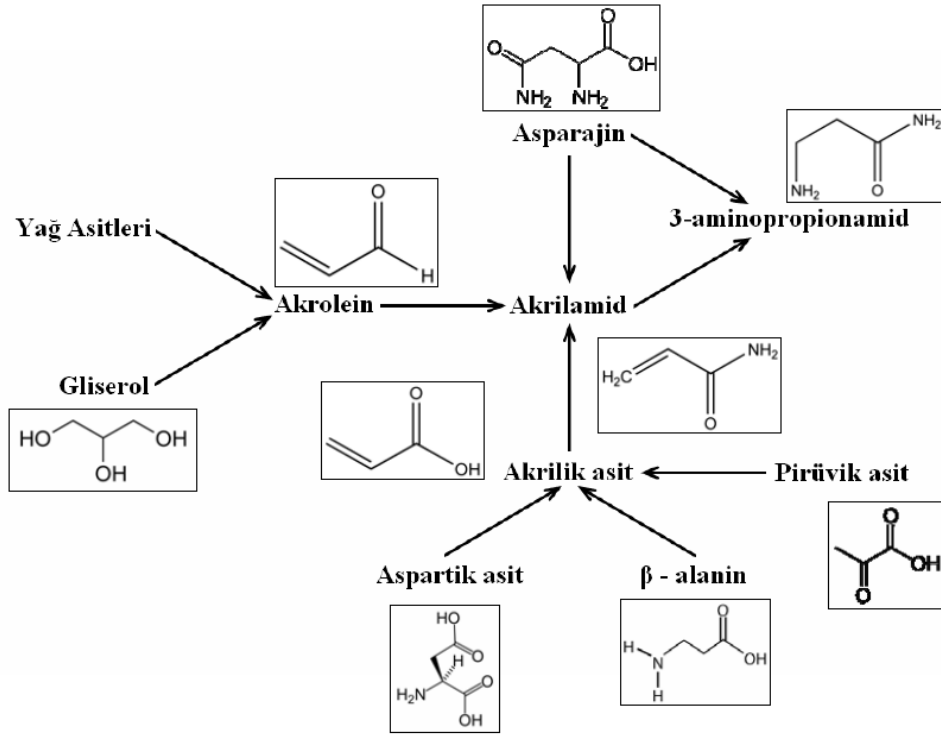
Akrilamid oluşumunda ilk adım Schiff bazı oluşması indirgen şekerlerin karbonil grubu ve aminoasidin amino grubunun reaksiyona girmesi sonucu oluşur. Schiff bazından bir karboksil grubu ayrılarak yeni ara ürünler oluşmaktadır. Schiff bazı ara ürünleri akrilamid prekürsörü olan 3-amino-propanamid formuna hidrolize olabilir ya da direkt 1,2-eliminasyonuna maruz kalır [30,31].

Akrilamid oluşumu tam olarak aydınlatılamamıştır fakat indirgen şekerler ve asparajin aminoasidi arasında gerçekleşen Maillard reaksiyonu yoluyla meydana gelen akrilamid oluşumu en fazla kabul gören yoldur. Bunun yanında akrilamid oluşumunda bu reaksiyon dışında birkaç mekanizma daha olduğu düşünölmektedir [30].



Şekil 2.3. Maillard reaksiyonu ile akrilamid oluşumu [30].

Maillard reaksiyonu dışında akrilamid oluşumundan sorumlu diğer mekanizmalardan biri lipitlerin transformasyonu, karbonhidratlar ve aminoasitlerin ayrışması yoluyla ortaya çıkan akrolein ya da akroleik asit reaksiyonudur. Yağlar uygun olmayan yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığında gliserolün dehidratasyonu ile akrolein oluşur. Akrolein okside olarak akrilik aside dönüşür. Akrilik asit amonyak ile yüksek verimlilikte bir reaksiyona girerek akrilamid oluşturur. Bir diğer yol ise laktik asit, malik asit ve sitrik asit içeren bazı temel organik asitlerin dehidratasyon-dekarboksilasyonu yoludur [31,32,33].



Şekil 2.4. Akrilamidin gıdalarda oluşum yolları [34].

### 2.2.3. Akrilamidin Sağlık Üzerine Etkileri

Akrilamid, Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından insanlar için muhtemel kanserojenler grubuna giren 2A grubuna dahil edilmiş özellikle indirgen şeker ve asparajin içeriği yüksek olan gıdaların yüksek sıcaklıklara maruz kalması sonucu meydana gelen bir proses kontaminantıdır. 2002 yılında gıdalarda akrilamid varlığının belirlenmesinden beri bu bileşiğin potansiyel sağlık etkileri tüm dünyada ilgi uyandırmıştır. Akrilamid hakkındaki ilk sağlık problemlerinden biri İsveç'te Hallandsas tüneli yapımında işçilerin akrilamide aerosol yolla maruz kalmaları; akrilamidin insanlar için kanserojenik ve toksik etkileri olabileceğini düşündürmüştür. Deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalar sonucu akrilamidin kanserojenik, genotoksik ve nörotoksik etkilere sahip olduğu ve üreme sistemi üzerinde farklı problemlere yol açtığı görülmüştür [22, 35].

Hayvanlarda kansinojen ve mutajen olduğu belirlenen ve insanlar için muhtemel kanserojen ve mutajen olarak tanımlanan akrilamidin insanlarda da nörolojik bozukluklara sebep olabileceği ileri sürülmektedir [36].

Yerlikaya ve ark. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada uzun süre akrilamid verilen sıçanlarda karaciğer fonksiyon testleri değerlendirilmiş ve uzun süreli akrilamid tüketiminin karaciğer biyokimyası ve patolojisi üzerinde olumsuz etkileri olduğu ifade edilmiştir [37].

Akrilamidin vücutta mutajenik ve kanserojenik olduğu bilinen glisidamide dönüştüğü bilinmektedir. Yapılan hayvan deneylerinde akrilamidin üreme ve sinir sistemini etkilediği ve metaboliti olan glisidamidin DNA'yı bağlayarak genetik hasarlara neden olduğu bildirilmiştir [38].

Hayvanlar üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda sinir dokusu ve üremeyi etkileyen toksisitenin günde 1 kg vücut ağırlığı başına 0,5-2 mg'dan daha fazla akrilamid verildiği takdirde meydana geldiği bildirilmiştir. Dünya sağlık örgütü günde 0,3-0,8 µg/kg akrilamidin alınabileceğini belirtmektedir. İsveç'te yapılan araştırmalarla diğer faktörlerde göze alındığında akrilamid alımının bir günde 100 µg'a kadar çıkabileceği belirtilmektedir çünkü insanların gıdalar dışında da akrilamide maruz kalabilecekleri bilinmektedir. Örneğin; poliakrilamidin kullanıldığı içme suları, kozmetik ürünleri ve ambalaj materyallerinde düşük de olsa akrilamid bulunmaktadır. Bir sigaranın da 1-2 µg akrilamid içerdiği bilinmektedir [36].

İnsanlarda kanser riskini değerlendirmek amacı ile birkaç çalışma yürütülmüştür ve Mucci ve ark. (2003) tarafından elde edilen sonuçlarda akrilamidin beslenmede böbrekler, bağırsak ve mesane kanseri üzerinde etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca akrilamid ile yumurtalık ve göğüs kanseri arasında pozitif bir korelasyon bulunmamıştır.

Akrilamid ve metabolitlerinin insan sağlığı üzerindeki etkileri tam olarak aydınlatılmamış olsa da aksi kanıtları bulunmadığı sürece akrilamidin insanlar için muhtemel kanserojenik bir bileşik olduğu kabul edilmektedir [30].

#### 2.2.4. Gıdalardaki Akrilamid Miktarları

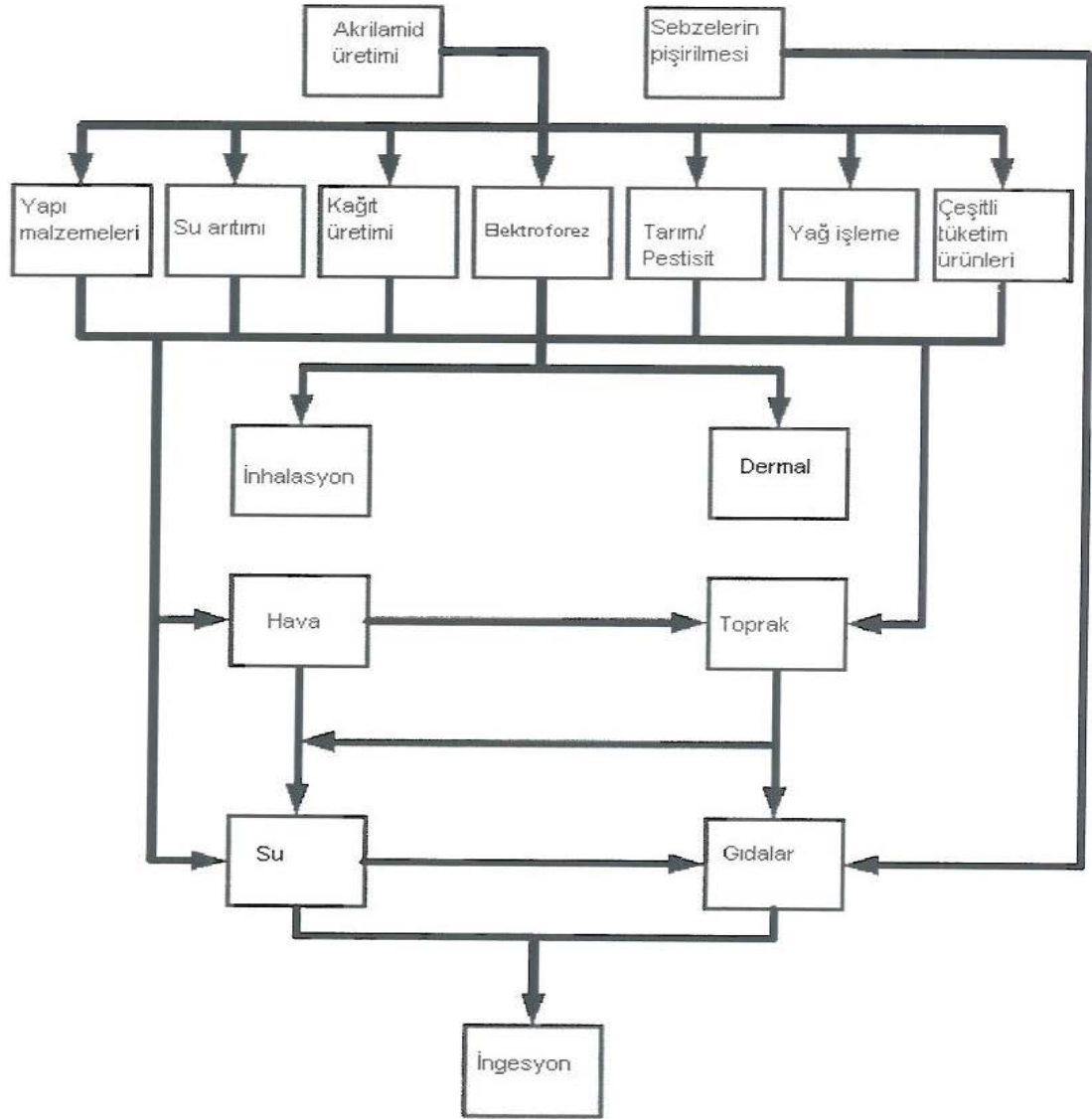
2002 yılında Stockholm Üniversitesinden bir grup araştırmacı tarafından patates ürünleri ve kahvaltılık gevrekler gibi çokça tüketilen birçok gıda maddesinde akrilamid varlığı rapor edilmiştir. Kahvaltılık gevrekler, bisküvi, patates cipsi, patates kızartması ve kraker gibi birçok ürünün 2000 µg/kg'dan daha fazla

düzeylede akrilamid içerdiği belirtilmiştir. İsveçli araştırmacılar tarafından elde edilen bu sonuçlar İngiltere, ABD, İsveçre ve Norveç'te yürütölen benzer çalışmalarla doğrulanmıştır [39].

Çizelge 2.1. Çeşitli gıdalardaki akrilamid içerikleri [40].

Gıda maddesi	Akrilamid (ppb)
Kızarmış kek	90-1430
Sade kek	150-400
Zencefilli kek	1070-1410
Bisküvi	260-1450
Kraker	180-420
Çeşitli fırıncılık ürünleri	230-3200
Kahvaltılık tahıllar	30-1400
Bebe bisküvileri	150-610
Patates kızartması	330-3700
Kahve	25

İsveçli araştırmacılar tarafından yayınlanan rapordan önce akrilamid maruziyeti çoğunlukla sigara içme ve mesleki durumlara bağlanıyordu. 1996 yılında Avustralya Ulusal Sağlık ve Tıbbi Araştırma Konseyi içme suyunda en fazla 0,2 µg/L akrilamid bulunabileceğini bildirmiştir. Yine aynı yıl Dünya Sağlık Örgütü içme suyu için maksimum limiti 0,5 µg/L olarak belirlemiştir. Avrupa Birliğinde içme suyunda izin verilen maksimum akrilamid seviyesi 0,1 µg/L'dir. Gıdalardaki akrilamidin sağlık etkileri üzerine FAO/WHO tarafından elde edilen verilere göre genel nüfus için günlük akrilamid alım miktarı vücut ağırlığı temel alındığında 0,3-0,8 µg/kg'dır [39,41].



Şekil 2.5. İnsanlarda akrilamide maruziyet yolları [42].

Dybing ve ark. (2005) yetişkinler için günlük ortalama akrilamid alımının yaklaşık 0,3-0,6 µg/kg vücut ağırlığı; çocuklar için ise 0,4-0,6 µg/kg vücut ağırlığı olduğunu belirtmişlerdir. Çocuklar ve gençlerde günlük akrilamid alımının daha yüksek olması vücut ağırlıklarına göre yüksek kalorili ve akrilamid içeriği yüksek patates kızartması, patates cipsi gibi ürünleri daha fazla tüketmelerine bağlanmıştır [43].

Mojska ve ark. (2012) tarafından 6-12 aylık bebeklerin beslenmelerinde maruz kaldıkları akrilamid miktarını değerlendirmek ve bu gıda maddelerindeki akrilamid içeriğini belirlemek amacı ile yürütölen çalışmada toplamda 111 örnek



analiz edilmiştir ve bebekler ay, cinsiyet ve kiloları temel alınarak sınıflandırılmıştır. Analiz edilen örneklerde akrilamid içerikleri 2-516 µg/kg aralığında bulunmuştur. Bebek beslenmesinde önemli olan bu gıda maddeleri içinde en yüksek akrilamid içeriği bebe (219 µg/kg) bisküvisinde belirlenmiştir. En düşük akrilamid içeriği ise kavanozlanmış bebe gıdalarında (55 µg/kg) bulunmuştur. Elde edilen bu değerler ortalama olarak verilmiş olup bazı bisküvilerde 500 µg/kg yüksek akrilamid değerleri bulunmuştur. Bebeklerin akrilamid maruziyeti sonuçlarında ise minimum 0,4 µg/kg/gün, maksimum 12,4 µg/kg/gün değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların kanser risk faktörü olarak belirlenen limitlerin üzerinde olduğu bildirilmiştir [41].

Alkhalifah (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada bebekler tarafından tüketilen ham patates yumrusu, patates, mısır, tatlılar, çikolata ve işlenmiş tahıl ürünlerinin bulunduğu gıdalardaki akrilamid içerikleri ve genotoksitesisi belirlenmiştir. Sonuçlarda en yüksek akrilamid içeriğine sahip ürünler sırası ile işlenmiş tahıl ürünleri (800 µg/kg), patates gevreği (300 µg/kg) ve çikolata (250 µg/kg) olarak belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlardan vücut ağırlıkları temel alındığında çocukların günlük beslenmede yetişkinlerden en az iki kat daha fazla akrilamide maruz kaldıkları sonucu çıkarılmıştır. Aynı zamanda akrilamid miktarı ve genotoksite arasında linear bir ilişki bulunduğu ifade edilmiştir [44].

Baydar ve Erkekoğlu tarafından yürütölen bir çalışmada bebek mamaları ve bebekler tarafından tüketilen diğer gıda maddelerindeki akrilamid içeriği ve bu gıdaların sağlık üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada bebek yaşı grubu olarak 0-3 yaşı aralığı gösterilmiş olup bu yaşı aralığında analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş ve akrilamid alımının önüne geçmenin nerdeyse imkansız olduğuna bu yüzden gıdalarda akrilamid içeriğinin azaltılmasının önemine değinilmiştir. Ayrıca yine bebeklerin vücut ağırlıkları göz önüne alındığında yetişkinlerden 2-3 kat daha fazla akrilamid alımına maruz kaldıkları ifade edilmiştir [45].

### 2.3. VAKUM KOMBİNELİ UYGULAMALAR

Geleneksel yöntemle fırınlama işleminde üründe arzu edilen renk, tat ve tekstürel özellikleri sağlamanın yanında yüksek sıcaklıklarda meydana gelen proses kontaminantlarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle son yıllarda akrilamid gibi proses kontaminantlarının oluşumunu sınırlayacak alternatif pişirme teknikleri önem kazanmıştır [46].

Yapılan son çalışmalarda soğutma, fırınlama, kızartma ve kavurma işlemlerinin vakum altında gerçekleştirildiği görülmektedir. Vakum altında gerçekleşen ısıl proses sırasında basıncın düşmesi üründe mevcut olan suyun kaynama noktasının düşmesine sebep olmakta ve böylece üründeki nem çok daha hızlı bir şekilde uzaklaşmaktadır. Ayrıca geleneksel fırınlama sırasında kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon olmak üzere 3 ısı transfer modeli gerçekleşmektedir. Vakum fırınlamada fırın havasının kısmen uzaklaştırılması konvektif ısı transferini sınırlandırmaktadır. Fakat fırın içinde kondüksiyon ve radyasyon ısı transferi devam etmektedir. Konvektif ısı transferinin sınırlandırılması termal yükün düşmesine neden olmakta böylece üründe meydana gelebilecek akrilamid gibi ısıl işlem kontaminantları sınırlandırılmaktadır [46,5].

Gıdalarda kuruma prosesi üç ayrı periyotta gerçekleşmektedir. İlk periyod ürünün kendisini çevreleyen ortamdan ısı absorbe ettiği ısınma (kızışma) periyodudur. Ürün gıdadan nemin buharlaşmaya başladığı sıcaklığa bu ilk ısınma periyodunda ulaşır. Vakum altında gerçekleştirilen prosesde bu ilk ısınma periyodu oldukça kısadır. İkinci kuruma periyodu sabit kuruma periyodu olarak bilinir. Burada ortamdan ürüne transfer edilen ısı sebebiyle kuruma oranı sınırlıdır. Bu sabit kuruma şartları ürün yüzeyi kuruncaya kadar devam eder. Vakum altında gerçekleşen kızartma gibi proseslerde sabit kuruma periyodu gözlemlenmez. Üründe nem seviyesi düşük olduğu zaman ürün yüzeyi daha fazla kurumaz ve kuruma oranı düşük kuruma periyoduna girilmesiyle azalır. Bu periyot sırasında kuruma oranı nem difüzyon mekanizması tarafından kontrol edilir [46].

Moreira ve Garayo (2002) tarafından yapılan çalışmada düşük yağ içeriğine sahip patates cipsi geliştirmek için alternatif bir teknik olarak vakum altında kızartma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ürünün renk, tekstürel özellikleri, yağ

absorbsiyonu ve kuruma oranı üzerine vakum ve yağ sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Vakum altında kızartma sırasında yağ sıcaklığı ve basıncın patates cipsinin yağ absorpsiyonunu ve kuruma oranını önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Vakum altında kızartılan patateslerin atmosfer basıncı altında kızartılan patateslere oranla daha yumuşak, daha açık renkli ve daha az büzüştüğu görülmüştür. Bu teknolojinin istenen renk ve tekstüre sahip düşük yağ ierikli ürünler üretmeye imkan verebileceği bildirilmiştir [46].

Palazoğlu ve ark. (2015) geleneksel fırlama ve vakum fırlamayı kombine ettikleri çalışmada kurabiyelerin akrilamid ieriği, renk ve tekstürel özelliklerini incelemişlerdir. Vakum fırlama tekniğinin kurabiyelerde istenilen nem ieriğine ulaşırken akrilamid oluşumunu sınırladırığı ifade edilmiş ve fırlamanın sonuna doğru kısmi vakum uygulamasının akrilamidi azaltmada etkili bir yöntem olabileceği bildirilmiştir. Vakum uygulamasının sadece iç nemi uzaklaştırmakla kalmadığı aynı zamanda kurabiyelerin yüzey ve iç sıcaklığında belirgin bir azalmaya sebep olduğu görülmüştür. Kombine yöntemde elde edilen kurabiyelerin geleneksel yöntemle elde edilen kurabiyelere göre daha az akrilamid ieriğine, daha açık yüzey rengine sahip olduğu ve sertlik derecesinin daha düşük olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada vakum uygulaması için 60 ve 40 kPa değerleri seçilmiştir. 60 kPa'lık basınç etkisinin suyun kaynama noktasında 12-13°C'lik belirgin bir azalmaya sebep olduğu bildirilmiştir. Yine bu çalışmada kısmi vakum uygulamasının ısı transfer katsayısını azaltarak konvektif ısı transferini sınırladığı dile getirilmiştir [47].

Granda ve ark. (2004) vakum altında kızartma prosesi ile patates cipslerinde akrilamid oluşumunu azaltmayı amaçlamışlardır. Çalışmada vakum altında gerçekleştirilen proseste sıcaklığın 140 °C'den 125 °C'ye düşmesi ile akrilamid ieriğinin %63 oranında azaldığı görülmüştür [48].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. BİSKÜVİ HAMURUNUN HAZIRLANMASI

Bisküvi hamuru, AACC metod 10-54D'de verilen formülasyon (Çizelge 3.1.) kullanılarak hazırlanmıştır [49].

Çizelge 3.1. Bisküvi formülasyonu

Bileşen	Miktar (g)
Un (% 14 nem)	40
Şeker	16,8
Bisküvilik yağ (shortening)	16
HFCS (%42)	0,6
Sodyum bikarbonat	0,4
Amonyum bikarbonat	0,2
Tuz	0,5
Distile su	8,8
Yağsız süt tozu	0,4

Hamur oluşturmak için gerekli olan malzemelerden bisküvilik yağ uygun depolama kabı içerisinde Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölüm laboratuvarında mevcut olan +7°C'lik soğuk hava deposunda muhafaza edilmiştir. Diğer malzemeler ise yine uygun kaplarda ve yine bölüm laboratuvarında mevcut olan iklimlendirme kabininde (TK 252 (A), Nüve, Türkiye) 20°C sıcaklıkta depolanmıştır.

Depolanan malzemeler kullanım esnasında Çizelge 3.1'deki formülasyona uygun şekilde tartılmış ve tartılan bileşenler bölümümüz laboratuvarında bulunan mikser ile (5KSM45, KitchenAid, ABD) hamur haline dönüştürülmüştür (Şekil 3.1.). Hamur formülasyonundaki kuru bileşenlerden şeker, sodyum bikarbonat, yağsız süt tozu ve tuz bileşenleri geniş bir kap içerisinde yaklaşık 20 kez çevirmek suretiyle homojen hale getirilmiştir. Elde edilen bu karışım miksere ilave edilip üzerine uygun miktarda bisküvilik yağ konulduktan sonra bu karışım 3 dakika boyunca her bir dakikada mikser kenarlarını sıyırmak suretiyle karıştırılmıştır. Bu karışım elde

edildiğinde HFCS (%42) formülasyondaki su içerisinde çözüldürüldükten sonra formülasyondaki amonyum bikarbonat bu HFCS-su karışımı içerisinde çözüldürülüp elde edilen karışımına ilave edilmiştir. Bu halde de her 15 saniyede bir sıyırma işlemi yapılarak karışım 1 dakika boyunca karıştırılmıştır. Son olarak uygun miktardaki un karışım içine ilave edilip hamur oluşuncaya kadar her 10 saniyede bir sıyırma yapılarak homojen hale getirilmiştir. Hazırlanan tüm hamurların aynı sürede meydana getirilmesi açısından elde edilen tüm hamurlar başlangıç itibariyle toplam 5 dakika karıştırılmıştır.



Şekil 3.1. Bisküvi hamuru hazırlanmasında kullanılan mikser

### 3.1.1. Hamur Açma İşlemi

Elde edilen hamur, hamur oluşturma işlemine kadar iklimlendirme kabininde 20 °C sıcaklıkta depolanmıştır. Hamurlar 3 mm kalınlık ve 50 mm çap olacak şekilde hazırlanmıştır. Hamur açma işleminde tüm hamurların eşit kalınlık ve çapta olmasını sağlamak amacıyla her açma işleminde aynı ağırlıkta hamur

kullanılmıştır. Hamur açma işlemi istenen kalınlıkta kestirilen materyaller arasında yağlı kağıt üzerinde yapılmıştır. 3 mm kalınlığında açılan hamurlar 5 mm çapa sahip kalıplarla kesilmiştir. Kesilen hamurlar yağlı kağıt üzerinden kaldırılmadan fırınlama işlemine alınmıştır. Hamurlar fırınlama işlemine kadar 20 °C sıcaklıkta iklimlendirme kabinlerinde üst yüzeyi kurumayacak şekilde kapatılarak muhafaza edilmiştir. Ayrıca tüm fırınlama işlemleri ve analizler için elde edilen hamurlardan son kütlesi  $9\pm 0,250$  g olanlar kullanılmıştır.

### 3.2. FIRINLAMA İŞLEMİ

AACC metod 10-54D'e göre hazırlanan bisküvi hamuru (3 mm kalınlık, 50 mm çap) geleneksel ve kombine yöntem kullanılarak fırınlanmıştır.

Geleneksel fırınlama işlemi, proje kapsamında alınmış olan Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümündeki vakum fırının (OV-11, Jeio Tech, Güney Kore) atmosfer basıncında (101 kPa mutlak basınç) çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Geleneksel fırınlama işlemi atmosfer basıncı altında  $180 \pm 1^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 12 dakikada gerçekleştirilmiştir. Geleneksel fırınlama ile elde edilen örnekler kontrol örneklerini oluşturmuştur.

Geleneksel fırınlama işleminde sıcaklık ve süre yapılan ön denemelerle son nem içeriği göz önüne alınarak belirlenmiştir. Son nem içeriğinin %3-3,5 arasında olması istenmiştir. Son nem içeriğinin yanı sıra renk, yayılma ve lezzet gibi özellikler de çalışmayı yürüten kişiler tarafından değerlendirilmiştir.

Ayrıca örnekler geleneksel-vakum fırınlama yöntemi kullanılarak pişirilmiştir. Vakum fırınlama iki ayrı basınç altında (61 ve 41 kPa mutlak basınç) gerçekleştirilmiş ve bu basınç şartları Gıda Mühendisliği Bölümünde bulunan vakum pompa (PC 510NT, Vacuubrand, Almanya) ile sağlanmıştır. Kombine yöntemle hazırlanan örnekler önce  $180 \pm 1^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 8 dakika geleneksel fırınlamaya tabi tutulmuş daha sonra aynı fırında 61 ve 41 kPa mutlak basınç altında 3 dakika fırınlanmıştır. 61 ve 41 kPa mutlak basınçta geleneksel ve vakum fırınlamanın kombine edilmesiyle elde edilen örnekler için de toplam fırınlama süresi yine yapılan ön denemelerle belirlenmiş ve son nem içeriği göz önünde bulundurulmuştur.

Bisküvi hamurları, tüm fırınlama işlemleri boyunca fırının tam ortasında olacak şekilde yerleştirilmiş ve fırınlama işlemi yağlı kağıt üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bisküviler arasında fırınlama sırasında meydana gelebilecek farklılıkları ortadan kaldırmak amacıyla bisküviler tek tek fırınlanmıştır. Ayrıca tüm fırınlama işlemleri fırın sıcaklığı  $180 \pm 1^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman başlatılmıştır.

Bu tezde atmosfer basıncı altında geleneksel fırınlama ile hazırlanmış örnekler kontrol grubunu, 8 dakika geleneksel + 3 dakika 61 kPa mutlak basınç altında hazırlanan örnekler 61 kPa grubunu ve 8 dakika geleneksel + 3 dakika 41 kPa mutlak basınç altında hazırlanan örnekler ise 41 kPa grubunu oluşturmaktadır. Tezde örnek grupları için bu ayrıma göre kontrol, 61 ve 41 kPa grubu terimleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Geleneksel ve vakum fırınlama şartları

Hamur ağırlığı (g)	Geleneksel fırınlama süresi (dakika)	Vakum fırınlama süresi (dakika)	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	%Nem
$9 \pm 0,250$	12 (101 kPa mutlak basınç)	-	$180 \pm 1$	%3-3,5
$9 \pm 0,250$	8 (101 kPa mutlak basınç)	3 (61 kPa mutlak basınç)	$180 \pm 1$	%3-3,5
$9 \pm 0,250$	8 (101 kPa mutlak basınç)	3 (41 kPa mutlak basınç)	$180 \pm 1$	%3-3,5

### 3.3. SICAKLIK ÖLÇÜMÜ

#### 3.3.1. Isıl Çiftlerle Sıcaklık Ölçümü

Geleneksel fırınlama ve vakum fırınlama sırasında örneklerin iç sıcaklığı ve fırın sıcaklığı Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde bulunan ve Şekil 3.2.'de gösterilen T-tipi ısı çifti (36 gauge, Omega Engineering, Inc. Stamford, CT) kullanılarak ölçülmüştür. Isıl çift ile bisküvi iç sıcaklığının ölçümü üç tekrarlı yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.2. Sıcaklık ölçümünde kullanılan T-tipi ısı çift

### 3.3.2. Termal Kamera ile Yüzey Sıcaklık Ölçümü

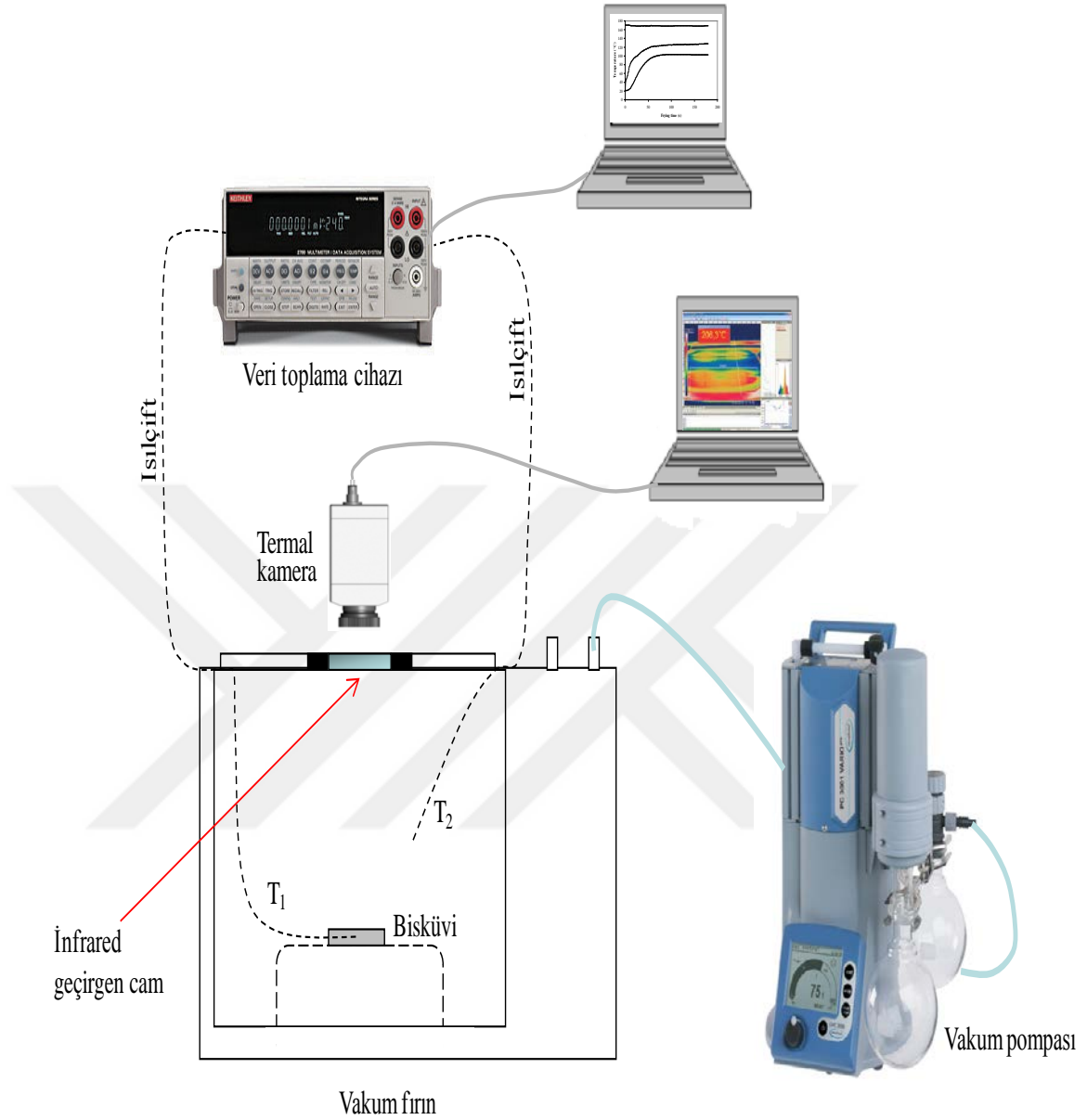
Yüzey sıcaklık ölçümü Şekil 3.3.'te gösterilmiş olan Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde bulunan infrared kamera (PI200, Optris, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey sıcaklık ölçümü üç tekrarlı yapılmış ve ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

Termal kamera ölçümünün gerçekleştirilebilmesi için vakum fırın tüm fırınlama işlemlerinde kapağı üste gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Ayrıca fırının orijinal kapağı yerine fırın boyutlarına göre yaptırılmış krom kapak kullanılmış olup bu metal kapağın ortasında infrared geçirgen bir cam (IRW-2C, FLIR, Wilsonville, Oregon, ABD ) yerleştirilmiştir. Termal kamera görüntüleri bu infrared geçirgen cam bulunan pencere vasıtası ile kaydedilmiştir. Isıl çiftler ve termal kamera ile sıcaklık ölçümü Şekil 3.4.'te gösterilen sıcaklık ölçüm düzeneği ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Yüzey sıcaklık ölçümünde kullanılan infrared kamera





Şekil 3.4. Sıcaklık ölçümünde kullanılan düzenek

Bir ısı çifti ile tek bir noktanın sıcaklığı ölçülebilir. Yüzeyde sıcaklık her bir noktada farklılık gösterdiğinden tek noktada ölçülen sıcaklığın tüm yüzeyi temsil etmesi beklenemez. Ayrıca fırınlama işleminden önce yüzeye yerleştirilen ısı çifti fırınlama sırasında ürünün kabarmasının bir sonucu olarak iç kısımda kalmaktadır. Bu yüzden ısı çifti yüzey sıcaklığını değil iç kısım sıcaklığını ölçmektedir. Yüzey sıcaklığının ölçümü için infrared kamera kullanıldığında bu problemler aşılmağa ve

tek bir termal görüntü ile örneğin tüm yüzeyi için sıcaklık dağılımı elde edilebilmektedir [50, 51].

### 3.3.2.1. Emisivite Değeri

Infrared bir kamerada sıcaklık ölçümünün doğru şekilde yapılabilmesi için emisivite değerinin doğru şekilde kamera ya da kullanılan yazılımda girilmesi gerekmektedir. Emisivite değerinin doğru girilmesi IR kamera kullanımındaki en kritik faktörlerden biridir ve bu değer yanlış girilmesi sıcaklık ölçümünün yanlış değerlendirilmesine sebep olur.

Kirchhoff kanununa göre bir nesne yüzeyinden ayrılan radyasyonların toplamı 1'e eşittir. Siyah bir cismin emisivite değeri 1 olarak kabul edilmektedir. Siyah bir cismin absorbe ettiği enerjinin tamamını %100 oranında yaydığı kabul edilir. Stefan-Boltzman kanununa göre yüzeyden yayılan IR enerji yüzey sıcaklığıyla ilgilidir. Yüzey sıcaklığı arttıkça radiant enerji de orantılı olarak artmaktadır. Sıcaklık ve radiant enerji arasındaki bu ters ilişki sebebiyle yanlış emisivite değeri sıcaklık ölçümünde daha büyük hatalara neden olmaktadır [52].

Bu çalışmada yapılan ölçümler ve literatür araştırması sonucu bisküvi örneklerinin termal sıcaklık ölçümlerinde emisivite değeri 0,95 olarak belirlenmiştir.

### 3.3.2.2. Infrared Geçirgen Camın Transmisivite Değeri

Termal kamera ile sıcaklık ölçümünde örnek ve termal kamera arasında bulunan infrared geçirgen camın transmisivite değeri sıcaklık ölçümünde kritik bir öneme sahiptir. Sıcaklık ölçümünün doğruluğu, bu değer doğru olarak belirlenmesine bağlıdır.

Bu çalışmada, infrared geçirgen camın transmisivite değerini belirlemek amacıyla ile, 5 mm kalınlığında ve 50 mm çapında bir bakır disk siyah mat boya ( $\epsilon = 0.95$ ) ile boyandıktan sonra 180°C'deki fırına yerleştirilmiş ve termal dengeye gelmesi için beklenmiştir. Bakır diskin denge durumundaki sıcaklığı, termal kamera (kamera ve bakır disk arasında infrared geçirgen cam varken) ve bakır disk içerisine yerleştirilmiş ısılıçift ile eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Termal kamera ile ölçülen sıcaklık, ısılıçift ile ölçülen gerçek sıcaklık değeri ile aynı oluncaya kadar

transmisivite değeri ayarlanmış ve fırın kapağına monte edilen infrared geçirgen camın fırınlama sıcaklığındaki transmisivite değeri 0,68 olarak bulunmuştur.

### 3.4. ISI TRANSFER KATSAYISININ BELİRLENMESİ

Geleneksel ve vakum fırınlama sırasında ısı transfer katsayısı lumped kapasitans yöntemi ile bakır model bisküvi ( $\rho = 8954 \text{ kg/m}^3$ ,  $C_p = 383 \text{ J/kgK}$ ) kullanılarak belirlenmiştir [53]. Isı transfer katsayısı (h), ısılıçift yardımı ile elde edilen sıcaklık–zaman profilinden Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\ln\left(\frac{T(t) - T_\infty}{T_i - T_\infty}\right) = -\frac{h A}{m c_p} t \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

h: ısı transfer katsayısı ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )

m: bakır model bisküvinin kütlesi (kg)

A: bakır model bisküvinin yüzey alanı ( $\text{m}^2$ )

$C_p$ : bakırın özgül ısısı ( $\text{J/kgK}$ )

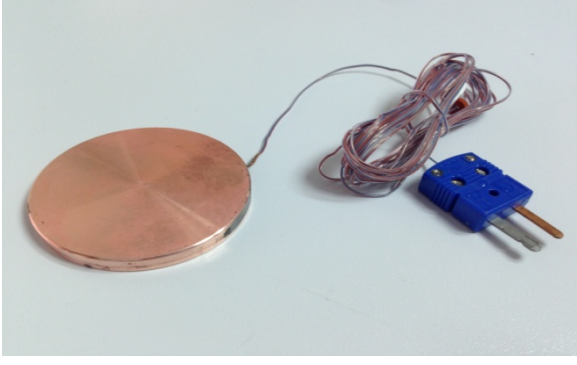
t: süre (s)

T(t): bakır model bisküvinin t anındaki sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )

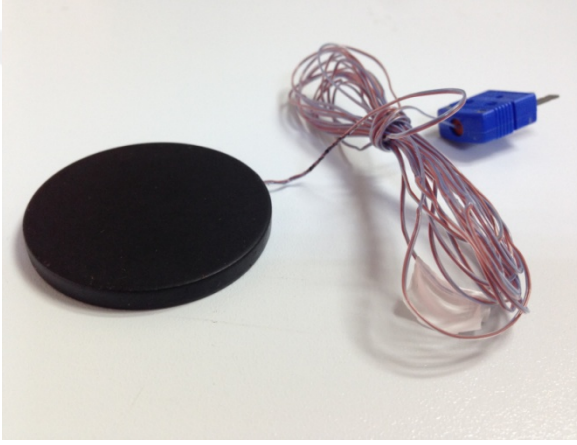
$T_\infty$ : fırın sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )

$T_i$ : bakır model bisküvinin başlangıç sıcaklığıdır ( $^\circ\text{C}$ ).

Isı transfer katsayısının belirlenmesi amacıyla kullanılan parlak ve siyah boyalı bakır model bisküvilerin emisivite değeri sırası ile 0,03 ve 0,95'tir [54]. Ayrıca kullanılan bakır diskler 5 mm kalınlık ve 50 mm çapa sahiptir.



Şekil. 3.5. Isı transfer katsayısının belirlenmesinde kullanılan parlak bakır disk



Şekil. 3.6. Isı transfer katsayısının belirlenmesinde kullanılan siyah bakır disk

### 3.5. BİSKÜVİ ÖRNEKLERİNDE YAPILAN FİZİKSEL ANALİZLER

#### 3.5.1. Fiziksel Analiz

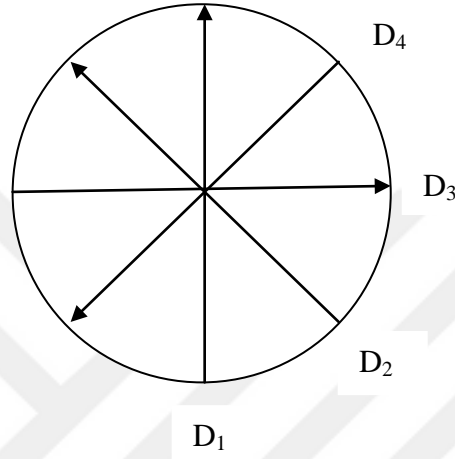
Bisküvi örneklerinde çap, kalınlık ve yayılma oranı hesaplamaları bisküviler fırından çıktıktan 30 dakika sonra gerçekleştirilmiştir.

Bisküvilerde çap ölçümü için Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde bulunan ve Şekil 3.7.'de gösterilen elektronik kumpas kullanılmıştır. Çap ölçümü 30 dakika bekleme süresi sona erdiğinde 45 derece aralıklarla dört farklı noktadan yapılmıştır. Altı tekrar yapılarak ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

Bisküvilerde kalınlık ölçümü çap ölçümünde olduğu gibi 30 dakika bekleme süresi sona erdiğinde 45 derece aralıklarla 4 farklı noktadan yapılmıştır. Altı tekrar yapılarak ölçümlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.7. Çap ve kalınlık ölçümünde kullanılan elektronik kumpas



Şekil 3.8. 45 derece aralıklarla yapılan çap ve kalınlık ölçümünün şematik gösterimi

Şekil 3.8.'de verilmiş olan  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  ve  $D_4$  değerleri 45 derece aralıklarla ölçüm yapılan noktaları ifade etmektedir.

### 3.5.2. Renk Ölçümü

Fiziksel analizde olduğu gibi renk ölçümü için fırından çıkan bisküvi örnekleri 30 dakika sonra renk ölçümüne tabi tutulmuştur. Bisküvi örneklerinin kontrollü koşullarda elde edilen dijital görüntüleri renk ölçümü amacıyla dijital görüntü analizine tabi tutulmuştur ve toplamda altı tekrar yapılmıştır. Bunun için Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde bulunan ve Şekil 3.9'da gösterilen renk ölçüm düzeneği ile Şekil 3.10'da gösterilen dijital görüntü analiz yazılımı kullanılmıştır.

Analizde her örneğe ait ortalama  $L^*$  (açıklık),  $a^*$  (kırmızılık),  $b^*$  (sarıklık) değerleri belirlenmiştir. Bu yöntemde, imajı oluşturan her bir pikselin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin ortalaması alınmaktadır. Ayrıca, Eşitlik 2 yardımı ile işlem görmemiş bisküvi hamuru referans alınarak bisküvi örneklerinde meydana gelen toplam renk değişimi ( $\Delta E^*$ ) hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

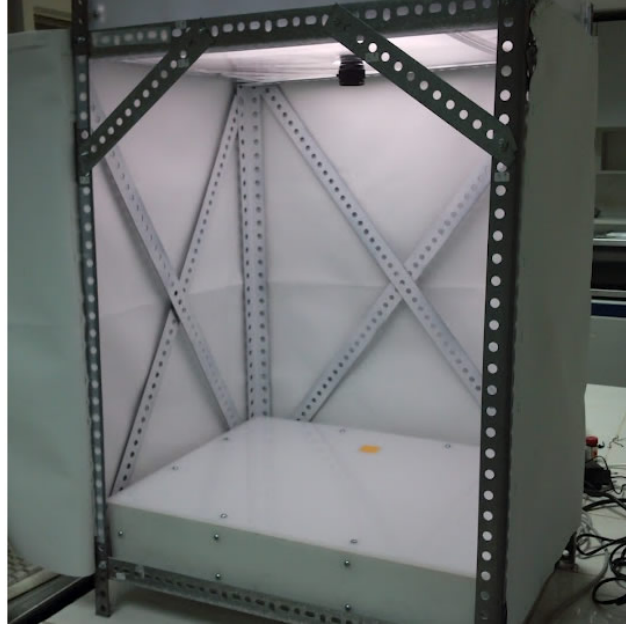
(2)

Eşitlikte yer alan;

$L_0^*$ : hamura ait  $L^*$  (62,37) değeri,

$a_0^*$ : hamura ait  $a^*$  (5,04) değeri,

$b_0^*$ : hamura ait  $b^*$  (37,13) değeridir.



Şekil 3.9. Örneklerin dijital görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan kontrollü ışık kabini

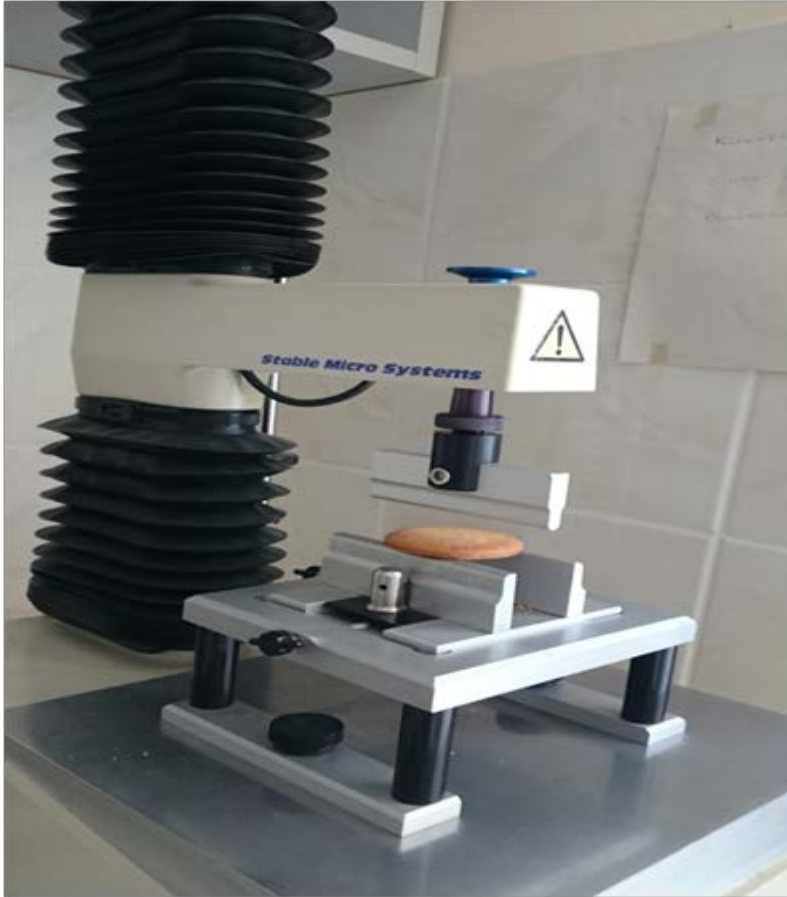


Şekil 3.10. Renk analizi amacı ile kullanılan yazılım

### 3.5.3. Tekstür Analizi

Örneklerin tekstür analizi, Şekil 3.11’de verilen Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nde bulunan tekstür analiz cihazı (TAXT2i, Texture Analyzer, İngiltere) ile Çizelge 3.3’te verilen parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

American Institute of Baking (AIB) tarafından bisküvi sertliğini ölçmek amacı ile önerilen standart prosedür izlenerek üç-nokta eğme (three-point bend) testi yapılmıştır [53]. Kuvvet-deformasyon eğrisinden elde edilen maksimum kuvvet ( $F_{max}$ ) ve deformasyon değerleri örneklerin tekstürü ile ilişkilendirilmiştir. Örnekler uygulanan maksimum kuvvet değerleri bisküvinin sertliğiyle, maksimum kuvvetin uygulandığı deformasyon değerleri ise bisküvinin kırılganlığı ile ilişkilendirilmiştir. Tekstür ölçümleri her örnek için altı tekrarlı olmak üzere bisküvi örnekleri fırından çıktıktan 30 dakika sonra gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.11. Tekstür ölçümünde kullanılan 3-nokta eğme testi

Çizelge 3.3. Tekstür ölçümünde kullanılan parametreler

<b>Test öncesi hız (Pre-test speed)</b>	3 mm/s
<b>Test hızı (Test speed)</b>	2 mm/s
<b>Test sonrası hız (Post-test speed)</b>	10 mm/s
<b>Deformasyon (Distance)</b>	15 mm

#### 3.5.4. Nem Tayini

Bisküvi örneklerinin nem içeriklerini belirlemek amacıyla her bir örnek fırından çıktıktan 30 dakika sonra nem analizine tabi tutulmuştur. Bu amaçla şekil 3.12.'de gösterilen Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde bulunan nem analiz cihazı (MA 60.3Y, Radwag, Polonya) kullanılmıştır. Nem ölçümleri üç tekrar şeklinde yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.12. Nem analiz cihazı

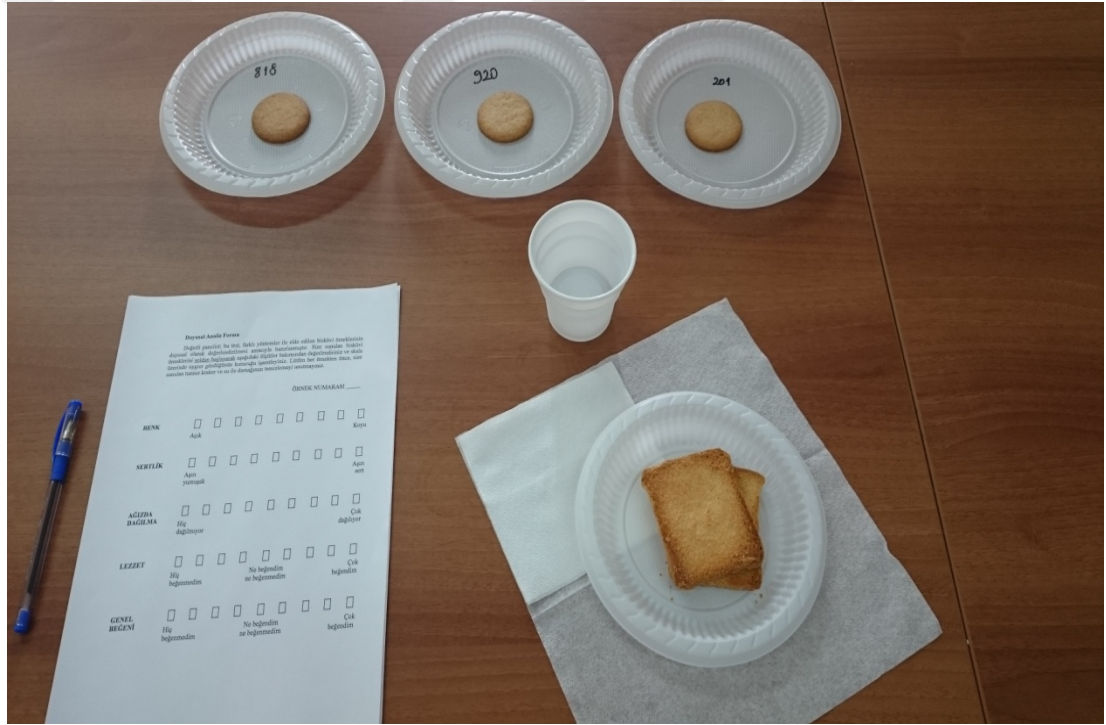
#### 3.5.5. Duyusal Analiz

Duyusal değerlendirmede kombine fırınlama yöntemi ile elde edilen örnekler ve kontrol örnekleri arasında önemli bir fark olup olmadığı anlamak amacı ile dokuzlu hedonik skala kullanılarak "ayrıt etme" (discrimination) testi uygulanmıştır.



Duyusal değerlendirmeye tabi tutulacak olan örnekler fırından çıktıktan sonra 30 dakika bekletilmiş ve tüm örneklerin aynı zamanda panelistlere sunulabilmesi için bisküviler bekleme süresi sonunda her bir örnek kilitli poşetler içerisinde olacak şekilde cam kavanozlara koyularak iklimlendirme kabiniinde iki gün depolanmıştır.

Bisküvi örneklerinin duysal analizi Şekil 3.13'te gösterilmiş olan (Ek 1) duysal analiz formunun örnekler eşliğinde panelistlere sunulmasıyla her örnek için ayrı bir form kullanılarak toplam 15 panelist ile gerçekleştirilmiştir. Panelistler, duysal analize aşına olan Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü akademik personeli arasından seçilmiştir.



Şekil 3.13. Duyusal analiz test ortamı

Duyusal değerlendirmeye tabi tutulacak örneklere 3 basamaklı rastgele kodlar verilmiş olup örneklerin sunulacağı kaplar üzerine gerekli kodlamalar değerlendirme öncesi yazılmıştır. Duyusal değerlendirme sırasında panelistlerden her örnek arasında tussuz kraker yiyerek bisküvi tadını nötrlemeleri ve ağızlarını suyla çalkalamaları istenmiş böylece her örneğin daha sağlıklı değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Duyusal değerlendirme sırasında panelistlerden her bir örneği renk, sertlik, ağızda dağılma, lezzet ve genel beğeni kriterleri açısından değerlendirmeleri istenmiştir. Duyusal analizde renk, genel bisküvi renk algısı ve homojenliği; lezzet, tatlılık ve aroma açısından tat özelliklerini; sertlik, dişlerin uyguladığı kuvvetle kolay kırılıp kırılmama özelliğini; ağızda dağılma, çiğnemeye başladığında ağız içerisinde kolay parçalanma özelliğini ve son olarak genel beğeni ise tüm bisküvi özelliklerinin göz önünde bulundurulmasıyla örneklerin değerlendirilmesini ifade etmektedir. Duyusal değerlendirme öncesi mevcut kriterler ve anlamları hakkında panelistlere gerekli bilgiler verilmiş ve daha sonra duyusal analize geçilmiştir.

### 3.6. BİSKÜVİ ÖRNEKLERİNDE YAPILAN KİMYASAL ANALİZLER

#### 3.6.1. LC-MS ile Akrilamid Analizi

Akrilamid konsantrasyonları, bisküvi örneklerinin üst yüzeyi ve geri kalan kısmında ayrı ayrı belirlenmiş ve bu konsantrasyonlar kullanılarak bütün bisküvi için akrilamid konsantrasyonu elde edilmiştir. Fırınlama işleminden 30 dakika sonra bisküvinin üst yüzeyinden yaklaşık 1 g bir tabaka rende yardımı ile tıraşlanmış ve üst yüzey örneğini oluşturan bu kısım ile bisküvinin geri kalan kısmı analize kadar kilitli poşetlerde muhafaza edilmiştir. Akrilamid analizleri üç paralel şekilde yapılmış olup ortalamalar alınarak son ürünlerdeki akrilamid miktarı hesaplanmıştır.

Bisküvi örneklerinde akrilamid analizleri sıvı kromatografisi - kütle spektrometresi (Waters Acquity UPLC, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon öncesi öğütülen örneklerden 1 g alınarak üzerine 9 ml 10 mM formik asit, 0,5 ml Carrez I ve 0,5 ml Carrez II çözeltisi ilave edildikten sonra bir vorteks karıştırıcıda 3 dakika boyunca ekstrakte edilmiştir. Örnek daha sonra 10,000 x g hızda 10 dakika santrifüjlenmiştir. Örnek içerisinde bulunan yağın katı bir tabaka halinde üst fazda ayrılabilmesini sağlayabilmek amacıyla, santrifüjleme işlemi 0°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiş ve soğuk santrifüjleme sonunda üst fazda toplanan yağ tabakası bir spatül yardımıyla süpernatanttan uzaklaştırılmıştır. Yağ tabakası uzaklaştırılmış süpernatant başka bir tüpe aktarılmış ve tüpte kalan retentat üzerine tekrar 5 ml 10 mM formik asit ilave edilerek 3 dakika vortekslenerek ve 10,000 x g hızda 10 dakika soğukta santrifüjlenerek elde edilen ve yağı ayrılan süpernatant, birinci ekstraksiyon basamağında elde edilen süpernatantla birleştirilmiştir. Aynı

ekstraksiyon işlemi üçüncü defa tekrarlanarak, tüm süpernatantlar bir araya getirilmiştir (üç kademeli ekstraksiyon) ve birleştirilen süpernatantlar, tam olarak karışmalarının sağlanması amacıyla 1 dakika boyunca vortekslenerek ekstraksiyon basamaklarında süpernatantların ayrılması sırasında karışan katı retentat partiküllerinin uzaklaştırılması amacıyla 10,000 x g hızda 5 dakika santrifüjlenmiştir. Elde edilen berrak süpernatantın 1 ml'si, önceden koşullandırılmış Oasis MCX kartuştan, saniyede bir damla hızla geçirilmiştir. Kartuş koşullandırmasından kaynaklanabilecek seyrelmelerin önüne geçebilmek amacıyla, ilk 7-8 damla atılarak, sonraki damlalar bir vialde toplanarak LC-MS'de analiz edilmiştir.



Şekil 3.14. Akrilamid analizinde kullanılan LC-MS cihazı

Akrilamid analizleri, Agilent 1200 HPLC (Agilent Technologies, Waldbronn, Almanya) ve Agilent 6130 MS dedektörden (Agilent Technologies, Waldbronn, Almanya) oluşan sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kromatografik ayırım için Atlantis T3 kolon (150 mm x 4.6 mm, 4 µm) kullanılmıştır. Kütle spektrometresi SIM modunda, pozitif iyonizasyon ile çalıştırılarak; akrilamid miktar tayini m/z 72 ve 55 iyonları üzerinden yapılmıştır.

### 3.7. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

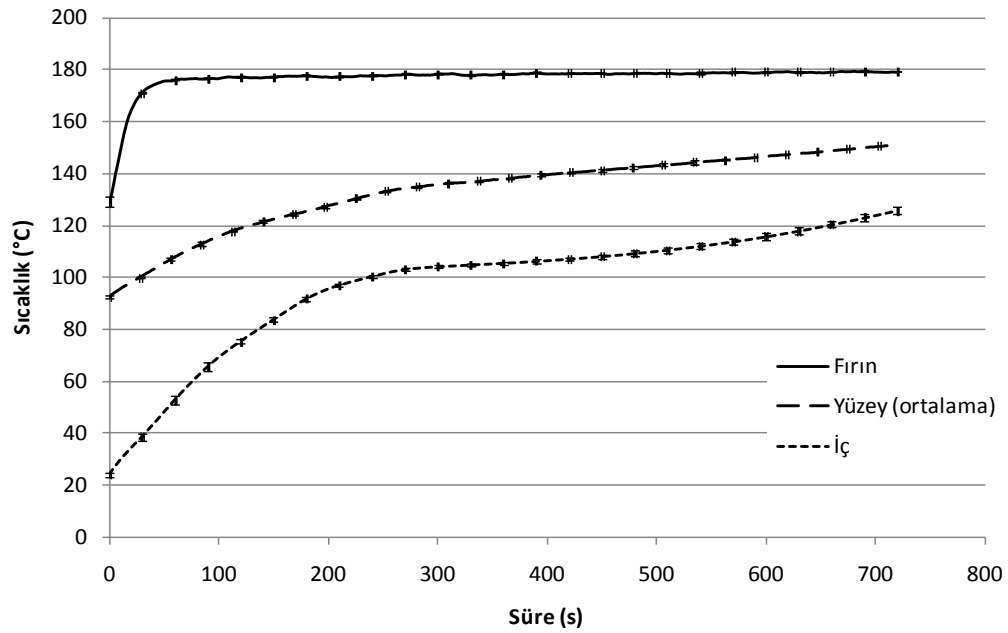
İstatistiksel olarak bisküvi örnekleri arasında önemli farklılıkların belirlenebilmesi için SPSS 16.0 istatistik programı ile varyans analizi Anova ( $\alpha = 0,05$ ) ve Tukey testleri yapılmıştır.



## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

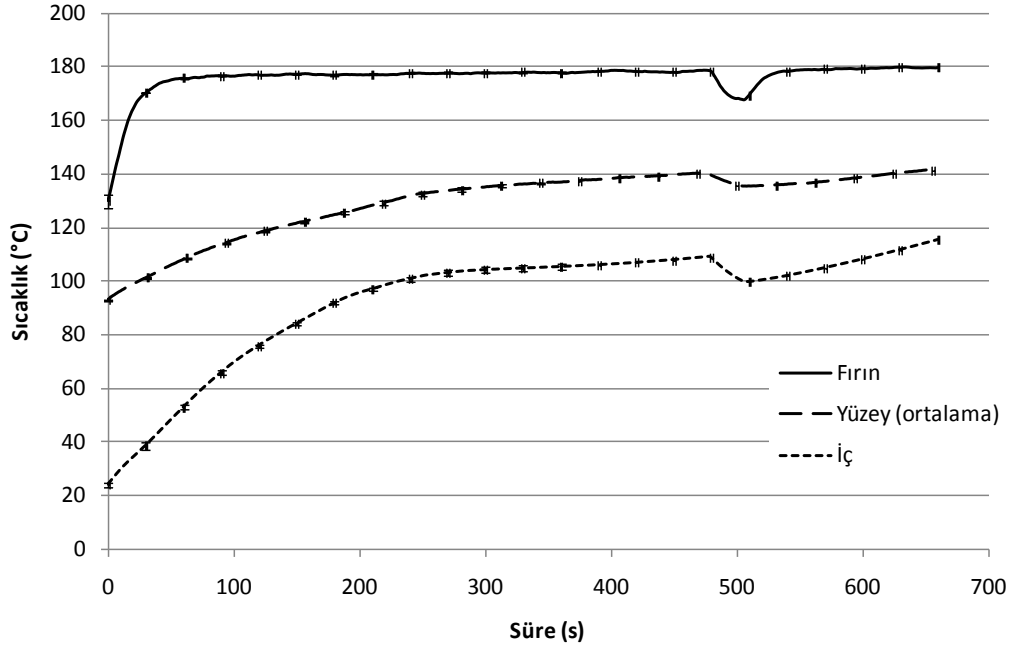
### 4.1. SICAKLIK ÖLÇÜMÜ

Kontrol örneklerinin fırınlanması sırasında ısıl çift ve termal kamera kullanılarak elde edilen sıcaklık profilleri Şekil 4.1.'de verilmiştir. Geleneksel fırınlama işleminde bisküvi yüzey ve iç sıcaklığı fırınlama işleminin sonuna kadar artış göstermiştir. Fırınlama işlemi sonunda bisküvi yüzey ve iç sıcaklıkları sırası ile 151,0°C ve 125,8°C'ye ulaşmıştır.



Şekil.4.1. Kontrol örneğine ait fırın, yüzey ve iç sıcaklık profilleri

Şekil 4.2.'de 61 kPa mutlak basınç altında hazırlanmış bisküvi örneğine ait ısıl çift ve termal kamera ile elde edilmiş olan sıcaklık profilleri verilmiştir. 61 kPa örneğinde geleneksel fırınlamadan vakum fırınlamaya geçildiğinde bisküvi iç ve yüzey sıcaklıkları yanında fırın sıcaklığının da düştüğü görülmektedir. Grafiklerden, vakum fırınlama sırasında fırın sıcaklığının 167,8°C, bisküvi yüzey ve iç sıcaklıklarının ise sırası ile 135,4 ve 99,7°C'ye kadar düştüğü anlaşılmaktadır. Vakum uygulamasının etkisi ile azalan fırın sıcaklığı 56 s sonra yeniden 180°C'ye yükselmiştir. Fırınlama işleminin sonunda sıcaklık yüzeyde 141,8 ve iç kısımda ise 115,4°C'ye ulaşmıştır.

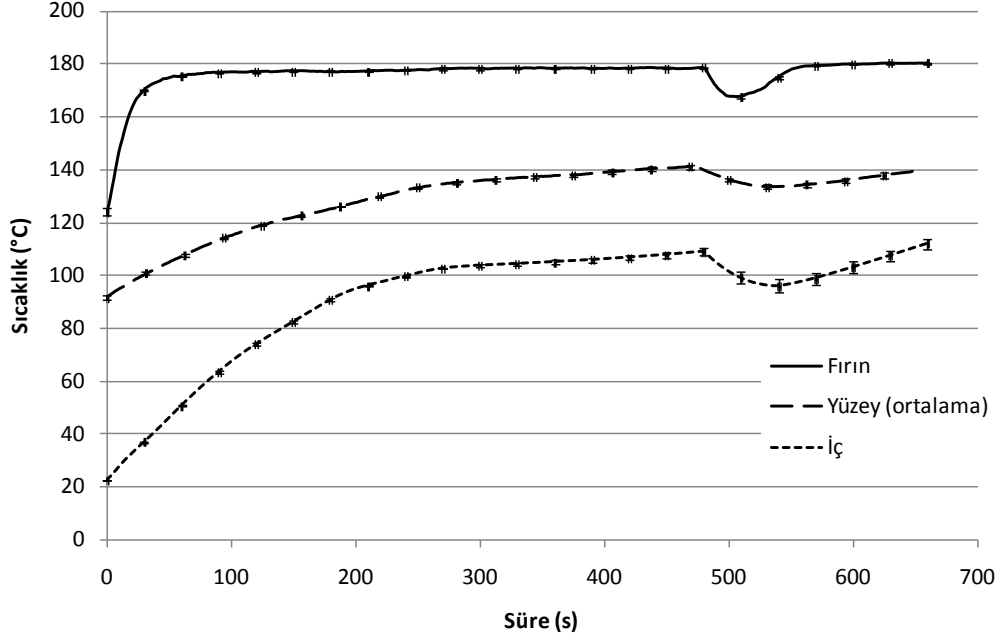


Şekil 4.2. 61 kPa örneğine ait fırın, yüzey ve iç sıcaklık profilleri

41 kPa mutlak basınç altında hazırlanmış olan bisküvi örneğine ait sıcaklık profilleri Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. 41 kPa örneğinde, 61 kPa grubunda olduğu gibi geleneksel fırınlamadan vakum fırınlama işlemine geçildiğinde fırın, yüzey ve iç sıcaklık değerlerinde bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Grafiklerden geleneksel fırınlama işleminden vakum fırınlamaya geçildiğinde bisküvi yüzey ve iç sıcaklıklarının sırası ile 133,6 ve 96,0°C, fırın sıcaklığının ise 167,6°C'ye kadar düştüğü sonucuna ulaşılmaktadır. Vakum uygulamasının etkisi ile azalan fırın sıcaklığının yeniden 180°C'ye ulaşması ise 72 s sürmüştür. Fırınlama işleminin sonunda bisküvi yüzey sıcaklığı 139,5°C ve iç sıcaklığı ise 112,0°C olarak ölçülmüştür.

Vakum fırınlama esnasında bisküvi yüzey sıcaklığı 61 kPa grubunda 135,4 °C, 41 kPa grubunda ise 133,6°C'ye düşmüştür. Bisküvi iç sıcaklıkları karşılaştırıldığında vakum fırınlama esnasında 61 kPa grubu için en düşük iç sıcaklık değeri 99,7 iken 41 kPa grubunda bu değer 96,0°C'dir. Ayrıca vakum fırınlama esnasında fırın sıcaklığı 61 ve 41 kPa grubunda sırası ile 167,8°C ve 167,6°C'ye kadar düşmüştür. Vakum fırınlama esnasında 41 kPa mutlak basınç altında hazırlanan bisküvilerin yüzey ve iç sıcaklıklarında 61 kPa grubuna göre daha fazla

bir azalma görülmektedir. Ayrıca azalan fırın sıcaklığının yeniden 180 °C'ye ulaşması için geçen süre 41 kPa grubunda 61 kPa grubuna kıyasla daha uzundur.



Şekil 4.3. 41 kPa örneğine ait fırın, yüzey ve iç sıcaklık profilleri

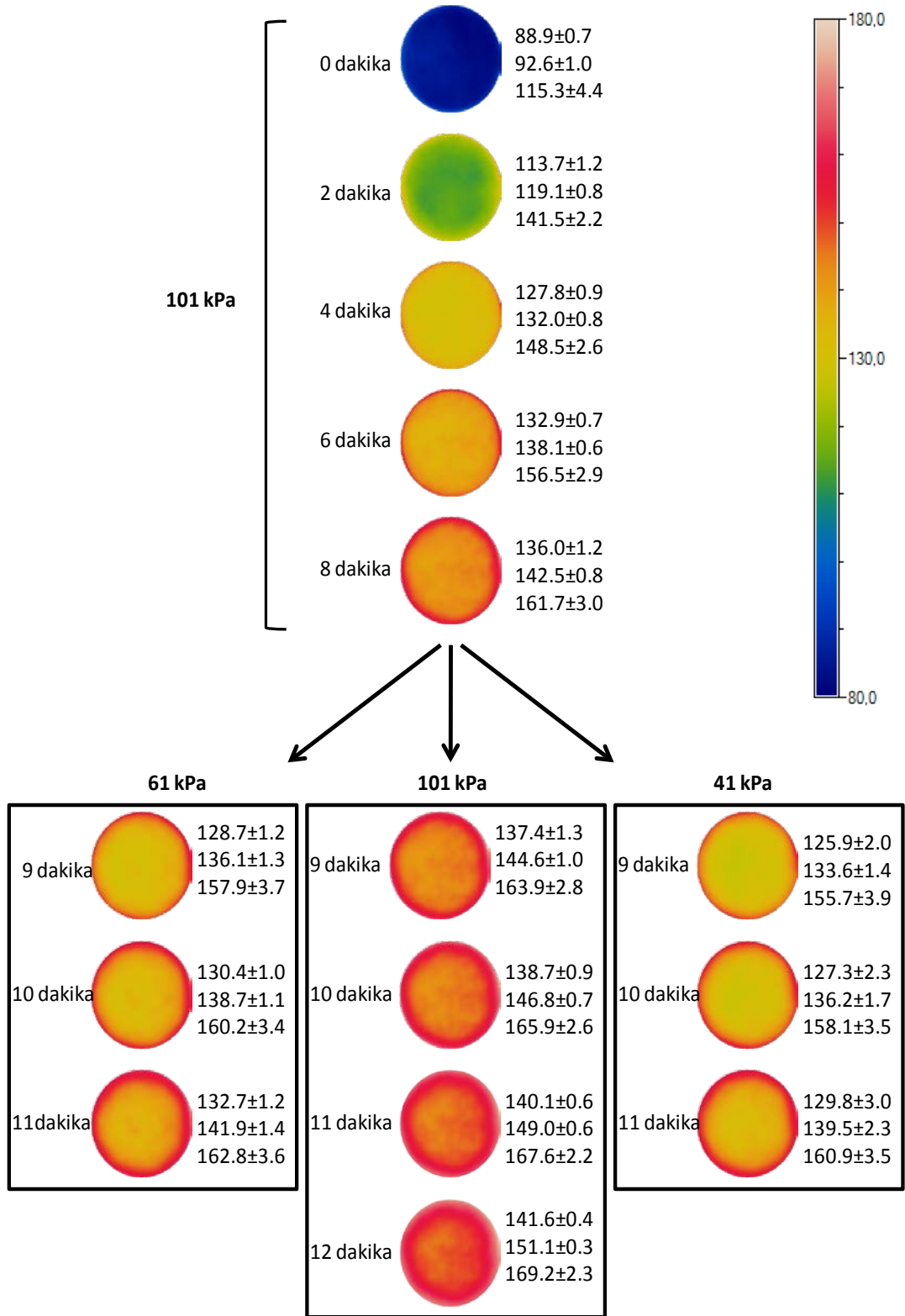
Palazoğlu ve ark. (2015) tarafından geleneksel ve vakum fırınlamanın kombine edildiği çalışmada bisküviler, 205°C sıcaklıkta atmosfer basıncı altında geleneksel fırınlamaya ya da atmosfer basıncı altında kısmen fırılandıktan sonra 40 ve 60 kPa basınç altında vakum fırınlamaya tabi tutulmuştur. Geleneksel ve kombine yöntemle hazırlanan bisküvilerin akrilamid içerikleri yanında fiziksel özellikleri de kıyaslanmıştır. Fırınlama sırasında bisküvi yüzey ve iç sıcaklıkları ısı çift yardımı ile ölçülmüştür. Geleneksel fırınlama boyunca yüzey ve iç sıcaklık değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Fakat vakum fırınlamaya geçilmesi ile yüzey ve iç sıcaklık değerlerinde ani bir düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yüzey sıcaklığının 40 ve 60 kPa basınç altında sırası ile 96 ve 104°C'ye düştüğü bildirilmiştir. Sıcaklıkta meydana gelen bu azalmanın, nemin buharlaşırken çevresinden ısı almasının bir sonucu olduğu belirtilmiştir. Bu etkinin, fırınlama süresinin kısalması ile beraber akrilamid oluşumunu sınırladığı ve son üründe akrilamid miktarında önemli bir azalmaya sebep olduğu ifade edilmiştir [47].

#### 4.1.1. Termal Kamera ile Sıcaklık Ölçümü

Bisküvilerin fırınlanması sırasında termal kamera ile kaydedilen görüntüler ile bisküvi yüzeyinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri Şekil 4.4.'te verilmiştir. Kombine yöntem ile fırınlamanın ilk 8 dakikasının kontrol şartları (101 kPa) altında gerçekleştirilmesi sebebi ile Şekil 4.4.'te her üç örnek grubu için fırınlamanın ilk 8 dakikası ortak gösterilmiştir. 8 dakika sonunda ise 101, 61 ve 41 kPa şeklinde her üç grup ayrı ayrı şematize edilmiştir. Şekilde ayrıca bisküvi yüzeyinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri yanında mavi renkten kırmızı renge doğru değişen 80-180°C sıcaklık aralığını ifade eden sıcaklık skalası görölmektedir.





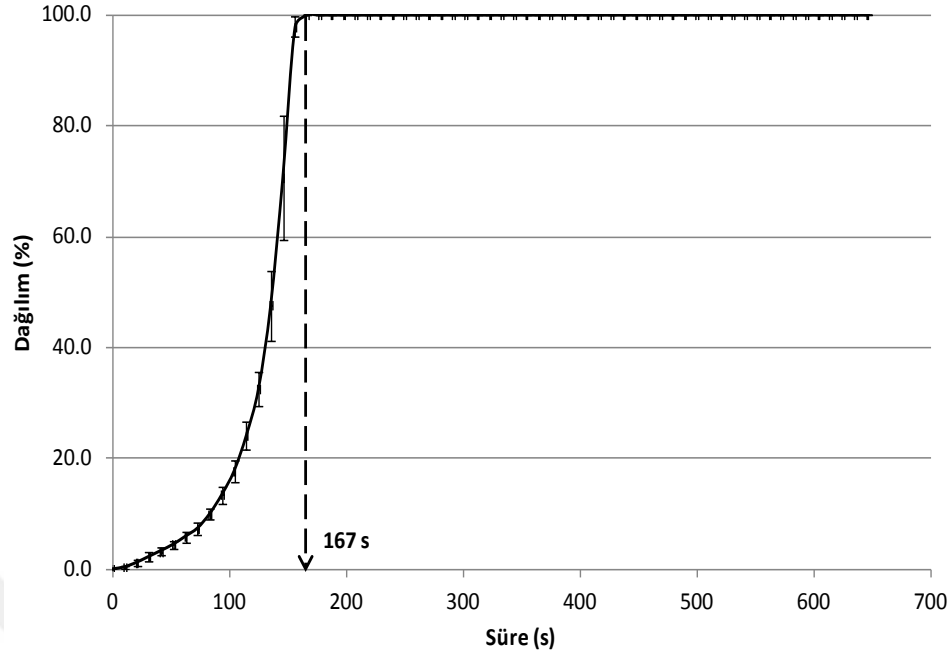


Şekil 4.4. Termal sıcaklık ölçümü sonucu elde edilen görüntüler ve sıcaklık değerleri

Şekil 4.4.'te fırınlama işleminin ilerlemesi ve yüzey sıcaklığının artış göstermesi ile yüzey renginin maviden kırmızıya doğru değiştiği görülmektedir. 8 dakika sonunda geleneksel fırınlamadan vakum fırınlamaya geçiş ile birlikte kontrol örneğinin kırmızı renk yoğunluğunda artış devam etmekte fakat 41 ve 61 kPa örneklerinde kırmızı renk yoğunluğunun azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca kırmızı renk yoğunluğundaki azalma eğilimi, daha düşük basınç altında hazırlanan 41 kPa grubunda 61 kPa grubuna göre daha iyi korunmaktadır.

Fırınlamanın ilk aşamasında  $92,6 \pm 1,0$  °C olan ortalama yüzey sıcaklığının geleneksel fırınlama işleminin 8. dakikasında  $142,5 \pm 0,8$  °C değerine ulaştığı görülmektedir. Kontrol grubunda ortalama yüzey sıcaklığı artarak fırınlama işlemi sonunda (12 dakika)  $151,1 \pm 0,3$  °C'ye ulaşmaktadır. Fakat vakum fırınlama işlemine geçilmesi ile geleneksel fırınlama sonunda  $142,5 \pm 0,8$  °C olan ortalama yüzey sıcaklığı 61 kPa grubunda  $136,1 \pm 1,3$  °C ve 41 kPa grubunda ise  $133,6 \pm 1,4$  °C'ye düşmüştür. Ortalama yüzey sıcaklığında meydana gelen azalmanın, 61 kPa grubuna kıyas ile 41 kPa grubunda daha belirgin olduğu görülmektedir. Ayrıca 11 dakika sonunda 61 kPa örneğinin ortalama yüzey sıcaklığı  $141,9 \pm 1,4$  °C, 41 kPa örneğinin ortalama yüzey sıcaklığının ise  $139,5 \pm 2,3$ °C olduğu görülmektedir.

Gıdalarda akrilamid oluşumu için 120°C kritik sıcaklık olarak kabul edilmekte, özellikle asparajin aminoasidi ve indirgen şeker varlığında 120°C üzerindeki sıcaklıklarda akrilamid oluştuğu bildirilmektedir [56]. Şekil 4.5.'te sıcaklığı 120°C ve üzerinde olan örnek yüzeyindeki piksel sayısının toplam piksel sayısına oranı “% dağılım” olarak verilmiştir. Bisküvi yüzeyinde %100 dağılım oranına ne kadar sürede ulaşıldığı her bir örnek grubu için incelenmiştir. Burada dağılım değerinin %100 olması, bisküvi yüzeyinin tamamının 120°C ve üzerinde olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 4.5.'te verilmiş olan grafiğe bakıldığında, bisküvi yüzeyinin tamamında sıcaklığın 167 s sonunda 120°C'ye ulaştığı görülmektedir. Bu sonuçtan, akrilamid oluşumu için kritik sıcaklık olarak kabul edilen 120°C'ye bisküvinin yüzeyinde fırınlamanın daha ilk aşamalarında ulaşıldığı ve yüzey sıcaklığının fırınlama işleminin sonuna kadar bu değerin üzerinde devam ettiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.5 Sıcaklığı 120°C üzerinde olan bisküvi yüzey alanının tüm bisküvi yüzey alanına oranı

#### 4.2. ISI TRANSFER KATSAYISI

Çizelge 4.1.'de verilmiş olan ısı transfer katsayılarına bakıldığında kontrol grubunu oluşturan 101 kPa basınç altında ısı transfer katsayısının siyah bisküvi modelinde  $21,10 \pm 0,17$  (W/m<sup>2</sup>K) olduğu görülmektedir.

Saidi ve Abardeh (2010) kısmi vakum fırınlama işleminin ısı transfer katsayısını azaltarak konvektif ısı transferinde önemli bir azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir [57]. Çizelge 4.1.'de verilen sonuçlar değerlendirildiğinde vakum fırınlama işlemi ile birlikte ısı transfer katsayılarında bir azalma olduğu görülmektedir. Siyah bisküvi modeli göz önüne alındığında 61 ve 41 kPa gruplarının ısı transfer katsayısında kontrol grubuna göre yaklaşık %6 ve %16 oranında bir azalma meydana gelmiştir.

Sakin ve ark. (2009) fırınlama sırasında ısı transfer katsayısını radyatif ve konvektif ısı transferi toplamı olarak kombine ısı transfer katsayısı şeklinde hesaplamışlardır. Kombine ısı transfer katsayısı lumped kapasitans ve sıcaklık-zaman eşleştirme yöntemleri ile fansız fırında sırası ile 11 ve 20 W/m<sup>2</sup>K olarak bulunmuştur

[58]. Çalışmada elde edilen ısı transfer katsayısı değerleri bu çalışma ile kıyaslandığında ısı transfer katsayılarının benzer olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1.'de parlak ve siyah bisküvi modelleri kullanılarak elde edilen ısı transfer katsayıları arasında fark olduğu dikkat çekmektedir. Isı transfer katsayısının ölçümü için verilen metodda parlak bisküvi modeli için emisivite değerinin 0,03 ve siyah bisküvi modeli için emisivite değerinin ise 0,95 olduğu ifade edilmiştir. Emisivite değerinin 0,03 olması radyasyon etkisinin önemsiz olduğu anlamına gelmektedir. Emisivite değerleri göz önüne alındığında siyah bisküvi modeli kullanılarak elde edilen ısı transfer katsayısı kombine ısı transfer katsayısını ifade etmektedir. İki model kullanılarak elde edilen ısı transfer katsayıları arasındaki fark ise radyasyon etkisiyle meydana gelen ısı transfer etkisini açıklamaktadır.

Çizelge 4.1. Lumped kapasitans yöntemi ile belirlenen ısı transfer katsayıları

Basınç (kPa)	Siyah bisküvi modeli (W/m <sup>2</sup> K)	Parlak bisküvi modeli (W/m <sup>2</sup> K)
101	21,10 ± 0,17	11,52 ± 0,30
61	19,90 ± 0,04	9,57 ± 0,48
41	17,67 ± 0,10	8,57 ± 0,41

### 4.3. BİSKÜVİ ÖRNEKLERİNDE YAPILAN FİZİKSEL ANALİZLER

#### 4.3.1. Fiziksel Analiz

Kontrol, 61 kPa ve 41 kPa örnek gruplarının çap ve kalınlık değerlerinin ölçülmesi ile Çizelge 4.2.'deki sonuçlar elde edilmiştir. Çapın kalınlığa bölünmesi ile elde edilen yayılma oranı değeri de aynı çizelgede yer almaktadır. Çalışmada bisküvi hamuru 3 mm kalınlık ve 50 mm çapa sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Fırınlama sonrası tüm örnek gruplarında kalınlık en az iki kat artarak kontrol, 61 ve 41 kPa gruplarında sırası ile 6,631, 6,324 ve 6,125 mm'ye ulaşmıştır. Kalınlıkta en fazla artış kontrol grubunda görülmekte olup bunu 61 kPa örnek grubu izlemektedir. Örnek grupları arasında bisküvi çapları kıyaslandığında çapta en fazla değişimin 41 kPa grubunda ve en az değişimin ise kontrol grubunda olduğu görülmektedir.

Çap ve kalınlık değerleri için yapılan istatistiksel analiz sonucunda örnekler arasındaki farkın anlamlı olduğu bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Ayrıca 61 ve 41 kPa basınç altında hazırlanan bisküvilerin çapları arasında önemli bir fark bulunmazken bu örneklerin her birinin kontrol grubuna göre çapları arasında anlamlı bir fark olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Fiziksel analizler sonucunda elde edilen bir diğer değer ise çapın kalınlığa bölünmesiyle elde edilen yayılma oranıdır. Bu değer pişirme işlemi sırasında hamurun ne kadar yayıldığını ifade etmektedir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda yayılma oranının 41 ve 61 kPa örnekleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark göstermediği ( $p > 0,05$ ) fakat bu örneklerin kontrol örneklerinden istatistiksel açıdan önemli derecede farklı olduğu görülmektedir ( $p < 0,05$ ). Yayılma oranı sonuçlarına bakıldığında kombine yöntem ile hazırlanmış örneklerin kontrol grubuna göre daha fazla yayıldığı ve yayılmanın vakum etkisi ile meydana geldiği düşünülebilir.

Çizelge 4.2. Kontrol, 61 ve 41 kPa örneklerinin çap ve kalınlık değerleri

Örnek	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Yayılma oranı
Kontrol	$50,023 \pm 0,733^a$	$6,631 \pm 0,198^a$	$7,545 \pm 0,196^a$
61 kPa	$50,754 \pm 0,521^b$	$6,324 \pm 0,210^b$	$8,030 \pm 0,208^b$
41 kPa	$50,652 \pm 0,583^b$	$6,125 \pm 0,196^c$	$8,273 \pm 0,228^b$

\*Aynı harflerle gösterilen üst indisler istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığını belirtmektedir.

#### 4.3.2. Renk Analizi

Kontrol, 61 ve 41 kPa örnek gruplarının dijital renk analizi sonucunda elde edilen  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ve  $\Delta E^*$  değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Fırın ürünlerinde renk gelişimi kahverengileşme olarak bilinir ve kahverengileşme ile  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerleri arasında bir korelasyon bulunmaktadır.  $L^*$  (açıklık) değerinin azalması ve  $a^*$  (kırmızılık),  $b^*$  (sarılık) değerlerinin artması kahverengileşmenin meydana geldiğini ifade etmektedir [8]. En düşük  $L^*$  değeri kontrol grubunda (50,772), en yüksek  $L^*$  değeri ise 41 kPa grubunda (55,177)

görülmekte olup kontrol grubunun kombine yöntem ile hazırlanan örneklerle göre daha koyu olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Yapılan istatistiksel analizde örnek grupları arasında  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerleri yönünden anlamlı bir fark olduğu sonucu bulunmuştur ( $p < 0,05$ ).  $L^*$  değeri açısından kontrol, 61 ve 41 kPa örnekleri arasında farkın anlamlı ( $p < 0,05$ ) olduğu görülürken 41 ve 61 kPa örneklerinin  $L^*$  değeri açısından farkı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır ( $p > 0,05$ ).  $a^*$  değerine bakıldığında kontrol ve 61 kPa grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken ( $p > 0,05$ ) kontrol ve 41 kPa grubu arasında farkın önemli olduğu görülmektedir ( $p < 0,05$ ). Fakat 41 ve 61 kPa grupları  $a^*$  değeri yönünden benzer bulunmuştur ( $p > 0,05$ ).

Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanan  $\Delta E^*$  değerlerinin örnek grupları arasında farklılık gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır ( $p < 0,05$ ). En büyük  $\Delta E^*$  değeri kontrol grubunda (16,220) görülmekte ve bu en fazla renk değişimin kontrol grubunda meydana geldiğini ifade etmektedir.  $\Delta E^*$  değeri açısından 61 ve 41 kPa grupları arasında farkın istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı ( $p > 0,05$ ) fakat bu iki grubun kontrol grubundan önemli ölçüde farklı olduğu ( $p < 0,05$ ) görülmektedir.  $\Delta E^*$  değerinin 61 ve 41 kPa grupları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark göstermediği toplam renk değişiminin bu gruplar arasında benzer olduğunu ifade etmektedir. Fakat kontrol grubunun toplam renk değişimi 61 ve 41 kPa örnek gruplarına göre farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Dijital renk analiz sonuçları

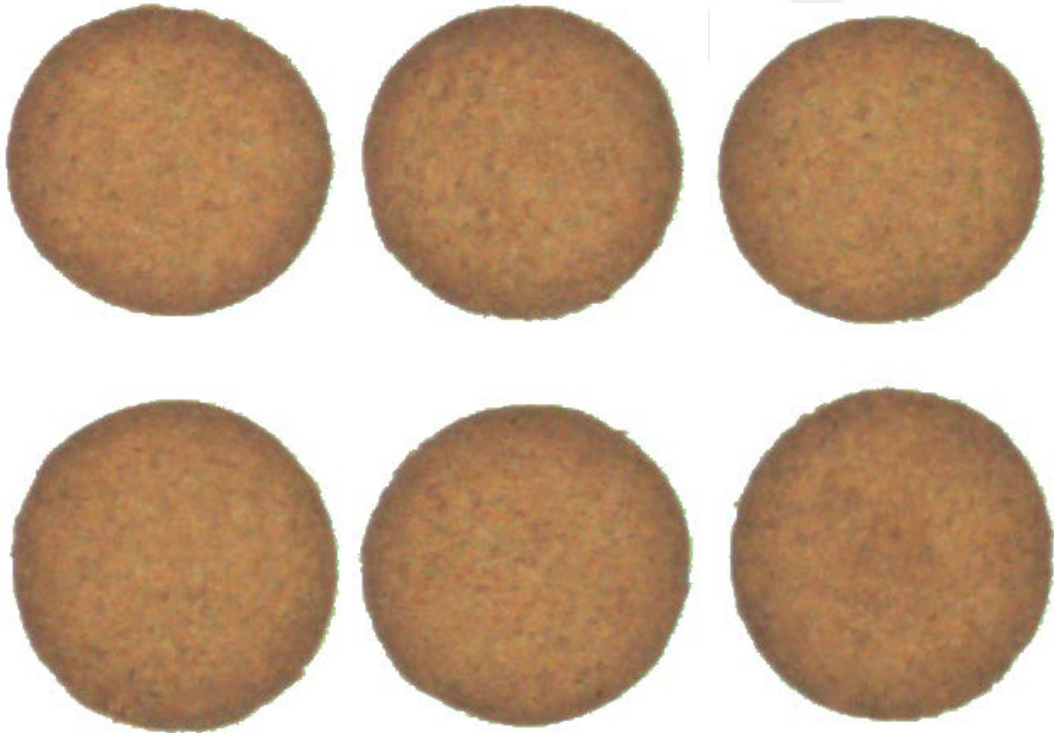
Örnek	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$
<b>Kontrol</b>	$50,772 \pm 1,008^a$	$13,407 \pm 0,470^a$	$29,622 \pm 0,750^a$	$16,220 \pm 1,006^a$
<b>61 kPa</b>	$53,842 \pm 1,037^b$	$13,882 \pm 0,957^{ab}$	$32,768 \pm 0,807^b$	$13,237 \pm 0,967^b$
<b>41 kPa</b>	$55,177 \pm 0,778^b$	$14,895 \pm 0,570^b$	$33,930 \pm 0,721^c$	$12,651 \pm 0,569^b$

\*Aynı harflerle gösterilen üst indisler istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığını belirtmektedir.

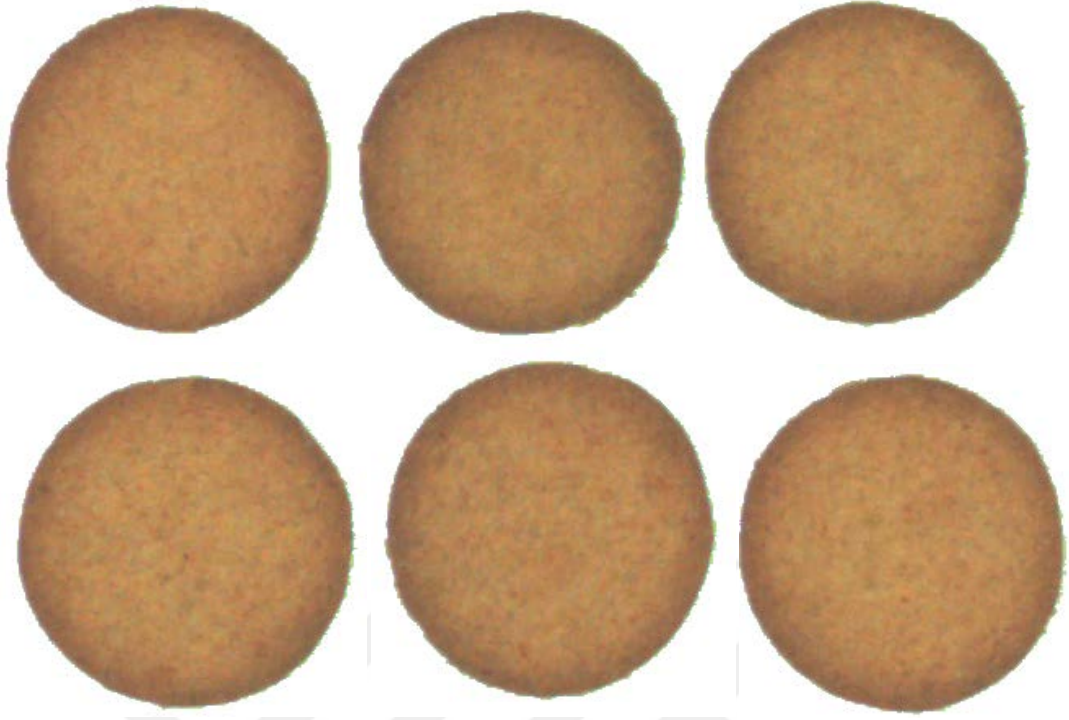
Gökmen ve Mogol (2010) tarafından patates kızartması ve fırın ürünlerinde akrilamid oluşumunu belirlemek amacı ile bir görüntü analiz tekniğinin geliştirildiği çalışmada esmerleşme ve akrilamid oluşumu arasındaki ilişki ortaya konulmuştur [59]. Sonuçlar kombine yöntemde daha az esmerleşme meydana geldiğini ve kombine yöntem ile hazırlana bisküvilerin akrilamid içeriğinin daha düşük olduğunu ifade etmektedir.

İşleroğlu ve ark. (2012) fırın ürünlerinde akrilamid içeriği ve yüzey renk gelişimi arasında güçlü bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Fırınlama sırasında farklı sıcaklık ve fırınlarda zamanın fonksiyonu olarak HunterLab renk parametrelerinden kahverengileşme indeksi (BI) değerleri hesaplanmıştır. Deney sonuçlarında tüm fırın tiplerinde BI değerleri ve akrilamid oluşumu arasında pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada BI değerinin kurabiyelerde akrilamid konsantrasyonu için güvenilir bir indikatör olabileceği ifade edilmiştir [60].

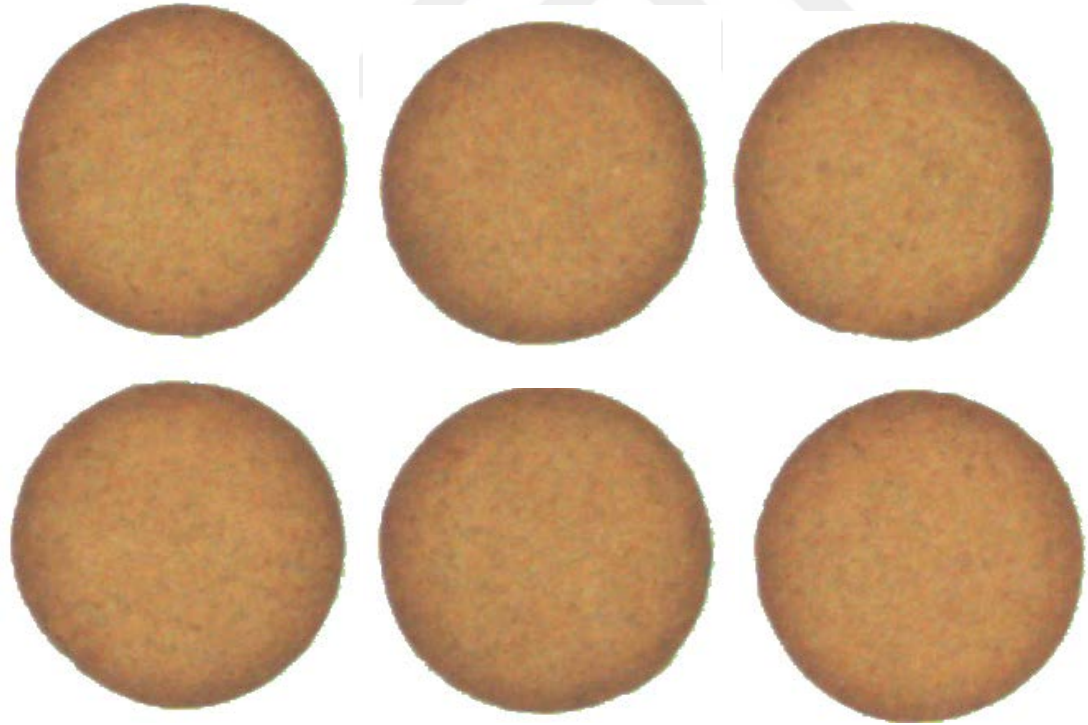
Şekil 4.6., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de dijital renk analizinde kullanılan kontrol, 61 ve 41 kPa gruplarına ait görüntüler yer almaktadır.



Şekil 4.6. Dijital renk analizinde kullanılan kontrol örnekleri



Şekil 4.7. Dijital renk analizinde kullanılan 61 kPa örnekleri



Şekil 4.8. Dijital renk analizinde kullanılan 41 kPa örnekleri



#### 4.3.3. Tekstür Analizi

Yapılan tekstür analizi sonucunda bisküvi örneklerine ait  $F_{max}$  (N), maksimum kuvvetin görüldüğü deformasyon (mm) ve  $F_{max}-F_{min}$  arasındaki deformasyon (mm) değerleri Çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Tekstür analizi sonucunda elde edilen  $F_{max}$  (N) değeri sertliği ifade etmektedir. Örneklerin  $F_{max}$  değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunamamış dolayısıyla kontrol, 41 kPa ve 61 kPa örnekleri sertlik özelliği yönünden benzer bulunmuştur.

Tekstür analizi sonucunda elde edilen bir diğer değer olan maksimum kuvvetin görüldüğü deformasyon (mm) değerine bakıldığında bisküvi örneklerinin deformasyon değerleri istatistiksel açıdan benzer bulunmuştur. Maksimum kuvvetin görüldüğü deformasyon değeri kırılmalık ile ilişkilendirilmekte ve örneklerin kırılmalık özelliklerinin benzer olduğu görülmektedir.

Maksimum ve minimum kuvvetin görüldüğü deformasyon değerleri arasındaki fark (mm) yapılan istatistik sonrası her üç grup için de benzer bulunmuştur ( $p>0,05$ ). Maksimum ve minimum kuvvetin görüldüğü deformasyon değerleri arasındaki fark sonuçları ağızda dağılma ile ilişkilendirilmiştir. Bu değerlerin büyük olması kırılan parçaların birbirinden daha geç ayrıldığı, küçük olması ise kırılan parçaların birbirinden hızla ayrıldığı anlamına gelmektedir. Maksimum ve minimum kuvvetin görüldüğü deformasyon değerleri arasındaki fark büyük olması ağızda dağılmanın zayıf, küçük olması ise ağızda dağılmanın yüksek olduğunu ifade etmektedir. Analizler sonucu elde edilen verilere bakıldığında ağızda dağılma ile ilişkilendirilen  $F_{max}$  ve  $F_{min}$  arasındaki deformasyon (mm) değerleri arasında anlamlı bir fark bulunamaması ( $p>0,05$ ) her üç grubun ağızda dağılma özelliklerinin benzer olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 4.4. Bisküvi örneklerine ait tekstür analiz sonuçları

Örnek	F <sub>max</sub> (N)	Deformasyon (mm)	F <sub>max</sub> ve F <sub>min</sub> arasındaki deformasyon (mm)
Kontrol	15,970 ± 2,127 <sup>a</sup>	0,533 ± 0,294 <sup>a</sup>	3,056 ± 1,494 <sup>a</sup>
61 kPa	16,758 ± 1,807 <sup>a</sup>	0,427 ± 0,164 <sup>a</sup>	2,838 ± 1,226 <sup>a</sup>
41 kPa	15,978 ± 4,579 <sup>a</sup>	0,360 ± 0,088 <sup>a</sup>	1,598 ± 0,205 <sup>a</sup>

\*Aynı harflerle gösterilen üst indisler istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığını belirtmektedir.

#### 4.3.4. Nem Tayini

Kontrol, 61 ve 41 kPa örnek gruplarına ait nem değerleri Çizelge 4.5.'te verilmiştir. Kontrol, 61 ve 41 kPa gruplarına ait bisküvi örneklerinin son nem içerikleri %3-3,5 bulunmuştur. Palazoğlu ve ark. (2015) bisküvi gibi ürünlerde istenen son nem içeriğinin yaklaşık %3 olduğunu bildirmişlerdir [51]. Yapılan nem analizi sonucunda en yüksek nem değeri kontrol örneğinde (%3,47) görülürken en düşük nem değeri 41 kPa basınç şartları altında hazırlanan örnekte (%3,08) görülmektedir. Kombine yöntem ile hazırlanan bisküvi nem içeriğinin daha düşük çıkması, basınç azalması ile üründe mevcut suyun kaynama noktasının düşmesi böylece üründeki nemin çok daha hızlı bir şekilde uzaklaşması ile açıklanır.

Çizelge 4.5. Bisküvi örneklerine ait nem değerleri

Örnek	Nem (%)
Kontrol	3,47 ± 0,23
61 kPa	3,39 ± 0,21
41 kPa	3,08 ± 0,83

#### 4.3.5. Duyusal Analiz

Dokuzlu hedonik skala kullanılarak yapılan duyusal analizde panelistlerden örnekleri renk, sertlik, ağızda dağılma, lezzet ve genel beğeni özellikleri yönünden değerlendirmeleri istenmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına ait değerler Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kontrol, 61 ve 41 kPa örnek gruplarına ait duyusal analiz sonuçları

	<b>Kontrol</b>	<b>61 kPa</b>	<b>41 kPa</b>
<b>Renk</b>	6,833 ± 1,193 <sup>a</sup>	4,250 ± 1,055 <sup>b</sup>	4,167 ± 1,193 <sup>b</sup>
<b>Sertlik</b>	5,667 ± 1,371 <sup>a</sup>	4,917 ± 0,793 <sup>a</sup>	5,333 ± 1,155 <sup>a</sup>
<b>Ağızda dağılma</b>	4,583 ± 1,564 <sup>a</sup>	5,083 ± 1,379 <sup>a</sup>	5,750 ± 1,288 <sup>a</sup>
<b>Lezzet</b>	5,417 ± 1,443 <sup>a</sup>	6,250 ± 1,658 <sup>a</sup>	6,583 ± 0,996 <sup>a</sup>
<b>Genel Beğeni</b>	5,583 ± 0,996 <sup>a</sup>	6,167 ± 1,586 <sup>a</sup>	6,250 ± 1,288 <sup>a</sup>

\*Aynı harflerle gösterilen üst indisler istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığını belirtmektedir.

Yapılan istatistiksel analiz sonucu örnek grupları sadece renk özelliği yönünden farklı bulunurken ( $p < 0,05$ ) örnekler arasında diğer özellikler açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p > 0,05$ ). Renk özelliği açısından 61 ve 41 kPa basınç altında hazırlanmış olan örnek grupları istatistiksel olarak benzer bulunurken bu iki örnek grubu kontrol grubundan farklılık göstermektedir. Duyusal analiz sonucu elde edilen renk verileri dijital renk analiz sonuçları ile kıyaslandığında aralarında bir korelasyon olduğu görülmektedir. Dijital renk analizinde toplam renk değişimini ifade eden  $\Delta E^*$  değerinin 61 ve 41 kPa gruplarında benzer olduğu fakat bu iki grup ve kontrol grubu arasındaki farkın anlamlı olduğu görülmüştür.

#### 4.4. BİSKÜVİ ÖRNEKLERİNDE YAPILAN KİMYASAL ANALİZLER

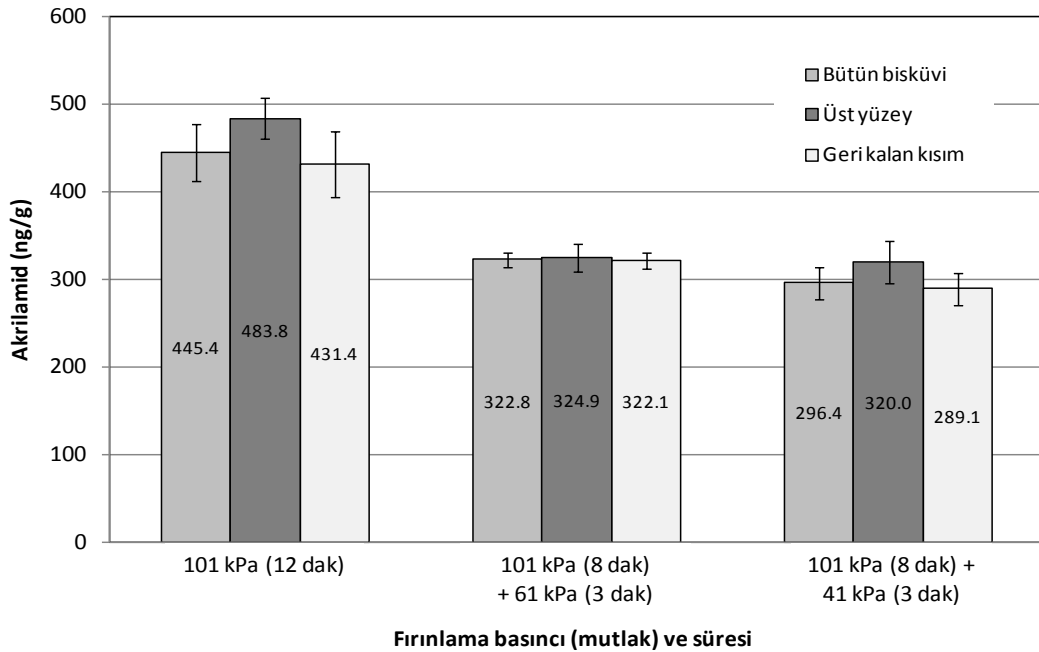
##### 4.4.1. LC-MS ile Akrilamid Analizi

Yapılan akrilamid analizi sonucu kontrol, 61 ve 41 kPa gruplarına ait akrilamid değerleri Şekil 4.9.'da verilmiştir. Kontrol grubunu oluşturan 101 kPa grubunda toplam akrilamid içeriği 445,355 (ng/g) iken geleneksel ve vakum

fırınlama kullanılarak hazırlanan 61 ve 41 kPa örneklerinin toplam akrilamid içerikleri sırası ile 322,759 (ng/g) ve 296,429 (ng/g) bulunmuştur. Kontrol grubunun toplam akrilamid içeriği ile kıyaslandığında 61 ve 41 kPa gruplarının toplam akrilamid içeriklerinde sırası ile %27 ve %33 oranında bir azalma meydana geldiği görülmektedir.

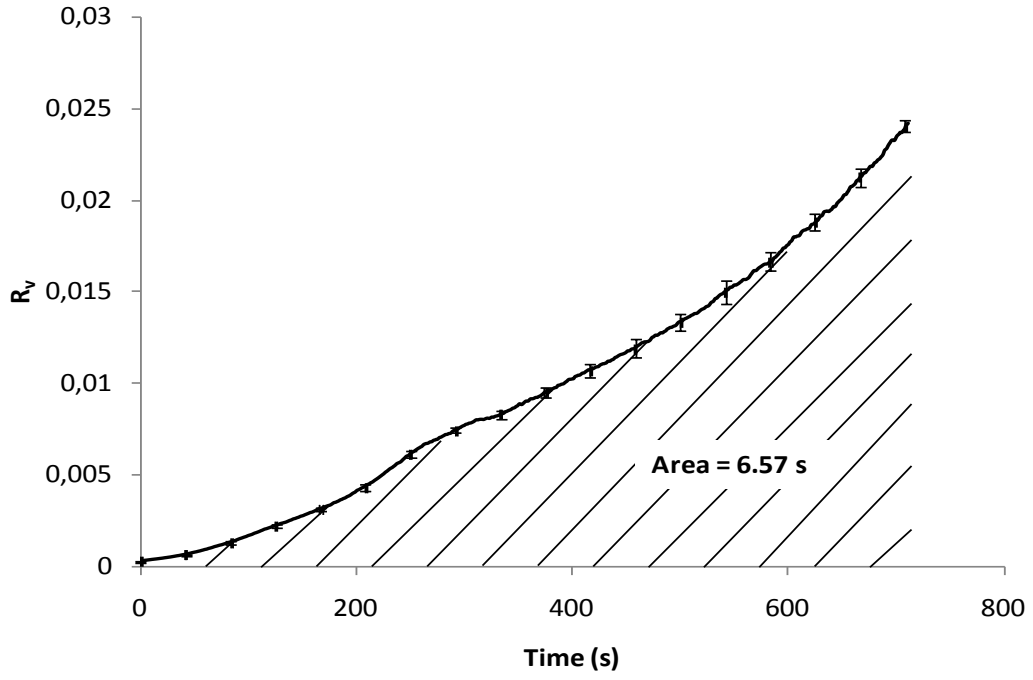
Bisküvilerin üst yüzey akrilamid içerikleri ise kontrol grubunda 483,8 (ng/g), 61 kPa grubunda 324,9 (ng/g), 41 kPa grubunda 320,0 (ng/g) bulunmuştur. Üst yüzey akrilamid oranları karşılaştırıldığında ise kontrol grubuna göre 61 ve 41 kPa gruplarında sırası ile %33 ve %34 oranında azalma meydana gelmiştir.

Palazoğlu ve ark. (2015) tarafından bisküvilerin akrilamid içerikleri üzerine geleneksel ve vakum fırınlama işleminin etkisinin incelendiği çalışmada 205°C sıcaklıkta 60 kPa ve 40 kPa vakum şartları kullanılmıştır. Bu şartlar altında hazırlanan bisküvilerde 60 ve 40 kPa örneklerinin akrilamid içeriklerinin kontrol grubuna göre sırası ile %45 ve %53 oranında azaldığı bildirilmiştir [51].

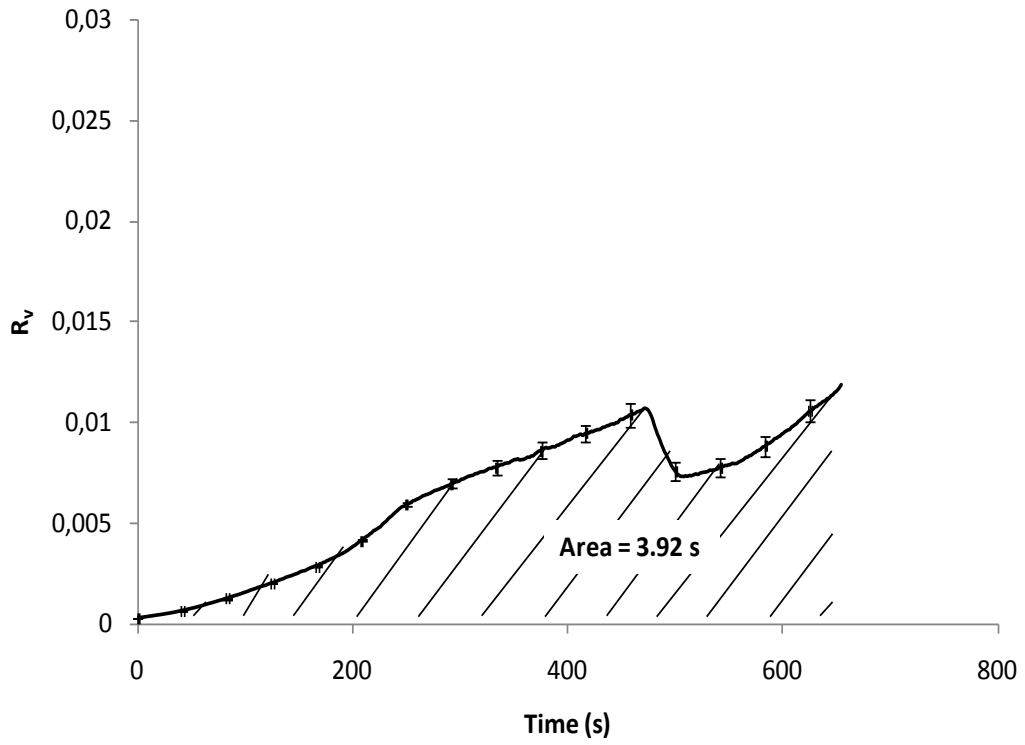


Şekil 4.9. Geleneksel-vakum fırınlamayla hazırlanmış bisküvilerin akrilamid içerikleri

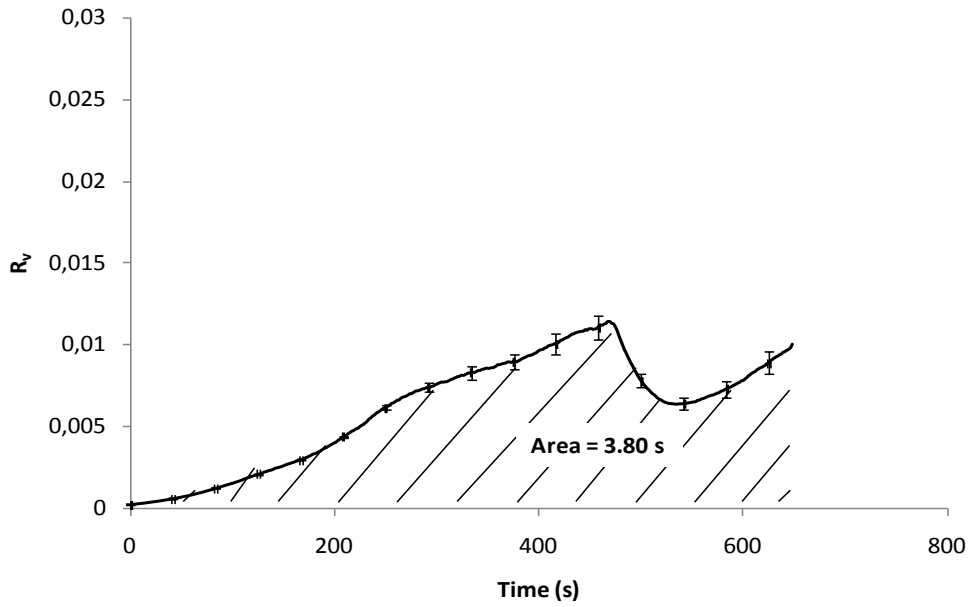
Bu çalışmada Gökmen ve Açar (2010) tarafından toplam risk hesaplaması için geliştirilen yaklaşım kullanılarak geleneksel ve kombine yöntem ile fırınlama için toplam risk değerleri hesaplanmıştır. Kontrol grubu için toplam risk değeri 6,57 s, 61 kPa grubu için 3,92 s ve 41 kPa grubu için ise 3,80 s bulunmuştur. Şekil 4.10., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de sırası ile kontrol, 61 ve 41 kPa gruplarına ait toplam risk değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Kontrol grubuna ait toplam risk değeri



Şekil 4.11. 61 kPa grubuna ait toplam risk değeri



Şekil 4.12. 41 kPa grubuna ait toplam risk değeri

Buradan elde edilen sonuçlar kontrol grubu için yorumlandığında, 180°C’de 12 dakika fırınlama işleminin akrilamid oluşumu açısından yarattığı termal etkinin 200°C’de 6,57 s’ye eşdeğer olduğu söylenebilir. Burada; 180°C’nin fırın sıcaklığı, 200°C’nin ise bisküvi sıcaklığı olduğu unutulmamalıdır. Gökmen ve Açar (2010) tarafından risk değerleri 150, 200 ve 250°C sıcaklıklar için 6,29, 0,20 ve 0,03 dakika bulunmuştur [19].



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada geleneksel ve vakum fırınlama tekniğinin kombine edilmesi ile bisküvilerde akrilamid seviyesini azaltacak yeni bir teknoloji araştırılmıştır. Yapılan akrilamid analizleri sonunda kombine yöntemin geleneksel fırınlama işlemine göre akrilamid içeriğinde yaklaşık %30 oranında bir azalma sağladığı görülmüştür. Geleneksel fırınlama yönteminin vakum fırınlama ile kombine edilmesi, bisküvi yüzey ve iç sıcaklığında belirgin bir azalma sağlamıştır. Ayrıca kombine yöntemde vakum uygulaması ile fırın havasının alınması, konvektif ısı transferini sınırlayarak ısı transfer katsayısının düşmesine neden olmuştur. Bunun yanında kombine yöntem ile fırınlama bisküvilerde hedef nem içeriğine ulaşmak için gerekli pişirme süresini 1 dakika kısaltmıştır. Bisküvi yüzey ve iç sıcaklığındaki düşüş, ısı transfer katsayısının azalması ve fırınlama süresinin 1 dakika kısalması bisküvilerde akrilamid oluşumunu önemli ölçüde sınırlandırmıştır.

Kontrol, 61 ve 41 kPa gruplarının toplam akrilamid değerlerine bakıldığında akrilamid içeriklerinin benzer çalışmalarda verilen sonuçlardan yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Palazoğlu ve ark. (2015) tarafından geleneksel ve vakum fırınlama yönteminin kombine edildiği çalışmada fırın sıcaklığı 205°C ve kombine yöntemde kullanılan basınç değerleri 60 ve 40 kPa'dır. Bisküvi kalınlığı 7 mm olup bisküviler son nem içerikleri yaklaşık %8 olana denk fırınlanmıştır. Akrilamid içerikleri kontrol, 60 ve 40 kPa grupları için sırası ile 57,4 (ng/g), 31,8 (ng/g) ve 27,1 (ng/g) bulunmuştur [19]. Bu çalışmada akrilamid sonuçlarının benzer çalışmalardaki akrilamid içeriklerinden yüksek olması bisküvi hamur kalınlığının 3 mm olmasıyla açıklanabilir. Hamur kalınlığının az olması kurumanın daha hızlı gerçekleşmesine olanak sağlar. Ayrıca bu çalışmada bisküviler %3-3,5 nem içeriğine ulaşıncaya kadar fırınlanmıştır.

Bisküvilerde akrilamid analizi dışında fiziksel analizler de gerçekleştirilmıştir. Fiziksel analiz sonucu kombine yöntem ile hazırlanan bisküvilerin kontrol grubuna göre daha fazla yayıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Dijital renk analiz sonuçlarında toplam renk değimini ifade eden  $\Delta E^*$  değerinin kontrol grubu için en yüksek olduğu görülmüştür. Sertlik, kırılganlık ve ağızda dağılma ile ilişkilendirilen tekstür özellikleri üç örnek grubundaki bisküviler için de benzer



bulunmuştur. Ayrıca duysal analiz sonuçlarının tekstür analiz sonuçları ile paralel olduğu gözlemlenmiştir. Kombine yöntem ile hazırlanan bisküviler duysal analiz sonucu sadece renk özelliği açısından kontrol grubundan farklı bulunmuştur.

Çalışmada elde edilen bulgular göz önüne alındığında kombine yöntem ile elde edilen bisküvilerin akrilamid içeriklerinde belirgin bir azalma meydana geldiği ve fiziksel özellikler yönünden kabul edilebilir olduğu görülmektedir. Kombine yöntem ile elde edilen bisküvi örneklerinin hem akrilamid gibi ısıl işlem kontaminantları yönünden hem daha az risk teşkil ettiği hem de tüketici taleplerini karşılayabilecek özellikler taşıdığı görülmektedir. Önerilen proses modifikasyonunun, bisküvi benzeri fırıncılık ürünlerinde akrilamid oluşumunun sınırlandırılması açısından umut verici olduğu düşünölmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Bilgin, M. "Bisküvi Sektör Profili", İstanbul Ticaret Odası Dış Ticaret Şubesi Uygulama Servisi, 1-5 s., (2006).
- [2] Alpözen, E., " İzmir Gevreğinde Akrilamid Düzeylerinin Belirlenmesi ve Pişirme Koşullarının Akrilamid Oluşumu Üzerine Etkileri", Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1-3 s., (2012).
- [3] Van Der Fels-Klerx, H.J., Capuano, E., Nguyen, H.T., Mogol, B., Kocadağlı, T., Taş, N., Hamzalıoğlu, A., Gökmen, V., "Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation during baking of biscuits: NaCl and temperature–time profile effects and kinetics", Food Research International, 57: 210–217, (2014).
- [4] Anese, M., Suman, M., Nicoli, M.C., "Technological Strategies to Reduce Acrylamide Levels in Heated Foods", Food Eng Rev, 1:169–179, (2009).
- [5] Gökmen, V., Mogol, B., "Mitigation of acrylamide and hydroxymethylfurfural in biscuits using a combined partial conventional baking and vacuum post-baking process: Preliminary study at the lab scale", Innovative Food Science and Emerging Technologies; 26: 265–270, (2014).
- [6] Anonim, "Information on ways to lower the levels of acrylamide formed in food ", Note of the Meeting of Experts on Industrial Contaminants in Food: Acrylamide Workshop, (2003).
- [7] Palazoğlu, T.K., Koklamaz, E., Kocadağlı, T., Gökmen, V., "Effect of combining conventional frying with radio-frequency post-drying on acrylamide level and quality attributes of potato chips", JSci Food Agric ; 94: 2002–2008, (2014).
- [8] Palazoğlu, T.K., Coşkun, Y., Kocadağlı, T., Gökmen, V., "Effect of Radio Frequency Postdrying of Partially Baked Cookies on Acrylamide Content, Texture, and Color of the Final Product", Journal of Food Science, 77(5): 113-117, (2012).
- [9] Anese, M., Savrona, S., Bortolomeazzi, R., "Effect of radiofrequency heating on acrylamide formation in bakery products", Eur Food Res Technol, 226:1197–1203, (2008).
- [10] Tuta, S., "Dondurulmuş patates dilimlerine uygulanan mikrodalga ile ön çözdürme işleminin parmak patatesin akrilamid içeriği ve kalite özellikleri üzerine

etkisi”, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57 s., (2009).

[11] Anese, M., Nicoli, M.C., Verardo, G., Munari, M., Mirola, G., Bartolomeazzi, R., "Effect of Vacuum Roasting on Acrylamide Formation and Reduction in Coffee Beans", *Food Chemistry* 145: 168–172, (2014).

[12] Erdoğan, B., Palazoğlu, K., Gökmen, V., Şenyuva, H., Ekiz, İ., "Reduction of acrylamide formation in French fries by microwave pre-cooking of potato strips", *Sci Food Agric*, 87:133–137, (2007).

[13] Gökmen, V., Açar, Ö., Köksel, H., Acar, J., "Effects of dough formula and baking conditions on acrylamide and hydroxymethylfurfural formation in cookies", *Food Chemistry*, 104: 1136–1142, (2007).

[14] Amado, R., Graf, M., Amrein, T.M., Graf, S., Szalay, R., Escher, F., "Reduction the Acrylamide Content of a Semi-finished Biscuit on Industrial Scale", *LWT* 39: 724–728, (2006).

[15] Açar, Ö., Pollio, M., Monaca, R., Fogliano, V., Gökmen, V., "Effect of calcium on acrylamide level and sensory properties of cookies", *Food Bioprocess Technol*, 5:519–526,(2012).

[16] Anese, M., Quarta, B., Frias, J., "Modelling the effect of asparaginase in reducing acrylamide formation in biscuits", *Food Chemistry*, 126: 435–440, (2011).

[17] Açar, Ö., Gökmen, V., "Investigation of acrylamide formation on bakery products a crust-like model", *Mol. Nutr. Food Res.*: 53, 1521–1525, (2009).

[18] Anese, M., Suman, M., Nicoli, C., "Acrylamide removal from heated foods", *Food Chemistry* 119 (2010) 791–794, (2010).

[19] Gökmen, V., Açar, Ö., "A new approach to evaluate the risk arising from acrylamide formation in cookies during baking: Total risk calculation”, *Journal of Food Engineering*, 100: 642-648, (2010).

[20] Tmindex, "Bisküvi Fabrikası Fizibilite Raporu", T.C. Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 1-6 s., (2001)

[21] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Gıda Teknolojisi, "Bisküvi Hamuru Hazırlama",

[http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Bisk%C3%BCvi%20Hamuru%20Haz%C4%B1rlama.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Bisk%C3%BCvi%20Hamuru%20Haz%C4%B1rlama.pdf) (25.07.2015).

- [22] Karagöz, A., "Akrilamid ve Gıdalarda Bulunuğu", TAF Prev Med Bull, 8 (2): 187-192, (2009).
- [23] Tamer, E.C., Karaman, B., "Gıdalarda Akrilamid Oluğuunu ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri", Gıda, 31(4): 195-199, (2006).
- [24] Karakul, D., 'Patateslerde Ön Islatma İşleminin Kızartılmış Üründe Akrilamid Oluğuuna Etkisi Üzerine Araştırmalar', Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1-2 s., (2006).
- [25] Özkaynak, E., 'Çeşitli Pişirme Tekniklerinin Sigara Böreğinde Akrilamid Oluğuunu Üzerine Etkileri', Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1-2 s., (2006).
- [26] Gölükcü, M., Tokgöz, H., "Gıdalarda Akrilamid Oluğuun Mekanizması ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri", Batı Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Antalya
- [27] Cheraghi, K., 'Farklı Süre ve Sıcaklıklarda Kızartılan Tepsi Kadayıflarının Akrilamid HMF ve Duyusal Özelliklerinin Tespiti', Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1-4 s., (2014).
- [28] U.S. Environmental Protection Agency, "Toxicological review of acrylamide", Washington, 1-3 s., (2010).
- [29] Taşan, M., "Tahıl Kaynaklı Ürünlerde Akrilamid Varlığı", Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum, 395-398, (2008).
- [30] Claus, A., Carle, R., Schieber, A., "Acrylamide in cereal products: A review", Journal of Cereal Science 47: 118–133, (2008).
- [31] Doğan, İ.S., Meral, R., "Gıdalarda Akrilamid ve Önemi", Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu, 629-632, (2006).
- [32] Yıldız, O., Şahin, H., Kara, M., Aliyazıcıoğlu, M., Tarhan, Ö., Kolaylı, S., "Maillard Reaksiyonları ve Reaksiyon Ürünlerinin Gıdalardaki Önemi", Akademik Gıda 8(6): 44-51, (2010).
- [33] Yıldırım, A., 'Amino Asit Zenginleştirmesinin Bisküvi ve Benzeri Ürünlerde Akrilamid Oluğuumuna Etkisi', Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 4-6 s., (2010).

- [34] Can, N.Ö., “Akrilamidin Gıda Maddelerinde Oluşumuna Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi ve Miktarının Tayini”, Anadolu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 76 s., (2007).
- [35] Boyacı, C.P., Cengiz, M.F., "Gıdalarda Akrilamid Risk Değerlendirme Çalışmaları", GIDA, 37 (5): 287-294, (2012).
- [36] Burdurlu, H.S., Karadenizli, F., "Gıdalarda Akrilamid Oluşumu ve Önemi", Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu, 23-24, (2006).
- [37] Yerlikaya, F.M., Toker, A., Yener, Y., Toy, H., “Uzun Süre Akrilamid Verilen Sıçanlarda Karaciğer Fonksiyon Testlerinin ve Karaciğer Histopatolojisinin Değerlendirilmesi”, Türk Klinik Biyokimya Dergisi ; 10(3): 77-84, (2012).
- [38] Güven, G., “Kumru ve Boyozda Akrilamid Düzeylerinin Belirlenmesi”, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2 s., (2010).
- [39] Croft, M., Tong, P., Fuentes, D., Hambridge, T., "Australian survey in acrylamide carbohydrate foods", Food Additives and Contaminants, 21(8): 721-736, (2004).
- [40] Keskin, Z., "Akrilamidin Kanda Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPaz Enzim Aktivitesine Glutasyon, Hemoglobin, Albumin Düzeylerine Etkisi", Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 4-8 s., (2007).
- [41] Mojska, H., Gielecinska, H., Stos, K., "Determination of acrylamide level in commercial baby foods and an assessment of infant dietary exposure", Food and Chemical Toxicology 50: 2722–2728, (2012).
- [42] Epçeli, S., “Sularda Akrilamid Kontaminasyon Düzeyinin Araştırılması”, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 12 s., (2005).
- [43] Kıvanç, S.Ö., “Süne-Kımlı (eurygaster spp. ve/veya aelia spp.) Zararı Görmüş Unların Kek, Bisküvi ve Ekmeklerde Akrilamid ve Hidroksimetilfurfural (HMF) Oluşumuna Etkisi”, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 32-33 s., (2013).
- [44] Alkhalifah, D., "Acrylamide content and genotoxicity of baby food", Journal of Applied Sciences Research, 9(8): 4967-4974, (2013).
- [45] Erkekoğlu, B., Baydar, T., "Toxicity of acrylamide and evaluation of its exposure in baby foods ", Nutrition Research Reviews , 23: 323–333, (2010).

- [46] Garayo, J., Moreira, R., “Vacuum frying of potato chips”, *Journal of Food Engineering*, 55: 181–191, (2002).
- [47] Palazoğlu, K., Coşkun, Y., Tuta, S., Moğol, B., Gökmen, V., “Effect of vacuum combined baking of cookies on acrylamide content, texture and color”, *Eur Food Res Technol*, 240:243–249, (2015).
- [48] Granda, C., Moreira, R.G., Tichy, S.E., “Reduction of Acrylamide Formation in Potato Chips by Low-temperature Vacuum Frying”, *Journal of Food Science*, 68(9):405-411, (2004).
- [49] AACC. 2000. *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (10th ed.)*. St Paul, Minnesota, USA: Association of Cereal Chemists.
- [50] Rajchasom, S., “Characterising the Kinetics of High Temperature Browning in Foods“, Massey University, (2014).
- [51] Ulusoy, S., "Stevia ile Tatlandırılmış Bisküvilerin Kalite Özellikleri ve Akrilamid İçeriğinin Belirlenmesi", *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 6-9 s., (2011).
- [52] Anonim, “10 Things You Need To Know About Infrared Windows”, IRISS, (2009).
- [53] Sing, R.P., Heldman, D.R., “Introduction to Food Engineering”, Academic Pres, Inc., San Diego, 499 s., (1993).
- [54] Vollmer, M., Möllmann, K.P., “Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications”, Weinheim, 612 s., (2010).
- [55] AIB (2011) *Texture Analysis Procedures*. American Institute of Baking, <https://www.aibonline.org/researchandtechnical/services/prodqualityeval/AIBTextureAnalysisProcedures.pdf>, (18.11.2015).
- [56] European Food Safety Authority (EFSA), “Scientific Opinion on acrylamide in food”, *EFSA Journal*, 13(6):4104, (2015).
- [57] Saidi, M., Aberdeh, R.H., “Air pressure dependence of natural-convection heat transfer”, In: *Proceedings of World Congress on Engineering*, London, (2010).

[58] Sakin, M., Ertekin, F., Ilıcalı, C., “Convection and radiation combined surface heat transfer coefficient in baking ovens”, *Journal of Food Engineering*, 94: 344-349, (2009).

[59] Gökmen, V., Mogol, B., “Computer vision-based image analysis for rapid detection of acrylamide in heated foods”, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods (QAS)*, 2(4): 203-207, (2010).

[60] İşleroğlu, H., Kemerli, T., Sakin, M., Güven, G., Özdestan, Ö., Ertekin, F., “Effect of Steam Baking on Acrylamide Formation and Browning Kinetics of Cookies”, *Journal of Food Science*, 77(10): 257-263, (2012).



## EKLER

Ek-1

### Duyusal Analiz Formu

Değerli panelist; bu test, farklı yöntemler ile elde edilen bisküvi örneklerinin duyuşsal olarak değerlendirilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Size sunulan bisküvi örneklerini soldan başlayarak aőađıdaki ölçütler bakımından değerlendiriniz ve skala üzerinde uygun gördüğünüz kutucuğu işaretleyiniz. Lütfen her örnekten önce, size sunulan tuzsuz kraker ve su ile damağınızı temizlemeyi unutmayınız.

	ÖRNEK NUMARASI								
	_____								
<b>RENK</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Açık								Koyu
<b>SERTLİK</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Aşırı yumuşak								Aşırı sert
<b>AĞIZDA DAĞILMA</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Hiç dağılmıyor								Çok dağılıyor
<b>LEZZET</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Hiç beğenmedim				Ne beğendim ne beğenmedim				Çok beğendim
<b>GENEL BEĞENİ</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Hiç beğenmedim				Ne beğendim ne beğenmedim				Çok beğendim



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Huriye Gözde YILDIZ

**Doğum Tarihi:** 11/01/1990

### Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Gıda Mühendisliği	Atatürk Üniversitesi	2008-2012
Yüksek Lisans	Gıda Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2013-

### Görevler:

Görev Ünvanı	Görev yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Adıyaman Üniversitesi	2014-