

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gamze Nil YAZICI

**PROTEİN İÇERİĞİ AZALTILMIŞ SÜRDÜRÜLEBİLİR
YUMURTASIZ KEK ÜRETİMİ VE BAZI KALİTE
NİTELİKLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2018

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PROTEİN İÇERİĞİ AZALTILMIŞ SÜRDÜRÜLEBİLİR YUMURTASIZ
KEK ÜRETİMİ VE BAZI KALİTE NİTELİKLERİ AÇISINDAN
İNCELENMESİ**

Gamze Nil YAZICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 27/12/2018 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Mehmet Sertaç ÖZER
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Hüseyin ERTEN
ÜYE

.....
Prof. Dr. Haşım KELEBEK
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROTEİN İÇERİĞİ AZALTILMIŞ SÜRDÜRÜLEBİLİR YUMURTASIZ KEK ÜRETİMİ VE BAZI KALİTE NİTELİKLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Gamze Nil YAZICI

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Mehmet Sertaç ÖZER
Yıl:2018 Sayfa: 186
Jüri : Prof. Dr. Mehmet Sertaç ÖZER
: Prof. Dr. Hüseyin ERTEN
: Prof. Dr. Haşim KELEBEK

Bu çalışmada, fenilketonüri (FKÜ) hastalarının tüketimine yönelik protein içeriği azaltılmış, sürdürülebilir yumurtasız kek üretimi gerçekleştirilmiş ve bazı kalite nitelikleri açısından incelenmiştir. Bu amaçla çalışmanın ilk aşamasında, %1, %2, %3 olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda 5 farklı hidrokolloidin (ksantan gam, guar gam, hidroksipropil metil selüloz, karboksimetil selüloz, metil selüloz) birbirleriyle kombinasyon halinde kullanılması sonucu, kek üretiminde yüksek protein içeriği sebebiyle FKÜ hastalarının tüketemediği yumurta ikame edilmiştir. Çalışma sonucunda, toplam hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak kek örneklerinin nem, büzülme değeri, sertlik, çiğnenebilirlik, gözenek yoğunluğu değerlerinde genel olarak artış; spesifik hacim, hacim indeksi, yükseklik, pişme kaybı, ortalama gözenek alanı ve porozite değerlerinde ise genel olarak azalma tespit edilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre, hacim parametresi hariç örnekler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Çalışmanın ikinci aşamasında, duyusal analiz sonucuna göre en beğenilen örnek (%2 HD17); hidrokolloid içermeyen, emülgatör ve hidrokolloid içermeyen; yumurta akı tozu içeren, ithal ve yerli düşük protein içerikli ticari un karışımı kullanılarak elde edilen kek örnekleriyle bazı kalite nitelikleri açısından karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, yumurta akı içeren kek örneklerinden daha düşük protein içeriğine sahip, arzu edilen tekstürel ve duyusal niteliklere sahip, sürdürülebilir yumurtasız kek üretimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelime: Fenilketonüri, Sürdürülebilir Gıda, Yumurta ikamesi, Hidrokolloid, Kek

ABSTRACT

MSc THESIS

PRODUCTION OF PROTEIN CONTENT REDUCED SUSTAINABLE EGGLESS CAKES AND DETERMINATION OF SOME QUALITY CHARACTERISTICS

Gamze Nil YAZICI

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF BASIC AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet Sertaç ÖZER
Year: 2018, Pages: 186
Jury : Prof. Dr. Mehmet Sertaç ÖZER
: Prof. Dr. Hüseyin ERTEN
: Prof. Dr. Haşim KELEBEK

In this study, the production of protein content reduced, sustainable eggless cakes for the consumption of phenylketonuria (PKU) patients was performed and examined for some quality characteristics. For this purpose, 5 different hydrocolloids (xanthan gum, guar gum, hydroxypropyl methyl cellulose, carboxymethyl cellulose, methyl cellulose) and their combination with each other used in 3 different concentrations (1%, 2%, 3%) to replace eggs which have high protein content that cannot be consumed by PKU patients. Results of the study showed that in generally, the increase in moisture, shrinkage, hardness, chewiness and cell density values whereas the decrease in bake loss, specific volume, volume index, height, mean cell area and porosity values were determined in cakes due to the increase in total hydrocolloid concentration. According to the results of sensory analysis, no statistically significant difference was found between samples except volume parameter ($p > 0.05$). In the second phase of the study, according to the result of sensory analysis the most preferred sample (2% HD17) was compared with hydrocolloid-free, free of emulsifiers and hydrocolloids; including egg white powder, produced by imported and domestic commercial low protein flour mixture about some quality parameters. As a result, sustainable eggless cakes with desirable textural and sensory qualities with a lower protein content than the cakes containing egg white powder was performed.

Keywords: Phenylketonuria, Sustainable Food, Egg Replacer, Hydrocolloids, Cake

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Fenilketonüri (FKÜ), fenilalanin hidroksilaz geninde mutasyon nedeniyle oluşan otozomal resesif geçişli ve kalıtsal metabolik bir hastalıktır. FKÜ hastalığı tedavi edilmediği takdirde, fenilalanin özellikle beyin dokusunda birikerek nörotoksik etkilere sebep olmaktadır. FKÜ hastalığının ait ana tedavi yöntemi diyet tedavisi olup; et, yumurta, süt gibi hayvansal kökenli; kurubaklagil gibi bitkisel kökenli yüksek protein içeriğine sahip gıdaların tüketilmemesi esasına dayanmaktadır. Bu nedenle fenilketonüri hastalarının tüketebileceği düşük protein içerikli gıdaların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu ürünler, ülkemizde genellikle yurt dışından ithal edilmekte olup, bu hastalara yönelik gıda üretimi ve ulaşılabilirliği oldukça sınırlıdır. Özellikle unlu mamüller açısından değerlendirildiğinde, yüksek protein içeriğine sahip ve birçok fonksiyonel özelliği bulunan yumurtanın yer almadığı yumurtasız kek üretiminde birçok kalite kayıpları meydana gelmektedir. Bu kalite kayıplarının ortadan kaldırılması için genellikle yumurta ikame maddeleri ve/veya çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Yumurtanın kısmen veya tamamen ikame edilerek kek üretiminin gerçekleştirildiği çalışmalarda, yumurta ikamesi olarak genellikle peynir altı suyu proteini ve başta soya olmak üzere birçok baklagil ile bunların konsantre ve/veya izolat formları kullanılmaktadır. Buna göre, yumurta ikame maddelerinin birçoğu bitkisel ve/veya hayvansal kökenli protein kaynaklarından oluştuğundan FKÜ hastalarının tüketebileceği düşük protein içerikli gıdaların bileşiminde yer alması uygun değildir. Bu ilkedan yola çıkarak çalışmada, protein içeriği azaltılmış sürdürülebilir yumurtasız kek üretiminin gerçekleştirilmesi ve bazı kalite nitelikleri açısından incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda çalışmanın ilk aşamasında, 5 farklı hidrokolloidin (ksantan gam, guar gam, hidroksipropil metil selüloz, karboksimetil selüloz, metil selüloz) 3 farklı konsantrasyonda (%1, %2, %3) kullanımı sonucu yumurta ikame

edilerek protein içeriği azaltılmış kek üretimi gerçekleştirilmiş ve bazı kalite nitelikleri açısından değerlendirilmiştir.

Toplam hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak kek hamurlarının özgül ağırlık değerlerinde artış; köpük oluşturma kapasitesi ve köpük stabilitesi değerlerinde ise azalma tespit edilmiştir. Ayrıca hamur yapısında tutulan hava kabarcıklarının boyutlarında artış ve dağılımlarında düzensizlik saptanmıştır. Toplam hidrokolloid konsantrasyonu artışının kek örnekleri üzerindeki etkisi incelendiğinde ise; nem, büzölme değerleri, sertlik, çığnenebilirlik ve gözenek yoğunluğu değerlerinde artış; spesifik hacim, hacim indeksi, yükseklik, pişme kaybı, ortalama gözenek alanı ve porozite değerlerinde ise genel olarak azalma tespit edilmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, toplam hidrokolloid konsantrasyonunun %3 olduğu yumurtasız keklerin kalite nitelikleri açısından olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiştir. Buna göre, %2 toplam hidrokolloid konsantrasyonuna sahip ve kalite nitelikleri açısından kabul edilebilir 6 adet protein içeriği azaltılmış yumurtasız kek örneği hedonik test uygulanarak duyuasal analize tabi tutulmuştur. Duyusal analiz sonuçlarına göre, hacim parametresi hariç örnekler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir ($p>0,05$).

Çalışmanın ikinci aşamasında, duyuasal analiz sonucuna göre en beğerilen kek örneği (%2 HD17); hidrokolloid içermeyen, emülgatör ve hidrokolloid içermeyen; yumurta akı tozu içeren, ithal ve yerli düşük protein içerikli ticari un karışımı kullanılarak elde edilen kek örnekleriyle bazı kalite nitelikleri açısından karşılaştırılmıştır. Buna göre, %2 HD17 kodlu düşük protein içerikli kek hamuruna ait özgül ağırlık değerinin, yumurta akı tozu (YAK) kullanılan hamur örneklerinden daha yüksek, ticari un karışımı (TUK) kullanılanlardan ise daha düşük olduğu saptanmıştır. Ayrıca hem yumurta akı tozu hem de ticari un karışımlarına ait hamur örnekleri ile karşılaştırıldığında daha düşük köpük oluşturma kapasitesi ve köpük stabilitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Kek kalite nitelikleri açısından değerlendirildiğinde ise, YAK kullanılan kek örneklerine kıyasla nem, pişme kaybı, spesifik hacim, L^* değerlerinin daha yüksek; yükseklik,

chroma ve büzülme değerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Düşük protein içerikli yerli ticari un karışımı kullanılan kek örnekleriyle karşılaştırıldığında pişme kaybı, spesifik hacim, yükseklik, chroma ve büzülme değerinin daha yüksek; nem ve L^* değerlerinin ise daha düşük olduğu saptanmıştır. Yerli ve ticari un karışımları kullanarak elde edilen kek örneklerinin, pişme kaybı, spesifik hacim ve yükseklik parametreleri hariç yaklaşık benzer niteliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, FK  hastalarının tüketime yönelik sürdürülebilir gıda üretiminin amacını oluşturan düşük protein içerikli ürün eldesi açısından değerlendirildiğinde; yumurta akı kullanılan kek örneklerinden %1 oranında daha düşük protein içeriğine sahip kek üretimi gerçekleştirilmiştir.



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının bugünkü içeriğini kazanmasında akademik desteğinin yanı sıra beni her anlamda yönlendiren, yüreklendiren, destekleyen, sonsuz anlayışıyla hep arkamda duran, cömertçe tüm imkanlarını sunan kıymetli hocam Prof. Dr. Mehmet Sertaç ÖZER'e;

Değerli eleştiri ve katkıları ile çalışmanın şekillenmesinde yardımcı olan saygıdeğer jüri üyeleri Prof. Dr. Hüseyin ERTEN ve Prof. Dr. Haşım KELEBEK'e; katkıları ve önerileri için Doç. Dr. Halef DİZLEK'e;

Tıbbi terminoloji açıdan tezimi inceleyen, irdelleyen ve yardımlarını eksik etmeyen sevgili arkadaşım Dr. Zeycan Kübra CEVVAL'e; elde edilen sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesinde yardımlarını esirgemeyen Ç.Ü Fen Edebiyat Fakültesi İstatistik Bölümü Ar. Gör. Dr. Özlem AKAY ve bölüm öğretim üyeleri Dr. Öğr. Üyesi Hakan BENLİ, Öğr. Gör. Dr. Merve DARICI'ya;

Tekstür analizinin gerçekleştirilmesindeki özverileri ve emekleri için Ç.Ü Merkezi Araştırma Laboratuvarı personeli Öğr. Gör. Dr. Bahar MERYEMOĞLU ve Öğr. Gör. Onur SEVİNDİK'e; Laboratuvar imkanı ve ekipman desteği sağlayan Prof. Dr. Zerrin ERGİNKAYA, Doç. Dr. Asiye AKYILDIZ, Ar. Gör. Dr. Süleyman POLAT, Ar. Gör. Dr. Erdal AĞÇAM ve Ar. Gör. Burcu DÜNDAR'a;

Bu süreçte hem analizlerin gerçekleştirilmesine yardımcı olan, hem bilgi alışverişi sağlayabildiğim, hem de manevi anlamda hep yanımda olan Ar. Gör. Burçak TÜRKER, Ar. Gör. Gözde KONURAY ve Ar. Gör. Tansu TAŞPINAR'a;

Bugün burada olmamın en büyük mimari, destekçisi, yoktan var edeni, kadirşinas babam Nevres BORAN'a; beni ben yapan, anlayış, sabır ve zerafet timsali annem Seven BORAN'a; çok yönlülüğünü ilham; cesaretini ve iyi niyetini ise hep örnek aldığım ablam Deniz BORAN'a; Beni hiçbir koşulda yalnız bırakmayan, sonsuz fedakarlık göstererek her zaman yanımda olan, en büyük destekçim, yol arkadaşım, eşim Çağdaş YAZICI ve ailem Nizamettin YAZICI, Zehra YAZICI ve Selin YAZICI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. Fenilketonüri Hastalığı.....	5
2.1.1. Fenilketonüri Hastalığının Tarihçesi.....	6
2.1.2. Dünyada ve Türkiye’de Fenilketonüri Hastalığı Görülme Sıklığı	7
2.1.3. Fenilalanin Metabolizması ve Fenilketonüri Hastalığı Oluşum Mekanizması.....	8
2.1.4. Fenilketonüri Hastalığının Sınıflandırılması.....	10
2.1.5. Fenilketonüri Hastalığı Tedavi Yöntemleri	11
2.1.5.1. Diyet Tedavisi	11
2.1.5.1.(1). Glikomakropeptit.....	16
2.1.5.1.(2). Büyük Nötral Aminoasitler (LNAA).....	17
2.1.5.2. İlaç Tedavisi.....	17
2.1.5.3. Alternatif Tedavi Yöntemleri.....	18
2.2. Kek.....	19
2.2.1. Kek Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	20
2.2.1.1. Un.....	20
2.2.1.2. Yumurta	23
2.2.1.2.(1). Yumurtanın Fonksiyonları ve Görevleri.....	25

2.2.1.2.(1).a. Köpük Oluşumu ve Stabilizasyonu.....	26
2.2.1.2.(1).b. Koagülasyon ve Jelleşme	28
2.2.1.2.(1).c. Emülsifikasyon	30
2.2.1.2.(1).d. Şeker Kristalizasyonunun Kontrolü....	31
2.2.1.2.(1).e. Renk	31
2.2.1.3. Şeker (Sakkaroz)	33
2.2.1.4. Kimyasal Kabartıcılar	33
2.2.1.5. Tuz	35
2.2.1.6. Yağ	35
2.2.1.7. Su	35
2.3. Hidrokolloidler.....	36
2.3.1. Ksantan Gam.....	37
2.3.2. Guar Gam.....	38
2.3.3. Selüloz Türevi Hidrokolloidler	38
2.3.3.1. Hidroksipropil Metil Selüloz (HPMC).....	39
2.3.3.2. Karboksimetil Selüloz (CMC)	40
2.3.3.3. Metil Selüloz (MC)	41
2.4.Yumurta İkame Maddeleri Kullanılarak Yapılan Kek Çalışmaları.....	41
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	63
3.1. Materyal	63
3.2. Yöntem.....	63
3.2.1. Düşük Protein İçerikli Kek Üretimi	63
3.2.2. Hammadde Analizleri	66
3.2.2.1 Nem Tayini	66
3.2.2.2. Protein Tayini.....	67
3.2.2.3. Yağ Tayini.....	67
3.2.2.4. Kül Tayini	67
2.5. Yığın Yoğunluğu ve Sıkıştırılmış Yığın Yoğunluğu Tayini.....	67

3.2.3. Hamur Analizleri.....	68
3.2.3.1. Özgöl Ağırlık Tayini.....	68
3.2.3.2. Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Köpük Stabilitesi Tayini	69
3.2.3.3. Hava Kabarcığı Dağılımı	69
3.2.4. Kek Analizleri	69
3.2.4.1. Protein Tayini.....	70
3.2.4.2. Nem Tayini	70
3.2.4.3. Pişme Kaybı	70
3.2.4.4. Spesifik Hacim.....	70
3.2.4.5. Yükseklik	71
3.2.4.6. Yapısal Özellikler	71
3.2.4.7. Renk Tayini.....	71
3.2.4.8. Tekstür Analizi.....	72
3.2.4.9. Gözenek Boyut Dağılımı Analizi.....	72
3.2.4.10. Duyusal Analiz.....	73
3.2.5. İstatistiksel Analiz.....	74
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	75
4.1. Hammadde Niteliklerinin Belirlenmesi	75
4.1.1. Hammadde Kimyasal Bileşimi	75
4.1.2. Hammadde Fonksiyonel Özellikleri	77
4.2. Hamur Niteliklerinin Belirlenmesi.....	78
4.2.1 Özgöl Ağırlık	78
4.2.2. Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Köpük Stabilitesi.....	88
4.2.3. Hava Kabarcığı Dağılımı	95
4.3. Kek Nitelikleri	97
4.3.1. Protein	98
4.3.2. Nem.....	100
4.3.3. Pişme Kaybı	104
4.3.4. Spesifik Hacim.....	108

4.3.5. Yükseklik	113
4.3.6. Hacim İndeksi	117
4.3.7. Büzülme Değeri	120
4.3.8. Renk	123
4.3.9. Tekstür	128
4.3.9.1. Sertlik	129
4.3.9.2. Yapışkanlık	133
4.3.9.3. Elastikiyet.....	135
4.3.9.4. Çiğnenebilirlik	137
4.3.10. Gözenek Boyut Dağılımı	140
4.3.11. Duyusal Analiz.....	144
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	149
KAYNAKLAR	153
ÖZGEÇMİŞ	171
EKLER.....	172

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1. Feniletonüri Hastalığı Sınıflandırılması ve Sınır Değerleri	10
Çizelge 2.2. Ülkelere ve Yaşlara Göre Hedef Fenilalanin Değerleri ($\mu\text{mol/L}$).....	12
Çizelge 2.3. Yumurtanın Genel Bileşimi (w/w).....	24
Çizelge 2.4. Kek Üretiminde Kullanılan Yumurta İkame Maddeleri ve İkame Oranları	55
Çizelge 3.1. Kek Hamurunda Yer Alan Bileşenler ve Miktarları (%)	64
Çizelge 3.2. Kek Formüllerinde Kullanılan Hidrokolloidler ve Miktarları (%)	66
Çizelge 3.3. Tekstür Analiz Parametreleri	72
Çizelge 4.1. Pirinç Unu Kimyasal Bileşimi	75
Çizelge 4.2. Pirinç Unu Fonksiyonel Özellikleri	77
Çizelge 4.3. Carr İndeksi ve Hausner Oranına Göre Akışkanlık Özelliği	78
Çizelge 4.4. Farklı Formül Kodlarına Ait Hamur Özgül Ağırlık Değerleri (g/cm^3)	81
Çizelge 4.5. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Hamur Son Özgül Ağırlık Değerleri (g/cm^3).....	83
Çizelge 4.6. Farklı Kek Örneklerine ait Hamur Son Özgül Ağırlık Değerleri (g/cm^3).....	86
Çizelge 4.7. Farklı Formül Kodlarına Ait Hamur Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Köpük Stabilitesi Değerleri (%)	89
Çizelge 4.8. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Köpük Oluşturma Kapasitesi Değerleri (%)	91
Çizelge 4.9. Farklı Kek Örneklerine Köpük Oluşturma Kapasitesi (%)	92
Çizelge 4.10. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Köpük Stabilitesi Değerleri (%)	93
Çizelge 4.11. Farklı Kek Örneklerine Köpük Stabilitesi Değerleri (%)	95

Çizelge 4.12. Farklı Kek Örneklerine Ait Protein Değerleri (%).....	99
Çizelge 4.13. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Nem Değerleri (%)	101
Çizelge 4.14. Farklı Kek Örneklerine Ait Nem İçerikleri (%).....	103
Çizelge 4.15. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Pişme Kaybı Değerleri (%).....	105
Çizelge 4.16. Farklı Kek Örneklerine Ait Pişme Kaybı Değerleri (%).....	107
Çizelge 4.17. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Spesifik Hacim Değerleri (cm ³ /g).....	109
Çizelge 4.18. Farklı Kek Örneklerine Ait Spesifik Hacim Değerleri (cm ³ /g).....	112
Çizelge 4.19. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Yükseklik Değerleri (mm).....	114
Çizelge 4.20. Farklı Kek Örneklerine Ait Yükseklik Değerleri (mm).....	116
Çizelge 4.21. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Hacim İndeksi Değerleri (mm).....	118
Çizelge 4.22. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Büzülme Değerleri (mm).....	121
Çizelge 4.23. Farklı Kek Örneklerine Ait Büzülme Değerleri (mm).....	123
Çizelge 4.24. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait L* Değerleri.....	124
Çizelge 4.25. Farklı Kek Örneklerine Ait L* Değerleri.....	127
Çizelge 4.26. Farklı Kek Örneklerine Ait Chroma Değerleri	128
Çizelge 4.27. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Sertlik Değerleri (g).....	130
Çizelge 4.28. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Elastikiyet Değerleri	136
Çizelge 4.29. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Çiğnenebilirlik Değerleri	138
Çizelge 4.30. Farklı Kek Örneklerine Ait Duyusal Analiz Değerleri	146

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1.	Fenilalanin Metabolizması	9
Şekil 2.2.	Feniletonüri Hastalığı Tedavi Yöntemleri.....	11
Şekil 2.3.	Hidrokolloidlerin Sınıflandırılması	37
Şekil 3.1.	Kek Üretiminde Uygulanan İşlem Basamakları.....	65
Şekil 4.1.	Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Hamur İlk Özgül Ağırlık ve Son Özgül Ağırlık Değerlerinin Kıyaslanması.....	82
Şekil 4.2.	Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Hamur Son Özgül Ağırlık Değerlerinin Kıyaslanması	84
Şekil 4.3.	Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Hamur Son Özgül Ağırlık Değerlerinin Kıyaslanması	92
Şekil 4.4.	Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Köpük Stabilitesi Değerlerinin Kıyaslanması	94
Şekil 4.5.	HD17 Kodlu Örneğe Ait Hamur Hava Kabarcığı Boyut ve Dağılımı.....	96
Şekil 4.6.	Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Nem Değerlerinin Kıyaslanması	102
Şekil 4.7.	Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Pişme Kaybı Değerlerinin Kıyaslanması	106
Şekil 4.8.	Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Spesifik Hacim Değerlerinin Kıyaslanması	111
Şekil 4.9.	Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Yükseklik Değerlerinin Kıyaslanması	115
Şekil 4.10.	Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Hacim indeksi Değerlerinin Kıyaslanması.....	119
Şekil 4.11.	Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Büzülme Değerlerinin Kıyaslanması	122

Şekil 4.12. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait L* Değerlerinin Kıyaslanması.....	125
Şekil 4.13. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Chroma Değerleri	127
Şekil 4.14. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Sertlik Değerlerinin Kıyaslanması	131
Şekil 4.15. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Yapışkanlık Değerleri.....	134
Şekil 4.16. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Çiğnenebilirlik Değerlerinin Kıyaslanması.....	139
Şekil 4.17. HD17 Kodlu Örneğe Ait Eşik Değer Belirleme Algoritmasına İlişkin Görsel	141
Şekil 4.18. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Ortalama Gözenek Alanlarının Kıyaslanması.....	141
Şekil 4.19. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Gözenek Yoğunluğunun Kıyaslanması.....	142
Şekil 4.20. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Porozite Değerlerini Kıyaslanması.....	143
Şekil 4.21. Duyusal Analiz Örümcek Ağı Diyagramı	147

SİMGELER VE KISALTMALAR

d/d	: Dakikadaki devir sayısı
dL	: Desilitre
g	: Gram
L	: Litre
μmol	: Mikromol
ml	: Mililitre
N	: Newton
°C	: Santigrat derece
%	: Yüzde



1.GİRİŞ

Kalıtsal metabolik hastalıklar; genellikle enzim veya kofaktörlerinin eksikliği nedeniyle aşırı miktarda biriken ara metabolitler sonucunda oluşan (Ney ve Etzel, 2016) ve birçoğu otozomal resesif kalıtım gösteren biyokimyasal bozukluklardır (Zeybek, 2004).

Fenilketonüri (FKÜ) biyokimyasal ve genetik açıdan kökeni anlaşıp ilgili tedavinin uygulandığı ilk kalıtsal metabolik hastalık olup (van Spronsen, 2010), diğer metabolik hastalıkların tedavisinde de örnek teşkil etmiştir (Sara ve ark, 2016). FKÜ hastalarında, karaciğerden salgılanan fenilalanin hidroksilaz (FAH) enziminin yetersizliği veya yokluğu sebebiyle; esansiyel bir aminoasit olan fenilalaninin (FA) metabolize edilememektedir. Bunun sonucunda, hastaların beyin ve sinir dokularında oluşan tahribat birçok nörolojik anomaliyi beraberinde getirmektedir (Büyükkurt, 2017).

Fenilketonüri hastalıklarında olduğu gibi sindirim sistemi ve metabolizma ile ilgili olan kalıtsal hastalıkların çoğunda, tıbbi beslenme tedavisinin hastalığa ait belirtilerin azalmasında etkili olduğu bilinmektedir (Müngen ve Karaağaçlı, 2015). Fenilketonüri hastalarına uygulanan diyet tedavisinin genel ilkesi; gıdalarla alınan fenilalanin miktarını azaltarak kandaki fenilalanin seviyesini belli sınırlar içerisinde tutmaktır (Özer ve ark, 2008). Bu sebeple fenilketonüri hastalarının diyetlerinde; yumurta, süt, peynir başta olmak üzere süt ve süt ürünleri; et ve et ürünleri, tahıllar, kurubaklagiller gibi protein içeriğince zengin birçok gıda yer almamaktadır (Kochhar ve ark, 2012).

Unlu mamüller içerisinde önemli bir yeri olan kek üretiminde temel bileşenlerden biri olarak kullanılan yumurtanın; emülsifikasyon, koagülasyon, köpük oluşumu ve stabilizasyonu, renk ve aroma olmak üzere birçok fonksiyonel özelliği bulunmaktadır. Bu sayede, nihai üründe arzu edilen hacim, tekstür ve duyuşal özellikler gibi kalite niteliklerini geliştirmektedir (Ratnayake ve ark, 2011). Fenilketonüri hastalarının tüketimine yönelik düşük protein içerikli kek

üretiminde ise, yüksek protein içeriğine sahip olduğu için FKÜ'lü hastaların tüketemediği besinlerin başında gelen yumurtanın tamamen ikame edilmesi gerekmektedir. Ancak, yumurta ikame maddeleri (YİM) genellikle bitkisel ve hayvansal kökenli protein kaynaklarından elde edildiğinden (Ratnayake ve Hutchison 2010), fenilketonüri hastalarının tüketimine uygun bulunmamaktadır.

Gıda ürünlerinin insan sağlığı ve damak zevki göz önünde bulundurularak uygun ve sürdürülebilir bir biçimde geliştirilmesi ve/veya iyileştirilmesi oldukça önemlidir (Özer, 1998). Gıda ve sağlık ikili ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda sürdürülebilir gıda üretimi daha da önem kazanmaktadır. Fenilketonüri bireylerin diyetlerinde tüketebileceği gıdalar oldukça sınırlıdır. Ayrıca fenilalanin içeriği azaltılmış özel aminoasit karışımları ve düşük protein içerikli gıdaların birçoğu yurtdışından ithal edilmektedir. Bu nedenle ülkemizde tat, tekstür gibi yönlerden kabul edilebilir, kolaylıkla hazırlanabilen ya da temin edilebilen, ucuz, diyetin tekdüzeliğini azaltan, hastaların enerji ihtiyacını kısmen karşılayan ve yaşam kalitelerini iyileştiren alternatif gıda ürünlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir gıda üretimi kapsamında yapılan literatür araştırması sonucunda, FKÜ hastalarının tüketimine yönelik düşük protein içerikli unlu mamül üretiminin gerçekleştirildiği araştırma sayısının oldukça sınırlı olduğu tespit edilmiştir.

Bu ilkedan yola çıkarak, tez çalışması kapsamında fenilketonüri hastaları tarafından tüketilebilecek, protein içeriği azaltılmış sürdürülebilir yumurtasız kek üretimi gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, araştırmanın birinci aşamasında kek üretiminde birçok önemli görevi olan yumurta, %1, %2, %3 olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda, 5 farklı hidrokolloid (ksantan gam, guar gam, hidroksipropil metil selüloz, karboksimetil selüloz, metil selüloz) ve bunların birbirleriyle kombinasyonları şekline kullanılarak ikame edilmiş ve nihai ürünün bazı kalite nitelikleri üzerinde etkisi incelenmiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında ise, duyu analizi sonuçları doğrultusunda en beğenilen yumurtasız kek örneği, hidrokolloid içermeyen, emülgatör ve hidrokolloid içermeyen, yumurta akı tozu

kullanılan, düşük protein içerkli ithal ve yerli ticari un karışımları kullanılarak elde edilen kek örnekleri ile bazı kalite nitelikleri açısından karşılaştırılarak değerkendirilmiştir.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Fenilketonüri Hastalığı

Kalıtsal metabolik hastalıklar (KMH), genetik hatalar sebebiyle bazı enzim ve/veya bunların kofaktörlerinin eksikliği, yoksunluğu veya aktivitelerinde meydana gelen azalma sonucunda ortaya çıkan ve birçoğu otozomal resesif kalıtım gösteren biyokimyasal bozukluklardır (Zeybek, 2004). Bunun sonucunda bazı metabolitler metabolizmada birikirken; bazı organların çalışabilmesi için gerekli olan metabolitlerde ise eksiklikler görülmektedir (Büyükkurt, 2017).

KMH genel olarak; protein metabolizması bozuklukları (fenilketonüri, tirozinemi, vb.), karbonhidrat metabolizması bozuklukları (glikojen depo hastalığı vb.), lizozomal depo bozuklukları (Gaucher hastalığı, Fabry hastalığı vb.) ve organik asit metabolizması bozuklukları (alkaptonüri, metil malonik asidemi, propiyonik asidemi vb.) olmak üzere 4 ana kategoriye ayrılmaktadır (Sumaily ve Mujamammi, 2017). Fenilketonüri (FKÜ), protein metabolizması bozukluklarından biri olup aminoasit metabolizmasında doğuştan gelen bir hatanın neden olduğu en yaygın hastalıktır (Blau ve ark, 2010).

Fenilketonüri (OMIM #261600), fenilalanin hidroksilaz enzimini (FAH; EC 1.14.16.1; L-phenylalanine-4-monooxygenase) kodlayan gende meydana gelen mutasyonların neden olduğu otozomal resesif geçişli bir hastalıktır (Strisciuglio ve Concolino, 2014). Esansiyel bir aminoasit olan L-fenilalaninin (FA) geri dönüşümsüz olarak tirozin'e (Tyr) dönüşümünde rol alan FAH enzimi ve/veya kofaktörü olan tetrahidrobiopterin'deki (6R-L-eritro-5,6,7,8-tetrahidrobiopterin veya diğer bir ifadeyle BH₄) eksiklik veya yoksunluk (Hafid ve Christodoulou, 2015), hastaların kan, beyin, idrar ve diğer vücut sıvılarında, fenilalanin metabolitlerinin (fenilpirüvik asit, fenillaktik asit fenilasetik asit) birikimiyle sonuçlanmaktadır (Müslümanoğlu ve ark, 2004). Bu doğrultuda, FA seviyesi normalin 20-30 katı kadar artış göstererek; protein sentezini baskılamakta, nörotransmitter maddelerin (serotonin, dopamin ve epinefrin, norepinefrin)

salınımında ve miyelin sentezinde belirgin düşüşler kaydedilmektedir (Prasad ve ark, 1998). Buna bağlı olarak, bebeklik çağı ve çocukluk dönemi boyunca ilerleyen ve geri dönüşü olmayan birçok nörolojik rahatsızlığa sebep olmaktadır. Bu hastalığa sahip bireylerde, zeka geriliği (mental retardasyon), mikrosefali gibi nörolojik anomaliler başta olmak üzere hiperaktivite ve anksiyete gibi davranışsal bozukluklar, büyüme geriliği, egzama ve epilepsi en sık karşılaşılan klinik bulgular arasında yer almaktadır (Strisciuglio ve Concolino, 2014). Ayrıca tedavi edilmeyen bireylerde, saç ve deride görülen pigment seyrelmesi, melaninin bir öncüsü olan tirozinin fenilalanin hidrosilasyonu ile sentezlenememesi sonucu oluşmaktadır (Berry ve ark, 2017).

2.1.1. Fenilketonüri Hastalığının Tarihçesi

İlk olarak 1934 yılında Norveçli bir hekim tarafından, fenilalaninin bir metaboliti olan fenilpirüvik asitin idrar yoluyla oldukça fazla miktarda atıldığı kanıtlanmıştır (Yıldız, 2014). Bu durum, anneleri tarafından iki kardeşin idrarında tuhaf bir koku fark etmesi sonucu ortaya çıkmış ve idrar örneklerinin ferrik klorür çözeltisi ile test edilmesi sonucu ketonların karakteristik kırmızı-kahverengi renk oluşturması beklenirken, fenilalaninin bir metaboliti olan fenilpirüvik asit nedeniyle koyu yeşil bir renk aldığı tespit edilmiştir. Böylece hastalığın fenilalanin metabolitlerinin birikimi ile ilişkilendirilmesi adına ilk adım atılmıştır (Berry ve ark, 2017).

1935 yılında ise İngiltere’de Penrose’un yapmış olduğu araştırmalar sonucunda, ‘fenilketonüri’ terimi ortaya konulmuş ve otozomal-resesif geçişli bir hastalık olduğu kanıtlanmıştır (Blau, 2016). Daha sonra George Jervis, fenilalaninin tirozine dönüşümünün, FKÜ’lü hastalardan elde edilen karaciğer preparatları ile in vitro olarak gerçekleştirilemediğini belirtmiştir (Nyhan ve ark, 2011). Horst Bickel ve arkadaşları ise, 1950’lerde bugün hala geçerliliğini koruyan diyet tedavisinin temellerini atmıştır (Blau, 2016).

Fenilketonürinin tanı ve tedavisi konusunda, 20. yüzyılın ilk yarısından itibaren önemli adımlar atılmaya başlanmıştır (Yıldız, 2014). 1960 yıllarında Robert Guthrie tarafından 'Guthrie testi' adı verilen bir tanı testi geliştirmiştir (Blau ve ark, 2010). Bu sayede FKÜ, gelişmiş ülkelerde 1960'lı yıllardan beri, nörolojik hasarın önlenmesi ve erken tedavisine olanak tanıyan yenidoğan taramasıyla rutin olarak tespit edilmektedir (Sara ve ark, 2016). Günümüzde dünyanın birçok ülkesinde, yenidoğanlarda Guthrie testi'nin yanı sıra tandem kütle spektrometresine dayanan daha modern sistemler de kullanılmaktadır (Williams ve ark, 2008). Ülkemizde fenilketonüri tarama testi uygulamasına 1993 yılında başlanmış olup, bu test için yenidoğanların anne sütü başta olmak üzere proteince zengin gıdaları almasının ardından genellikle ilk 24-72 saat içinde ayak topuğundan alınan birkaç damla kanın fenilalanin miktarı yönünden analiz edilmesiyle gerçekleştirilmektedir (Yıldız ve ark, 2006).

Fenilketonüri taramasının yenidoğanlarda doğumdan kısa bir süre sonra tespit edilmesi ve yaygınlaşmasıyla birlikte erken tedavinin olumlu sonuçlar meydana getirdiği bildirilmiştir. Bu nedenle fenilketonüri, diğer kalıtsal hastalıkların tanı ve tedavisi konusunda da başı çekerek önemli bir rol üstlenmiştir (Yıldız, 2014). Sonuç olarak, fenilketonüri, yenidoğan taraması ile saptanan, diyetle kontrol edilebilen ve başarılı bir şekilde tedavi edilen ilk metabolik bozukluk olarak literatürde yerini almıştır (Cleary, 2010).

2.1.2. Dünyada ve Türkiye'de Fenilketonüri Hastalığı Görülme Sıklığı

Fenilketonüri (FKÜ), aminoasit metabolizmasında doğuştan gelen bir hatanın neden olduğu en yaygın metabolik bozukluklardan biridir (Knerr, 2016). Ancak hastalığın prevalansına ilişkin, kaynaklarda farklı veriler bulunmaktadır. FKÜ, dünyanın birçok yerinde yaklaşık 10.000-20.000 kişide bir görülmekle birlikte (Soltanzadeh ve Mirmoghtadaie, 2014); görülme sıklığı ülkelere göre de değişkenlik göstermektedir. Avrupa'da görülme oranı yaklaşık 1/10.000 iken Finlandiya, 1/100.000 ile Avrupa'nın en düşük prevalansa sahip ülkesi

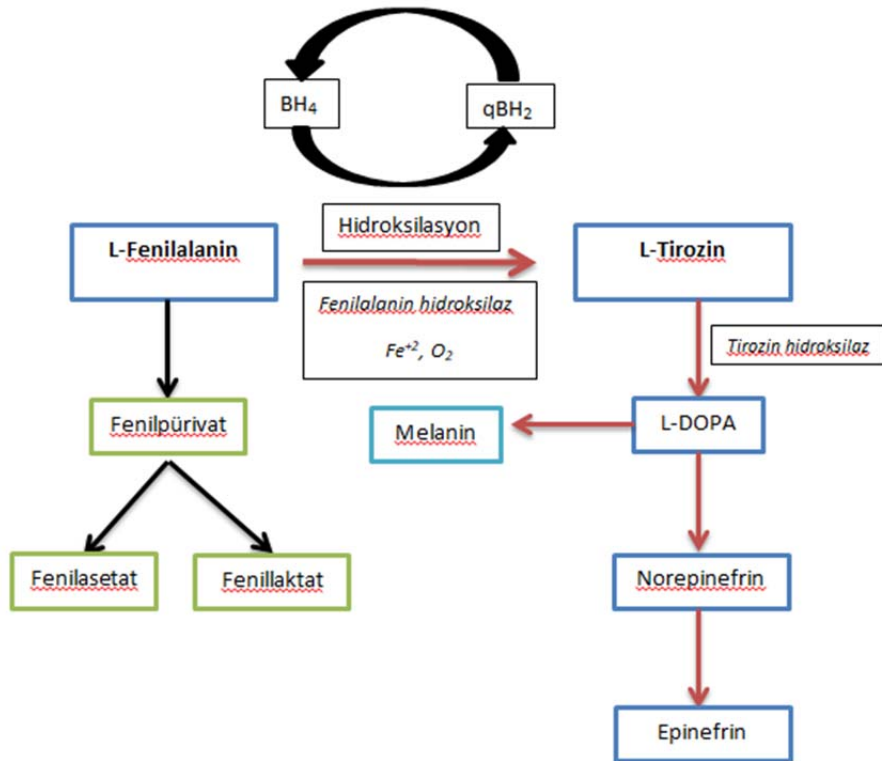
konumundadır (Blau, 2010). Ülkemiz ise 3000-4500 yenidoğanda bir görülme oranı ile dünyada FKÜ ile en sık karşılaşılan ülkeler arasında yer almaktadır (Cumhur 2008). Diğer bir kaynakta ise Türkiye, 2600 kişide bir görülme sıklığıyla hastalığın en sık karşılaşıldığı ülkelerden biri olup (Cleary, 2010; Williams ve ark, 2008), bu durum ülkemizde akraba evliliğinin yaygın olması ile ilişkilendirilmiştir (Özalp ve ark, 1990; Top ve Alemdar, 2015). Fenilketonüri, anne ve babanın hastalığın taşıyıcısı olması durumunda %25 görülme olasılığıyla ortaya çıkmaktadır. Türkiye Sağlık Bakanlığı Neonatal Tarama Programı Genelgesi'nin (2006/130) yayınladığı verilere göre ise ülkemizde popülasyonun %4'ü FKÜ hastalığının taşıyıcısı durumundadır (Anonim, 2006).

2.1.3. Fenilalanin Metabolizması ve Fenilketonüri Hastalığı Oluşum Mekanizması

L-fenilalanin, insanlarda protein sentezinin gerçekleştirilmesinde rol alan esansiyel aromatik bir aminoasittir (Williams ve ark, 2008). Sağlıklı bireylerde fenilalanin (FA), fenilalanin hidroksilaz (FAH) enzimi sayesinde karaciğerde metabolize edilmektedir. FA'nın geri dönüşümsüz katabolizma reaksiyonundaki ilk adım FAH enzimi tarafından diğer bir aminoasit olan tirozine (Tyr) hidroksilasyonudur. Bu reaksiyon, L-fenilalaninin kofaktörü olan tetrahidrobiopterin (BH_4) ve bu kofaktörün rejenerasyonunu sağlayan dihidrobiopterin redüktaz enzimi, Fe^{+2} ve O_2 katalizörlüğünde gerçekleşmektedir (Şekil 2.1).

BH_4 aynı zamanda tirozin hidroksilaz ve triptofan hidroksilaz için de anobligat bir kofaktör olduğundan dopamin, noradrenalin, adrenalin, serotonin sentezinde de görev almaktadır (Şekil 2.1). Bu nedenle, FKÜ hastalarında hastalığın oluşmasında rol alan FAH eksikliği veya BH_4 sentezi ya da geri dönüşümündeki kusurlar, Tyr'nin dopamine hidroksilasyonu ve triptofanın serotonine dekarboksilasyonu metabolizmalarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun sonucunda, Tyr, 3,4-dihidroksifenilalanin (L-DOPA) melanin, katekolamin gibi biyojenik aminlerin sentezinde bozulma meydana gelmektedir. Ayrıca

fenilalaninin tirozine hidroksilasyonu engellendiğinde; FA dekarboksilasyon ile fenilpürivat ve indirgenme ürünleri olan fenilasetat ile fenilasetil glutamata; transaminasyonu ile de feniletilamin ve indirgenme ürünleri olan fenillaktat ve fenilasetata dönüşmektedir. Bu indirgenme ürünleri olan fenilketonlar, idrarla kısmen dışarı atılmakta ancak artan konsantrasyonları nedeniyle kan, beyin ve vücut sıvılarında birikmektedir (Burgard ve ark, 2016). FKÜ hastası ve sağlıklı bireylerde fenilalanin metabolizması Şekil 2.1’de verilmiştir (Rocha ve Martel, 2009; Hafid and Christodoulou, 2015).



Şekil 2.1. Fenilalanin Metabolizması

2.1.4. Fenilketonüri Hastalığının Sınıflandırılması

Fenilketonüri hastalığı, kandaki FA konsantrasyonuna bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak literatürde sınıflandırma türü ve kandaki FA konsantrasyonuna ilişkin sınır değerleri ile ilgili fikir birliği olmadığından farklı görüşler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

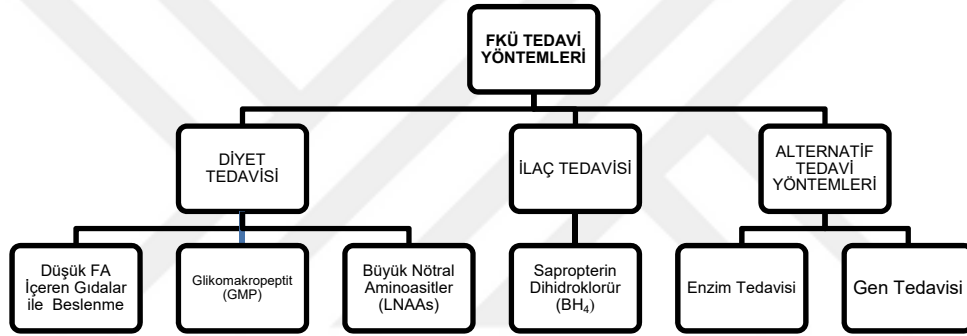
Clearly (2010) ve Burgard ve ark (2016) ile aynı FA sınır değerlerini baz almış ancak kan fenilalanin konsantrasyonuna göre yüksekten düşüğe doğru sırasıyla klasik FKÜ, HPA ve mild HPA olarak sınıflandırmıştır. Soltanizadeh ve Mirmoghtadaie (2014) ise HPA yerine Non-PKU-HPA kavramını kullanmış; Blau ve ark (2014) ise kan fenilalanin konsantrasyonuna göre yüksekten düşüğe doğru sırasıyla klasik FKÜ, mild FKÜ, mild HPA olarak kategorizelendirmiştir. Willams ve ark (2008) ise Blau ve ark (2014)’nın yaptığı kategorizasyona benzer bir şekilde sınıflandırmış ancak mild HPA’nın alt sınır değerini belirtmemiştir.

Çizelge 2.1. Feniletonüri Hastalığı Sınıflandırılması ve Sınır Değerleri

Referans	Sınıflandırma	Sınır Değerler
Burgard ve ark, 2016	Klasik FKÜ	> 1200 $\mu\text{mol/L}$ (> 20 mg/dL)
	Mild-Moderate FKÜ	600-1200 $\mu\text{mol/L}$ (10-20 mg/dL)
	Hiperfenilalaninemi (HPA)	120-600 $\mu\text{mol/L}$ (2-10 mg/dL)
Vernon ve ark, 2010	Klasik FKÜ	>1200 $\mu\text{mol/L}$
	Variant FKÜ (moderate veya mild FKÜ)	400-1200 $\mu\text{mol/L}$
	Benign HPA	<400 $\mu\text{mol/L}$

2.1.5. Fenilketonüri Hastalığı Tedavi Yöntemleri

Kalıtsal metabolik hastalıklarda, ilaç ve çeşitli takviyeler ile birlikte ömür boyu diyet tedavisine devam edilmesi gerekmektedir (Ho ve ark, 2016). Kalıtsal metabolik hastalıklardan biri olan fenilketonürinin mevcut tedavi yöntemleri de esas olarak diyet tedavisi ve ilaç tedavisine dayanmakta olup son yıllarda enzim tedavisi ve gen tedavisi gibi alternatif tedavi yöntemleri araştırılmaktadır (Kochhar ve ark, 2012). Buna göre fenilketonüri hastalığına ilişkin tedavi yöntemleri Şekil 2.2’de özetlenmiştir.



Şekil 2.2. Feniletonüri Hastalığı Tedavi Yöntemleri

2.1.5.1. Diyet Tedavisi

FKÜ tedavisi için, fenilalanince kısıtlanmış diyet uygulaması ilk olarak 1953 yılında Bickel ve meslektaşları tarafından tanımlanmış ve çocuklarda zihinsel geriliğin önlemesinde diyet tedavisinin etkinliği kanıtlanmıştır (Matalon ve ark, 2006). Bugün hala FKÜ tedavisinin ana dayanağı olmayı sürdüren diyet tedavisi (Hafid ve Christodoulou, 2015) ‘Yaşam için diyet’ politikasını da beraberinde getirmiştir (van Calcar ve Ney, 2012).

‘Yaşam için diyet’ kavramının önemi, tedaviye mümkün olduğunca erken başlanması ve kandaki FA konsantrasyonu ile klinik parametrelerin izlenmesinin yaşam boyunca devam ettirilmesine yönelik uzmanlar arasında fikir birliği bulunmaktadır. Ancak, farklı yaş aralıkları için önerilen kandaki FA

konsantrasyonları başta olmak üzere FKÜ tedavi politikaları değişkenlik göstermektedir (Demirkol ve ark, 2011). Diyetle fenilalanin kısıtlamasına ve tedavi sonucu hedef FA sınır değerlerine ilişkin ülkeler arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Buna göre, bazı ülkelere ait yaş ve hedef FA değerlerine ilişkin veriler Çizelge 2.2’de verilmiştir (Blau, 2010). Amerikan Tıbbi Genetik ve Genomik Birliği’nin tedavi kılavuzlarında ise, FKÜ’lü bireyler için klinik tedavi hedefinin her yaştaki bireyler için 120-360 $\mu\text{mol/L}$ kan FA düzeyini korumak olduğu ve bu tedavinin ömür boyu sürdürülmesi gerektiği bildirilmektedir (Brown ve Lichter-Konecki, 2016). Kan FA düzeyinin bu değerlerin altında kalması için, klasik FKÜ hastalarının, besinsel FA alımının 200-400 mg/gün veya günde 4-8 g proteine indirmesi gerektiği bildirilmektedir (Burgard ve ark, 2016).

Çizelge 2.2. Ülkelere ve Yaşlara Göre Hedef Fenilalanin Değerleri ($\mu\text{mol/L}$)

Ülke	Yaş Aralıkları					
	<2	2-6	7-9	10-12	13-15	>16
Türkiye	60-240	60-240	60-240	60-240	60-240	60-240
İngiltere	120-360	120-360	120-480	120-480	120-700	120-700
Amerika Birleşik Devletleri	120-360	120-360	120-360	120-360	120-600	120-900
İtalya Hollanda	120-360	120-360	120-360	120-360	120-600	120-600
Almanya Avusturya	40-240	40-240	40-240	40-240	40-900	40-1200

FKÜ’nün diyet ile tedavisinde birincil amaç, kandaki fenilalaninin düzeyini azaltmak, dolayısıyla beyindeki fenilalanin konsantrasyonunu sınırlandırmaktır (van Calcar ve Ney, 2012). Bu amaçla, FKÜ hastalarının diyetlerinde, yüksek protein içeriğine sahip et, süt, balık, yumurta, tahıllar, yağlı tohumlar, kurubaklagiller ve bu besinleri içeren gıda ürünleri diyetten çıkarılmaktadır

(Marcason, 2013). FKÜ'lü çocuk, ergen ve yetişkinler, diyetlerinde uygun miktarlarda meyve ve sebze tüketimine yer verebilirken özellikle nişasta içeriğince zengin sebzelerin yüksek fenilalanin içeriğine sahip olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca tahıl ve tahıl ürünleri, klasik FKÜ'nün diyet tedavisinde yer alabilmek için genellikle yüksek fenilalanin içeriğine sahiptir. Fenilalanin içermeyen gıdalar genel olarak yağlar, içecekler ve şekerlemeler ile sınırlı olup tüketilmelerinde herhangi bir mahsur bulunmamaktadır (van Calcar ve Ney, 2012). Ancak yapay bir tatlandırıcı olan aspartam (L-aspartil-fenilalanin-1-metil ester) metabolize edildiğinde, L-aspartik asit ile metanol açığa çıktığından, özellikle aspartam içeren içecek ve şekerleme gibi gıdaların tüketilmesinin sakıncalı olduğu belirtilmektedir (Williams ve ark, 2008).

Fenilalanince kısıtlı ve sıkı bir diyet uygulaması, tedavinin sürekliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. (Staudigl ve ark, 2003). Ayrıca diyetle uyumun önündeki diğer başlıca zorluklar, arzu edilen tat ve görünümde düşük proteinli gıdaların hazırlanmasındaki güçlükler, alternatif gıda ürünlerinin sınırlı olması ve yüksek maliyet olarak belirtilmektedir (Ho ve Christodoulou, 2014). Fenilalanince kısıtlı diyet hem FKÜ'lü bireyler hem de aileleri üzerinde hem ekonomik hem de sosyal olmak üzere ağır bir yük oluşturmaktadır (Bélanger-Quintana, ve ark, 2011). Bu nedenle, tıbbi gıdaların geliştirilmesi ve mevcut ürünlerin bugünkü ihtiyaçlara uygun olarak iyileştirilmesi için çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu ürünlerde lezzet bakımından iyileştirmeler gerçekleştikçe terapötik uyumun arttığı bildirilmektedir (Staudigl ve ark, 2003). Ancak bazı hastalar fenilalanin içeriği kısıtlanmış diyetle olumlu bir yanıt vermemektedir. Bu hastalardaki eksikliğin, FAH enzimi değil kofaktörü olan BH₄'ten kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, BH₄ eksikliği olan hastalar, genellikle fenilalanin kısıtlı bir diyetle ihtiyaç duymayıp bunun yerine, başta BH₄ olmak üzere, L-DOPA ve 5-hidroksitriptofan'ın oral yoldan verildiği bir tedavi uygulanmaktadır (van Spronsen, 2010).

FKÜ hastalarında, kan ve beyindeki yüksek FA içeriğinden kaynaklanan geri dönüşümsüz nörolojik hasarları önlemek için, diyet tedavisine yenidoğan

döneminde başlanması zorunlu olup çocukluk çağından sonra diyet tedavisinin devamı ile ilgili tartışmalar sürmektedir. 1970'li yılların başında, beynin tamamen gelişiminden sonra FA konsantrasyonundaki artışın zararlı bir etkisi olmadığını düşünülmüştür. Ancak, ABD merkezli bir FKÜ Ulusal İşbirliği Çalışması (US- National Collaborative Study for PKU), diyet kontrolünün bırakılmasının, çocuklarda okul performansında düşüş; yetişkinlerde davranışsal ve psikososyal sorunlarda artış göstermesi ile bağlantılı olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, FKÜ'lü kadınların, 'maternal FKÜ' sendromu olarak adlandırılan ve mikrosefali, rahim içi gelişme geriliği, kalp hastalıkları ile bilişsel bozukluğa sahip bebek doğurma riski oldukça yüksektir (Hafid and Christodoulou, 2015). Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, diyet tedavisine ömür boyu devam edilmesi gerektiğinin önemi vurgulanmaktadır (van Spronsen ve Enns, 2010).

Bebeklik döneminden 10 yaşına kadar, diyetle alınan toplam fenilalanin miktarı göz önünde bulundurulduğunda diyet reçetesi çok az değişiklik göstermektedir (van Calcar ve Ney, 2012). Ancak yine de FKÜ hastaları için standart bir diyet planı bulunmamaktadır (Marcason, 2013). Bununla birlikte, kan FA düzeyi büyüme için önemli olduğundan, ergenliğe geçişte büyümenin hızla ilerlemesiyle birlikte diyet reçetesinin yeniden değerlendirilmesi gerektiği bildirilmektedir (van Calcar ve Ney, 2012).

Diyet tedavisinde genel olarak başarılı olunmasına rağmen, hem ömür boyu takibinin oldukça güç olması hem de besin yetersizlikleri ile ilgili riskler taşımasından dolayı uzmanlar tarafından dikkatli bir biçimde yönetilmesi gerekmektedir (Cleary, 2010). Uygun kan FA düzeylerini elde etmek için diyet planının sürekli takibi önem arz etmektedir. Bu doğrultuda ilgili diyet planı; kan FA düzeyi, yaş, cinsiyet, kilo ve boy verileri dikkate alınarak oluşturulmalıdır (Marcason, 2013). Ayrıca düşük protein içerikli beslenmenin tam olarak değerlendirilmesi için tıbbi gıdalar ve diğer gıdalardaki toplam enerji alımı; toplam protein yüzdesi; toplam FA miktarı, toplam tirozin miktarı ile vitamin ve mineral alımlarının göz önünde bulundurulmasını önerilmektedir (Marcason, 2013).

Fenilalanince kısıtlanmış diyet tedavisi, genellikle fenilalanin dışındaki aminoasitlerin sentetik karışımlarından oluşan tıbbi gıdalar ile desteklenmektedir. Tıbbi gıda, ABD Gıda ve İlaç İdaresi (US Food and Drug Administration) tarafından "Doktor gözetiminde tüketilmesi ya da enteral olarak uygulanması için bilimsel olarak formüle edilen, bir hastalığın veya durumun özel diyet uygulamasına yönelik gıda" olarak tanımlanmaktadır (Ney ve Etzel, 2017; Camp ve ark, 2014). Tıbbi gıdalar, toplam protein alımının yaklaşık %50-82'sini karşılamakta ve fenilalanin haricinde birçok sentetik aminoasit kaynağını içermektedir (Thompson ve Rohr, 2009).

Yıllar içerisinde geliştirilen tıbbi gıdalar, beslenme kalitesinde ve lezzette düzelmelere neden olmasına rağmen, FKÜ'nün tedavisi için gerekli olan diyet tedavisi, beslenme yetersizliği riski taşımaktadır (Bélanger-Quintana ve ark, 2011). Bu nedenle FKÜ hastaları, esansiyel aminoasitlerin yanı sıra vitaminler ve minerallerden oluşan tıbbi gıda takviyeleri almalıdır. Sağlıklı bireylerde diyetteki fenilalanin alımının yaklaşık %90'ı tirozine dönüştürüldüğünden, FKÜ hastalarında tedavinin önemli bir kısmını da tirozin takviyesi oluşturmaktadır (Hafid and Christodoulou, 2015). Diyet takviyesi almayan hastalarda; A, C ve E vitaminleri, koenzim Q10, demir, çinko, kalsiyum, manganez ve selenyum gibi mineral eksiklikleri sıklıkla görülmektedir. Ana kaynağı et ve deniz ürünleri olması nedeniyle nörolojik bozukluğa yol açabilen B12 vitamini eksikliği de FKÜ hastalarında oldukça yaygındır. Ayrıca kemikte kırılma ve osteoporoz riski taşıyan kemik mineral yoğunluğunda azalmalar da tespit edilmektedir. Buna ek olarak, FKÜ hastalarında son zamanlarda kronik böbrek hastalığı gelişme riskinin de daha yüksek olduğu öne sürülmektedir (Ho ve Christodoulou, 2014). Ayrıca diyet tedavisinde besin değerinin yanı sıra lezzet ile ilgili de olmak üzere birçok sorun ile karşılaşilmektedir. Bu durum tıbbi gıdalarda büyük nötral aminoasitler (LNAA) ve glikomakropeptit (GMP) kullanılarak geliştirilmektedir (Hafid and Christodoulou, 2015).

2.1.5.1.(1). Glikomakropeptit

Kazeinomakropeptit olarak da adlandırılan glikomakropeptit (GMP), peynir üretiminde peynir altı suyundan elde edilmektedir (Gür ve ark, 2010). GMP fenilalanin başta olmak üzere tirozin ve triptofan gibi aromatik aminoasitler içermeyen ve 64 aminoasitten oluşan bir glikofosfopeptittir (Soltanzadeh ve Mirmoghtadaie, 2014). Ancak bazı kaynaklarda 2-5 mg/100g olmak üzere düşük miktarda fenilalanin içerdiği (Thompson ve Rohr, 2009) veya GMP'nin saflaştırılması esnasında çok az miktarda da olsa kalıntı FA bulunabileceği belirtilmektedir (Goldstein ve Vockley, 2017).

GMP ısı stabilitesi, asit ortamında çözünabilirliği, jel yapı ve köpük oluşturma gibi özellikleri nedeniyle genellikle içecek ve yarı katı gıdaların üretimi için oldukça uygundur (do Prado ve ark, 2018). Buna ek olarak, GMP'nin, diğer diyet proteinleriyle karşılaştırıldığında üç kat daha fazla LNAA içerdiği belirtilmektedir (van Calcar ve Ney, 2012). Ayrıca, GMP tıbbi gıdalara kıyasla daha az yan etkisi bulunan ve kabul edilebilirliği daha yüksek bir seçenek sunduğundan dolayı (Ney ve Etzel, 2016), FKÜ'lü hastaların tüketimine yönelik düşük fenilalanin içerikli gıdaların üretiminde alternatif bir kaynak olarak nitelendirilmektedir (Boyer ve ark, 2016).

FKÜ'lü bireylerde bilişsel bozulmayı önlemek için, 2010 yılından bu yana Kuzey Amerika ve dört Avrupa ülkesinde GMP, tıbbi gıda olarak mevcut bulunmaktadır (Goldstein ve Vockley, 2017). FKÜ hastalarında GMP uygulamasının gerçekleştirildiği bir araştırmada, GMP'nin fenilalanin düzeylerinin korunmasında kısa süreli etkinlik gösterdiği bildirilmiş ancak, GMP kullanımıyla ilgili uzun süreli çalışmaların yapılması gerektiği vurgulanmıştır (Boyer ve ark, 2016). Ayrıca özel amaçlı diyetle uygun ürünler ve tıbbi gıdalar üreten uluslararası bir firma tarafından (Cambrooke Therapeutics, Inc. Ayer, MA) GMP'nin modifiye edilmiş bir formülasyonu da bulunmuş olup henüz klinik deneylerle test edilmediği belirtilmiştir (Goldstein ve Vockley, 2017).

2.1.5.1.(2). Büyük Nötral Aminoasitler (LNAA)

Büyük nötral aminoasitler (LNAA) tirozin başta olmak üzere treonin, triptofan, metiyonin, histidin, lösin, izolösin gibi fenilalanin dışındaki esansiyel aminoasitlerden oluşmaktadır (Ülker ve Şanlıer, 2018).

LNAA, FA ile aynı yoldan gastrointestinal sistemden emilmeleri ve beyin kan bariyerinden geçişte yarıştıklarından dolayı kan FA seviyesini azaltıcı bir rol oynamaktadır (Ülker ve Şanlıer, 2018). LNAA kullanımındaki amaç; beyin ve kan FA seviyelerini azaltmak, beyinde nörotransmitterlerin sentezini arttırmak ve beyinde FA dışı LNAA'ların miktarını artırmaktır. Bu nedenle, FKÜ'lü bireylerin tedavisinde alternatif bir yöntemi olarak değerlendirilmektedir (van Spronsen ve ark, 2010). Ancak, LNAA'ların etkileri kısa süreli, değişken dozlar ve farklı formülasyonlarda kullanıldığı için sınırlı sayıda hastalarda değerlendirilmiştir (Staudigl ve ark, 2003). Bu nedenle FKÜ hastalarında kan fenilalanin seviyelerini önemli ölçüde azaltmada LNAA takviyesinin etkinliğini destekleyen kanıtlar hala sınırlı olup daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Strisciuglio ve Concolino, 2014).

2.1.5.2. İlaç Tedavisi

Fenilalanin hidroksilaz (FAH) enziminin kofaktörü olan tetrahidrobiopterinin (BH_4) sentetik ve stabil bir formu olan sapropterin dihidrokloridin'in, FKÜ hastalarının önemli bir kısmında plazma FA seviyelerini düşürdüğü tespit edilmiştir (Vernon ve ark, 2010). Sapropterin, randomize, çift-kör çalışmalarda kan fenilalanin düzeylerini düşürmede etkili olduğu belirlenen ilk diyet dışı tedavi yöntemidir (Sanford ve Keating, 2009). Bu nedenle, FKÜ tedavisi için ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından ilk kez onaylanan ve hala kullanımı devam eden bir ilaç uygulamasıdır (Goldstein ve Vockley, 2017). 2007'de ABD'de, 2008 yılında Avrupa'da, 2010'da ise Kanada'da (Cunningham ve ark, 2012), BH_4 'e duyarlı FAH eksikliğinin tedavisi için ağız yoluyla alınan sapropterin dihidroklorür (KUVAN®) kullanımı onaylanmış ve hastaların yaşam

kalitesinde artış sağlamıştır (Staudigl ve ark, 2003). Biopten ise, tetrahidrobiopterin eksikliği veya fenilalanin eksikliğine bağlı olarak hiperfenilalaninemi tedavisi için Japonya'da onaylanmış bir başka sapropterin formülasyonudur (Sanford ve Keating, 2009). Ancak bu tedavi yöntemi, her FKÜ hastasında olumlu sonuçlar vermemektedir. Kan fenilalanin düzeyi belli bir değerin (400 $\mu\text{mol/L}$) üzerinde olan ve genotiplerinde sapropterin tedavisine yanıt verme olasılığı bulunan hastalar için önerilmekte ve öncesinde ilgili hastalara yükleme testi yapılarak karar verilmektedir (Ülker ve Şanlıer, 2018).

2.1.5.3. Alternatif Tedavi Yöntemleri

Son yıllarda, FKÜ hastaları için enzim tedavisi ve gen tedavisi gibi alternatif tedavi yöntemleri araştırılmaktadır (Bélanger-Quintana ve ark, 2011). Kandaki FA seviyesi ve nörolojik hastalıklar arasındaki ilişki sebebiyle yeni tedavi yaklaşımlarının çoğu, kandaki FA düzeyini düşürmeyi amaçlamaktadır. Ancak, bu gelişmekte olan tedavi stratejilerinin güvenilirliği ve etkinliğini belirlemek için daha fazla araştırma ve klinik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Bélanger-Quintana ve ark, 2011). Özellikle BH_4 takviyesinin etkili olmadığı kişiler için alternatif tedavi yöntemlerinden enzim tedavisi üzerinde yoğunlaşmaktadır (Thompson ve Rohr, 2009). Ancak enzim tedavisi, ekstraksiyon ve saflaştırma aşamalarını içeren uzun ve hassas bir proses olması nedeniyle zaman alıcı ve pahalı bir uygulamadır. Bu tedavi, fenilalanini indirmek için gerekli olan FAH enziminin başka bir enzim ile ikame edilmesiyle gerçekleştirilmektedir (Soltanizadeh ve Mirmoghtadaie, 2014). Bu enzimlerden biri, fenilalanin amonyum liyazdır (FAL). FAL, fenilalanini metabolize eden, bazı bitki, maya ve bakterilerde sentezlenebilen ancak insan bünyesinde sentezlenemeyen bir enzimdir. Fenilalanin, FAL ile metabolizasyonu sonucunda zararsız bir organik asit olan transsinnamik asit ile amonyağa dönüşmekte ve idrar yoluyla hızlı bir şekilde vücuttan atılmaktadır (Staudigl ve ark, 2003).

FAL aktivitesi için sıcaklık ve pH gibi çevresel faktörlere ilişkin değerler sırasıyla 30°C ve pH 8,5'dur. Bu değerler gastrointestinal sistemde aktivitesini göstermesi için uyumludur (Ülker ve Şanlıer, 2018). Polietilen glikol-fenilalanin amonyum liyaz (PEG-PAL) diğer bir ifadeyle 'Pegvelias' (Goldstein ve Vockley, 2017). ise *Rhodotorula glutinis*'ten elde edilen FAL'e pegilasyon metotları uygulanarak yarılanma ömrünün ve buna bağlı olarak tedavinin etkinliğinin artırıldığı bir uygulamadır. Henüz FDA tarafından onaylanmamış olan bu tedavi yönteminin güvenilirliği ve etkinliğinin kanıtlanması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu belirtilmektedir (Ülker ve Şanlıer, 2018).

Gen tedavisi, karaciğerde yer alan ve fenilalanini metabolize eden FAH enzimini sentezleyen bölgenin iyileştirilmesine yönelik gerçekleştirilmektedir. (Özer 2004). Gen tedavisinin başarılı olabilmesi için FAH geninin bir vektör veya DNA aracılı gen transferi yoluyla karaciğere aktarılması gerekmektedir (Thompson ve Rohr, 2009). Ancak, şu anda hayvan modelleri üzerinde araştırılan bir tedavi yöntemi olup, insanlar üzerinde in vivo olarak denenmemiştir (Hanley, 2013). Ayrıca alternatif tedavi yöntemleri başarısız olmadıkça uygulamaya konulmasının pek mümkün olmadığı belirtilmektedir (Soltanizadeh ve Mirmoghtadaie, 2014).

2.2. Kek

Unlu mamüller, tüketime hazır veya ön işlemlerle birlikte bazı ek işlemler uygulanarak tüketilmeye uygun hale getirilmiş, tahıl esaslı unlardan elde edilen ürünler olarak tanımlanmaktadır (Azabağaoğlu ve Demiraslan, 2012). Türkiye'de de dünyanın diğer ülkelerinde olduğu gibi günlük enerji ihtiyacının yaklaşık %56-80'i olmak üzere büyük bir kısmı, ekmek başta olmak üzere unlu mamüllerden karşılanmaktadır (Dizlek, 2013). Bu sebeple, ülkemizde geniş bir ürün yelpazesine sahip olan "Un ve unlu mamuller" sektörü, gıda endüstrisinde büyük bir paya sahiptir (Günalp ve ark, 2012). Ülkemizde unlu mamuller sektöründeki ihracat oranları, ithalat oranlarına göre daha yüksek olup 2013 yılında Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) elde edilen verilere göre; unlu mamuller

ihracatının %61'lik kısmını ekmek, bisküvi ve kek gibi ürünlerin oluşturduğu bildirilmektedir (Taş ve Salan, 2017).

Unlu mamuller içerisinde ekmek ve bisküviden sonra en çok üretilen ürün olan kek, temel besin öğelerini içermesi, enerji ihtiyacını büyük bir oranda karşılaması, çeşit bakımından zengin olması sebebiyle sektörde önemli bir yere sahiptir (Tuncel ve Demirci, 2006). Ancak endüstride yer alan kek çeşitlerinin fazla olması ve buna bağlı olarak birbirinden farklı birçok kek formülasyonu bulunması, kek tanımının yapılmasını oldukça zorlaştırmaktadır (Köklü ve Özer, 2008). Türk Standartları Enstitüsü'nün yayınladığı 'Hazır Kekler (Sade, Çeşnili ve Dolgulu Kekler) Standardına (TS 13375) göre kek: 'Buğday unu veya diğer tahıl unları ve/veya karışımları, beyaz şeker, yemeklik bitkisel yağ, yumurta, tuz, kabarmayı sağlayan katkı maddeleri, çeşni maddeleri, dolgu maddeleri ve diğer katkı maddelerinin, uygun miktarda su eklenerek karıştırıldıktan sonra, tekniğine uygun biçimde işlenerek şekil verilmesi ve pişirilmesi suretiyle hazırlanan, ambalajlı olarak tüketime sunulan mamül' olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2008). Diğer bir ifadeyle; %8-9 protein içeriğine sahip yumuşak buğday ununa su ve/veya süt, şeker, yumurta, yağ, kabartıcı ajan, renklendirici ve lezzet verici çeşniler ilave edilip çırılması ile hazırlanan hamurun usulüne uygun olarak pişirilmesi ile elde edilen, tüketime hazır bir gıda maddesidir (Köklü ve Özer, 2008).

2.2.1. Kek Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

2.2.1.1. Un

Kek üretiminde ana hammadde olarak kullanılan un, nihai ürünün karakteristik tekstürel özellikleri ve görünümünü kazanmasında rol oynamaktadır (Bennion ve Bamford, 1997). Unlu mamüllerde temel yapıyı oluşturan un, kek üretiminde özellikle kek içi yapısının oluşmasında görev almaktadır (Dizlek, 2002). Buna göre un, nişasta içeriği sayesinde yapıdaki serbest suyu bağlayıp pişirme sırasındaki sıcaklık etkisiyle jelatinizasyonun gerçekleşmesi ve protein içeriği sayesinde koagülasyonun gerçekleşmesinde görev alarak kekin yapısal özelliklerini

geliştirmektedir (Koçer, 1999). Ayrıca kek hamurunun çırpılması sırasında, un partikülleri sınırlı ölçüde fiziksel olarak veya sulu fazın viskozitesini artırarak yağ moleküllerinin birleşmesini engellemektedir. Artan viskozite, hem yağ moleküllerinin hem de hava kabarcıklarının bir araya gelmesini kısıtlamakta ve bu sayede kararlı bir hamur emülsiyonu ve köpük oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Wilderjans ve ark, 2013). Ayrıca un partikül büyüklüğü ve protein içeriğinin nihai ürün olan kek kalite nitelikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Indrani ve Rao, 2008).

Un partikül büyüklüğü ile nihai ürüne ait hacim değerleri arasında negatif bir korelasyon olduğu belirtilmektedir. Diğer bir ifadeyle, parçacık boyutundaki azalma nihai ürünün görünüm özelliklerinden biri olan hacim niteliklerini olumlu yönde etkilemektedir (Indrani ve Rao, 2008). Un partikül büyüklüğü azaldıkça yüzey alanı artışına bağlı olarak su absorpsiyonu da artış göstermektedir. Un partiküllerinin su absorpsiyon kapasitesi, hamur viskozitesini etkilediğinden, kek üretiminde genellikle partikül büyüklüğü küçük olan buğday unları tercih edilmektedir (Wilderjans ve ark, 2013). Ancak partikül büyüklüğünün azaltılmasında nişasta zedelenmesine dikkat edilmesi gerektiği ve %5'in üzerinde nişasta zedelenmesinin kek kalite niteliklerini olumsuz yönde etkilediği vurgulanmaktadır (Indrani ve Rao, 2008).

Kek hamurunun düşük viskozitesi nedeniyle çırpılması esnasında daha az enerji uygulanması, kısa çırpma süresi, nötre yakın pH değeri, yüksek şeker içeriği ve kek formülasyonunda yer alan yumurta, yağ ve şeker gibi diğer bileşenlerin varlığı sebebiyle buğday ununda bulunan gluten proteinleri seyrelmektedir (Cauvain ve Young, 2006). Gluten ağının gelişimi kek hamurunda sınırlı olsa da (Wilderjans ve ark, 2008), hamurda oluşan köpük yapının termal stabilitesi için özellikle çözünür proteinlerin varlığının önemli olduğu vurgulanmaktadır (Indrani ve Rao, 2008). Ancak bunun yanında un partikül büyüklüğü ile benzer bir şekilde protein içeriği ve kek kalite nitelikleri arasında da genellikle negatif yönde bir ilişki bulunmaktadır. Buna göre, yüksek gluten miktar ve kalitesine sahip unların kek

üretiminde hammadde olarak kullanılmasının, kek hamurunda köpük oluşumunu engellediği ve buna bağlı olarak nihai ürününü hacminin azalıp daha sıkı bir tekstürel yapı kazandığı belirtilmektedir (Indrani ve Rao, 2008). Bu nedenle kek üretiminde genellikle protein içeriği ortalama %8,5 olan (Pylar, 1988), yumuşak buğdaylardan elde edilen unlar tercih edilmektedir (Wilderjans ve ark, 2013).

Gıda endüstrisi tarafından çok çeşitli ve yenilikçi ürün fikirleri sayesinde pirinç ve ürünleri, 1980-1990'lardan itibaren oldukça önemli bir yer edinmiştir (Wilkinson ve Champagne, 2004). Bu ürünlerden biri olan pirinç unu, *Oryza sativa* bitkisinin öğütülmesi ile elde edilmektedir (Bennion ve Bamford, 1997). TS 2639 standardına göre ise, ince öğütülmüş, kaba kısımları elenerek ayrılmış pirinç mamülü olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca pirinç ununun; toz formda, beyaz renkte ve homojen yapıda; kendine özgü tat ve kokuda olup yabancı madde içermemesi gerektiği belirtilmektedir (Anonim, 2018a). Pirinç unu, granül yapısı ve kendine özgü aromasından dolayı kek, pasta, şekerleme (Bennion ve Bamford, 1997), bebek mamaları ve kahvaltılık gevrek olmak üzere çok geniş bir uygulama alanına sahiptir (Wilkinson ve Champagne, 2004).

Gluten içeriğinden dolayı buğday unundan elde edilen hamurlar viskoelastik karakter göstermektedir. Bu viskoelastik özellikler, maya tarafından üretilen CO₂ gazını tutulmasını ve arzu edilen tekstürel niteliklerde nihai ürün elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak pirinç, benzer özelliği gösterecek protein fraksiyonu ve ağ yapısına sahip olmadığından, buğday unundan elde edilen unlu mamüllere benzer kalite niteliklerine sahip ürün elde etmek oldukça güçtür (Kim, 2013). Pirinç unu gluten içermemesi ve kolay sindirilebilir karbonhidrat miktarının yüksek olması nedeniyle (Özer ve Tuncel, 2016); özellikle buğday veya diğer tahıllara intoleransı veya alerjisi olan kişiler için de önemli bir hammaddedir. Glutensiz unlu mamüllerde arzu edilen tat ve rengin oluşmasına katkıda bulunmakta ancak çözünürlüğünün düşük olması nedeniyle hamur yapısı olumsuz etkilenmekte ve nihai üründe hacim başta olmak üzere birçok kalite kayıplarına sebep olmaktadır (Gallagher ve ark, 2004). Bu nedenle hammadde olarak pirinç

unu kullanılan ürünlerde yapı, genellikle hidrokolloidler ile desteklenmektedir. Bunun sonucunda, hamur viskozitesi artmakta, gaz tutma özellikleri iyileşmekte ve aynı zamanda bir nihai ürünün tekstürel özellikleri gelişmektedir (Kim, 2013).

2.2.1.2. Yumurta

Yumurta; et, süt, tavuk ve balık gibi zengin protein içeriğine sahip gıdalar arasında yer almaktadır (Lomakina ve Míková, 2006). Özellikle yumurta akının (albumen), insan vücudunda sentezlenemeyen ve gıdalarla alınması zorunlu olan esansiyel aminoasitler ve diğer aminoasitlerce zengin olduğu bildirilmektedir. Ayrıca protein sindirilebilirlik derecesi %95 olup gıdalar arasında ilk sırada yer almakta ve bunu sırasıyla süt, balık ve sığır eti takip etmektedir (Çelebi ve Karaca, 2006). Bunun yanı sıra lipit, vitamin (A, E, K ve B12 dahil olmak üzere B kompleks vitaminleri) ve mineraller (demir, fosfor) olmak üzere diğer temel besin öğelerini ve esansiyel yağ asitlerini içeren yumurta, bu sayede yüksek besleyici özelliklere sahiptir. Yüksek besin değerine sahip olması ve kolay sindirimi yumurta tüketimini arttıran faktörler arasında yer almaktadır (Lomakina ve Míková, 2006). Ayrıca, son yıllarda beslenme uzmanları ve sağlık kuruluşları tarafından yüksek doymuş yağ asidi (3g/100g) ve kolesterol içeriğine (200-300 mg/100g) sahip olması nedeniyle kardiyovasküler hastalıklarla (KVH) ilişkilendirilen ve tüketimine karşı uyarılan yumurtanın, bugün kan kolesterol düzeyi ve KVH üzerinde sınırlı etkisi bir olduğu bildirilmektedir (Miranda ve ark, 2015).

Yumurta; yumurta akı (%60-63), yumurta sarısı (%30-33) ve kabuk altı zarı ile birlikte kabuk yapısı (%9-12) olmak üzere esas olarak 3 kısımdan oluşmaktadır (Abeyrathne ve ark, 2013). Yumurta kabuğu, gözenekli bir yapıya sahip olup ana bileşeni, protein matrisi içinde bulunan kalsiyum karbonat olan ve iç yapıyı koruyan kısımdır. Yumurta akı ise, ovalbümin başta olmak üzere kompleks bir protein yapısında olup kuru madde bazında yumurtanın toplam protein içeriğinin yaklaşık %85'ini oluşturmaktadır. Yumurta sarısı ise suda yağ emülsiyon özelliği gösteren (Mine, 2015), kuru madde içeriği yaklaşık %50-52 olan ve bunun

yaklaşık 2/3'ü lipit (%65), 1/3'ü (%31) ise protein fraksiyonlarından oluşan kısımdır (Deleu ve ark, 2017). Yumurta sarısında lipitler, genellikle lipoprotein formunda bulunmakta ve trigliserit (%63), fosfatidilkolin zengin fosfolipit (%33) ile kolesterolden (<%5) oluşmaktadır (Wu, 2014). Yumurta sarısı ayrıca lesitin ve sarı renkli pigmentçe zengin ksantofil içeriğine de sahiptir (Bennion ve Bamford, 1997). Yumurtanın yaklaşık genel bileşimi; bütün yumurta, yumurta sarısı ve yumurta akı olmak üzere ayrı ayrı ve kendi içlerinde Çizelge 2.3'de değerlendirilmiştir (Anonim, 2018b).

Çizelge 2.3. Yumurtanın Genel Bileşimi (g/100g)

Bileşen	Tüm yumurta	Yumurta Sarısı	Yumurta Akı
Nem	76,11 g/100 g	53,87 g/100 g	87,30 g/100 g
Toplam Yağ	9,69 g/100 g	27,62 g/100 g	0,01 g/100 g
Protein	13,13 g/100 g	14,75 g/100 g	11,18 g/100 g
Fenilalanin	474 mg/100g	749 mg/100g	619 mg/100g

Yumurta akı başlıca proteinleri; ovalbumin, (%54); konalbümin diğer bir ifadeyle ovotransferrin (%12-13); ovomukoid (%11); lizozim (%3,4-3,5); ovomüsin (%1,5-3,0) ve avidindir (%0,05) (Mine, 2015). Globuler bir protein olan ovalbumin (Kannan ve ark, 2012), yumurta akında en çok bulunan, serbest sülfidril grupları içeren ve aminoasitlerce zengin bir fosfoglikoproteindir. Ovotransferrin ise sülfüdril bağlarınca zengin bir glikoproteindir. Ayrıca demiri bağlayabilme yeteneğinde olup antibakteriyal, antifungal ve antiviral etkileri bulunmaktadır. Ovomukoid ısıya dayanıklı bir glikoprotein olup yumurta alerjisi ile ilişkilendirilen kısımdır. Ovomüsin ise jel benzeri bir yapıya sahip olup α -ovomüsin ve β -ovomüsin olmak üzere 2 kısımdan oluşan bir glikoproteindir (Wu, 2014).

Yumurta sarısı kuru madde içeriği yaklaşık %50-52 olup bunun yaklaşık %70'i düşük yoğunluklu lipoproteinler (LDL), %16'sı yüksek yoğunluklu lipoproteinler (HDL), globuler protein (livetin; %10) ve fosfoproteinden (fosvitin;

%4) oluşmaktadır (Deleu ve ark, 2017; Wu, 2014). Başlıca yumurta sarısı proteinleri apovitellenin, fosvitin, α -lipovitellin, β -lipovitellin, α -livetinin ve β -livetinden oluşmaktadır (Wu, 2014).

Yumurta, pek çok gıda ürününün hazırlanmasında kullanılmakta olup; özellikle de unlu mamullerin üretilmesinde kullanılan en önemli bileşenlerden biridir (Frampton, 1997). Yumurta proteinlerinin çırpıldığında köpük oluşturma, ısıtılma işlemi tabii tutulduğunda koagüle olma, su-yag gibi heterojen karışımlarla emülsiyon oluşturma, besleyici özelliğini artırma gibi birçok fonksiyonu bulunmaktadır (Karakaya ve ark, 1999). Yumurta, çok fonksiyonlu bir gıda maddesi olduğundan ikame olarak kullanılması düşünülen bileşenler benzer özellikleri yeterince sergileyememektedir. Çünkü ikame maddeler, genellikle tek bir fonksiyon için özelleştirilmiş olup birden fazla fonksiyon için aynı performansı gösterememektedir (Baldwin ve ark, 1986).

2.2.1.2.(1). Yumurtanın Fonksiyonları ve Görevleri

Yumurtanın ana fonksiyonları: köpük oluşturma, koagülasyon, emülsifikasyon, şeker kristallerinin kontrol etme, besin değerini artırma, renk ve aroma gelişimini sağlama şeklinde sıralanmaktadır (Baldwin ve ark, 1986).

Kek üretiminde ana bileşenlerden biri olan yumurta, yumurta akı proteinleri sayesinde su bazlı hamurlarda köpük yapısı oluşumu; yumurta akı ve yumurta sarısı proteinleri sayesinde jel yapısı oluşumu sağlayarak kek içi hücre stabilitesini arttırmaya yardımcı olmaktadır (Diaz-Ramirez ve ark, 2016). Yumurta akı, globulinler ve lizozim ile köpük oluşturma (Johnson ve Zabik, 1980); ovomüsin ile de köpük stabilitesi özellikleri üzerinde etkili olmaktadır (Johnson ve Zabik, 1980; Kannan ve ark, 2012). Yumurta sarısı ise özellikle fosfolipit yapıda olan lesitin ve sefalin içeriği sayesinde emülgatör özelliği göstererek kek niteliklerini olumlu yönde etkilemektedir (Kamat ve ark, 1973). Yumurta ayrıca nihai ürünün tat ve renk gibi duyu özellikleri geliştirmesinin yanı sıra besin öğeleri açısından oldukça zengin olduğundan nihai ürünün besin değerini de

arttırmaktadır (Dizlek, 2002). Gıda sanayiinde özellikle kek, makarna, mayonez gibi gıdaların üretiminde yumurtanın bu fonksiyonel özelliklerinin oldukça önemli olduğu belirtilmektedir (Mine, 2015).

2.2.1.2.(1).a. Köpük Oluşumu ve Stabilizasyonu

Köpük, gaz halindeki fazın sıvı fazda dağıldığı kolloidal bir dispersiyondur. Köpük yapı, yumurta akının çırpılması esnasında hava kabarcıklarının albumende hapsedilmesiyle oluşmaktadır. Yumurta akı çırpıldıkça, hava kabarcıklarının sayısı artarken; boyutları küçülmekte, yarı saydam albumen opak bir görünüm almakta ve köpük yapı akışkan özelliğini kaybetmektedir. Köpük yapı genellikle düşük yüzey gerilimi ile ilişkilendirilmekte ve bu köpük oluşumu için gerekli olan geniş bir yüzey alanı olarak tanımlanmaktadır (Baldwin ve ark, 1986).

Yumurta akı, diğer hayvansal ve bitkisel protein kaynakları arasında çok iyi bir köpük oluşturma özelliğine sahip olup referans olarak kabul edilmektedir (Lechevalier ve ark, 2011; Anton ve ark, 2009). Yumurta akının köpük oluşturma özelliği; yumurtaya bağlı özellikler (tavuk yaşı, depolama süresi vb.) ve proses parametreleri (çırpma süresi, sıcaklık, su-şeker miktarı, proteoz-pepton) gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir (Lomakina ve Míková, 2006). Ayrıca, molekül içi ve moleküller arası etkileşimler, ara yüzey filmin reolojik özelliklerini değiştirmekte ve dolayısıyla da köpük kararlılığını belirlemektedir. Bu nedenle, yumurta akı protein yapısı ile konformasyonunun yanı sıra pH ve iyonik kuvvet gibi dış faktörler de yumurta akının köpük oluşturma özelliğinde etkili olmaktadır (Anton ve ark, 2009).

Yumurta akının köpük oluşturma özelliği, yumurta akı proteinlerinden ileri gelmekte olup bu fonksiyonel özellik açısından önem sırasına göre globulinler, ovalbümin, ovotransferrin, lizozim, ovomukoid ve ovomüsin şeklinde sıralanmaktadır (Mine, 1995; Campbell ve ark, 2003). Dolayısıyla köpük hacmi yumurta akı proteinlerinden özellikle globulin konsantrasyonu ile

ilişkilendirilmektedir (Kannan ve ark, 2012). Globulinler yüzey gerilimini düşürerek özellikle köpük oluşturma ilk aşamalarında önem arz etmektedir. Düşük yüzey gerilimi küçük hava kabarcıklarının oluşumunu sağlayarak nihai ürünün tekstürel özelliklerini geliştirmektedir (Baldwin ve ark, 1986).

Ovotransferrin (konalbumin), lizozim, ovomüsin ve ovomukoidin tek başına köpürme kabiliyetinin olmadığı veya çok az olduğu belirtilmektedir. Ancak lizozimin globulinler ile etkileşiminin köpük oluşturma üzerinde oldukça önemli olduğu belirtilmektedir (Baldwin ve ark, 1986). Özellikle, ovalbümin-lizozim kombinasyonunun, sinerjistik etki göstererek ara yüzey adsorpsiyonunda daha kalın bir film yapısı oluşturduğu bildirilmektedir. Tekli protein sistemlerine kıyasla protein kombinasyonlarının bu spesifik özelliği, pozitif yüklü lizozim ve diğer negatif yüklü yumurta akı proteinleri arasındaki elektrostatik kuvvet ile açıklanmaktadır (Lechevalier ve ark, 2011). Ayrıca ovalbümin ve lizozimin ısı ile meydana gelen denatürasyonu sonucunda köpük oluşturma özelliğinde artış gözlenmektedir. Özellikle ovalbüminin ön ısıtma ile birlikte kısmi denatürasyona uğramasının, yüzey gerilimini azaltarak köpük oluşturma kapasitesi ve köpük stabilitesini arttırdığı belirtilmektedir (Kannan ve ark, 2012). Isı ile koagüle olan yumurta proteini ovalbüminin yapıda mevcut olmadığı durumlarda, kek hamurunun pişirme sürecinde belli bir hacme ulaştıktan sonra çökme eğilimi gösterdiği belirtilmektedir (Baldwin ve ark, 1986). Ovomüsin ise, çözünmeyen bir film tabakası oluşturarak köpüğü stabilize eden yumurta akı bileşenidir (Baldwin ve ark, 1986).

Çırpma işlemi ile birlikte yumurta akı proteinlerinin çözünürlüğünde azalma, yani koagülasyon gerçekleşmekte ve oluşan köpük yapısı denatürasyonla stabil hale gelmektedir. Yumurta proteinleri koagülasyon ve denatürasyonu sıvı-gaz ara yüzeyinde gerçekleşmektedir. Globulinlerin hidrofobik grupları gaz fazı ile etkileşime girmekte, protein zincirleri moleküller arası kuvvetlerin etkisiyle bağlanmakta ve çözünmez film oluşumuyla köpük stabilizasyonu gerçekleşmektedir (Kannan ve ark, 2012). Bu durum, yumurta akının, yüzey aktif maddelerin dengeli bir karışımı olması ve yumurta akı proteinlerinin amfifilik ve

nispeten yüksek bir hidrofobik özellik sergilemeleri ile açıklanmaktadır. Böylece etkili bir şekilde adsorbe oldukları hava-su ara yüzeyine doğru hızla yayılma göstermektedir. Moleküler esneklikleri, ara yüzeyde konformasyonun yeniden düzenlenmesini sağlamakta ve yüzey geriliminde büyük bir azalmaya neden olmaktadır. Özellikle belirli bir denatürasyon seviyesi elde edildiğinde sürekli moleküller arası ağ oluşturma yetenekleri sayesinde köpük stabilitesinden sorumlu viskoelastik bir ara yüzey filmi oluşumunu sağlamaktadır (Lechevalier ve ark, 2011). Oluşan bu film yapı, köpük yapının kararlılığı için gereklidir. Stabil bir köpük yapı için ayrıca hava kabarcıklarının yüksek elastikiyete sahip olması gerekmektedir. Üretimde gereğinden fazla miktarda çırpma işlemi sonucunda, ovomüsin çözünmez hale gelmekte ve köpük yapıyı oluşturan hava kabarcıklarının elastikiyeti azaltmaktadır. Globulinler ise, yapıda viskozite artışı sağlayarak sıvı bileşenlerin köpükteki hava kabarcıklarından uzaklaşma eğilimini azaltmaktadır. Bunun sonucunda, albumen daha fazla genişlemeyecek şekilde yayılma göstermektedir. Bu durum, özellikle ısıtma işlemi maruz kalan yumurta kökenli köpük yapı için daha önemlidir. Çünkü, hava ısındığında genişlediği için havayı çevreleyen albumen yapısı zarar görmekte veya kırılmaktadır. Böyle durumlarda, gıdada kabarma faaliyeti yeterince gerçekleşmemektedir (Baldwin ve ark, 1986).

2.2.1.2.(1).b. Koagülasyon ve Jelatinizasyon

Koagülasyon ve jelatinizasyon sıklıkla birbirleri yerine kullanılan kavramlardır. Ancak koagülasyon düzensiz protein moleküllerinin bir araya gelmesi; jelatinizasyon ise protein moleküllerinin düzenli bir biçimde polimerizasyonu şeklinde açıklanmaktadır (Mine, 2015). Diğer bir ifadeyle koagülasyon çözünürlük kaybını, jelatinizasyon ya da diğer bir ifadeyle jelleşme ise akışkanlık kaybı ve yoğunlaşmayı ifade etmektedir (Baldwin ve ark, 1986).

Yumurta proteini moleküllerinin yapısındaki değişiklikler; ya çözünürlük ve viskozitede azalma meydana gelmesi ya da ısı, mekanik kuvvet, tuz ve pH gibi faktörlerin etkisiyle sıvı formdan katı veya yarı katı (jel) forma dönüşüm ile

sonuçlanmaktadır. Sıvı formdan yarı katı jel formuna geçiş koagülasyon olarak bilinmektedir (Baldwin ve ark, 1986).

Jel yapı, üç boyutlu bir ağ oluşturmak için polimerlerin kovalent ve /veya kovalent olmayan etkileşimler yoluyla birbirine bağlanması sonucu oluşmaktadır (Anton ve ark, 2009). Ayrıca izoelektrik nokta ve yüksek iyonik kuvvet etkisinin jel yapı oluşumunu desteklediği bildirilmektedir (Campbell ve ark, 2003).

Jelleşme, çözeltideki çekici (van der Waals) ve itici (elektrostatik, sterik) kuvvetler arasındaki denge bozulduğunda yani protein kararlılığı değiştiğinde meydana gelmektedir (Lechevalier, 2011). Bazı uygulamalar protein yapısını değiştirerek itici ve çekici kuvvetler arasındaki dengeyi bozmaktadır. Özellikle gıda endüstrisinde uygulanan başlıca proseslerden biri ısı işlemler sırasında globuler proteinlerin ısı ile jelatinizasyonu, buna tamamen uygun olup iki aşamalı olarak gerçekleşmektedir (Anton ve ark, 2009). İlk aşamada, proteinlerin denatürasyonu gerçekleşmektedir. İkinci aşamada ise denatüre proteinler, üç boyutlu bir jel ile sonuçlanacak şekilde birbirleriyle daha fazla etkileşime girebilen yüksek molekül ağırlıklı agregatlar oluşturmaktadır (Lechevalier, 2011).

Hem yumurta akı hem de yumurta sarısı proteinleri jelleşme özelliği göstermektedir (Lechevalier, 2011). Yumurta akı ve yumurta sarısı, dahil olduğu birçok gıdanın su tutma kapasitesini ve jelleşme özelliğini arttırmaktadır. Bu anlamda gıda endüstrisinde düşük lipid içeriğine sahip ve renksiz olan yumurta akı, yumurta sarısına kıyasla daha çok tercih edilmektedir (Mine, 2015).

Yumurta akında miktar olarak en fazla bulunan ovalbuminin denatürasyon sıcaklığı 84°C olup, yumurta akına jelatinizasyon özelliği kazandırmaktadır (Mine, 2015). Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) cihazı kullanılarak konalbumin ve lizozimin pH:7'deki denatürasyon sıcaklıklarına ilişkin değerler ise sırasıyla 61°C ve 75°C olarak belirlenmiştir (Mine, 1995). Ancak konalbumin, demir veya alüminyum gibi bir metal iyonu ile kompleks oluşturmadığı sürece ısıya duyarlılık göstermektedir (Baldwin ve ark, 1986). Yumurta akı proteinlerinden ovomukoid ve ovomüsin ise ısı ile koagüle olma özelliğine sahip değildir (Baldwin ve ark, 1986).

Yumurta sarısı, 65-70°C aralığındaki sıcaklık değerlerine maruz bırakıldığında özellikle plazma proteinlerinden olan livetin ve vitellenin'den oluşan üç boyutlu protein ağı oluşmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda bu proteinler denatüre olmakta ve livetin başta olmak üzere jel yapı oluşumu gerçekleşmektedir (Deleu ve ark, 2017). Özellikle plazmanın ana bileşenlerinden biri olan düşük yoğunluklu lipoproteinler (LDL) de ısıtılma ve donma-çözülme gibi proseslere tabi tutulması sonucunda jelleşme meydana gelmektedir LDL denatürasyonu 70°C'de başlamakta ve 80°C'de 5 dakika ısıtıldığında kararlı bir jel yapı elde edilmektedir. Isı ile gerçekleşen LDL jelatinizasyonu, pH:4-9 olmak üzere geniş bir pH aralığında meydana gelmektedir. pH 6 ile 9 arasında jel yapı opak bir görünümde olup daha düşük ve yüksek pH değerlerinde ise (pH:4-6 ve pH: 8-9) yarı saydam bir görüntü kazanmaktadır (Lechevalier, 2011).

2.2.1.2.(1).c. Emülsifikasyon

Yumurta sarısı, hem yağ damlacıklarının sulu bileşenlerin sürekli fazında dağıldığı emülsiyon formunda olup hem de emülsifiye edici ajan olarak görev almaktadır. Bu nedenle, yumurta sarısı veya tüm yumurta özellikle mayonez, ve kek gibi gıdaların üretilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Baldwin ve ark, 1986).

Yumurta sarısının ana bileşenleri, kuru maddenin yaklaşık %65'ini oluşturan 2:1 oranında bir lipit/protein kompleksidir. Lipitler, sadece lipoprotein birleşimleriyle ilişkiliyken, proteinler, lipoprotein birleşimlerinde bulunan serbest proteinler veya apoproteinler olarak bulunmaktadır. Lipitler ve proteinler arasındaki etkileşim, yumurta sarısının ana bileşenlerini temsil eden düşük ve yüksek yoğunluklu lipoproteinleri meydana getirmektedir. Yapılan çalışmalarda karışık görüşler olmasına rağmen genellikle düşük yoğunluklu lipoproteinlerin (LDL) emülsiyon oluşumu ve stabilizasyonunda yüksek yoğunluklu lipoproteinlerden (HDL) daha etkili olduğu bildirilmektedir (Lechevalier, 2011).

Emülsiyon oluşumunda ilk adım ara yüzey geriliminin azalması olup yumurta sarısında bulunan yüzey aktif maddelerin emülsifikasyonda rol aldığı bilinmektedir. Yüzey aktif maddeler yağ globülleri etrafında bir film oluşturarak birleşmelerini engellemektedir. Yağ damlacıklarını çevreleyen bu yüzey aktif maddelerin polar kısmı yağ moleküllerine; polar olmayan kısmı ise sulu faza yönelmektedir. Bir faza diğer fazdan daha fazla çekme kuvveti uygulayan yüzey aktif madde, daha fazla çözünür olduğu sıvıdaki yüzey gerilimini düşürmekte ve böylece emülsiyonun sürekli fazı oluşmaktadır (Baldwin ve ark, 1986).

2.2.1.2.(1).d. Şeker Kristalizasyonunun Kontrolü

Yumurta akının başlıca görevlerinden biri de şeker kristallerinin büyümesini kontrol etmektir. Çünkü yumurta akı, sakkaroz inversiyonundan kaynaklanan sinerezisin azaltılması veya önlenmesine katkıda bulunmaktadır. Yumurta protein molekülleri çözeltinin viskozitesini arttırmakta ve hava kabarcıklarının ara yüzeyinde toplanarak köpük yapının stabilitesini sağlamaktadır. Bu nedenle, bazı şekerlerin kalitesine katkıda bulunurken, ısı ile koagüle edilen albumen tarafından sağlanan destekleyici yapı da özellikle şekerlemelerde gereklidir. Yapılan bir çalışmada kristalizasyonun geciktirilmesinde yumurta akının etkinliği araştırılmış ve hem yumurta akı hem de mısır şurubu eklenmesinin, tek başına mısır şurubuna nazaran daha küçük kristaller oluşturduğu bildirilmiştir (Baldwin ve ark, 1986).

2.2.1.2.(1).e. Renk

Yumurta sarısı, başta unlu mamüller olmak üzere dondurma, krema, sos gibi kullanıldığı birçok gıdaya sarı, hoş bir renk kazandırmaktadır. Yumurta sarısında doğal olarak bulunan pigmentler, özellikle lutein ve zeaksantin gibi ksantofillerden oluşmaktadır. Ancak yumurtanın tek başına renk katkı maddesi göreviyle gıda ürünlerinde kullanılması pek yaygın bir uygulama değildir. Yirminci yüzyılın başlarında pazarlanan yumurta ikamelerinde, yumurta varlığını öne süren

sarı bir renk kullanılmasına rağmen, bu ikame maddelerinin işlevsel özelliklerinin yumurtaya benzemediği bildirilmiştir (Baldwin ve ark, 1986).

2.2.1.3. Şeker

Sakkaroz, kek üretiminde en yaygın kullanılan indirgen olmayan şekerdir (Wilderjans ve ark, 2013). Kek üretiminde başlıca hammaddelerden biri olan sakkarozun temel görevi, pişirme esnasında meydana gelen maillard ve karamelizasyon reaksiyonları sonucu nihai ürüne arzu edilen tat ve lezzet özelliklerini kazandırmaktır (Zhang ve ark, 2012). Bunun yanı sıra sakkaroz, pişmiş ürünün raf ömrünü uzatmakta ve kalori değerini arttırarak enerji kaynağı olarak da görev almaktadır. Ayrıca, nihai üründe arzu edilen kabarmanın gerçekleşmesi için kabartma tozu tarafından üretilen gazı muhafaza etmek için çok sınırlı bir seviyede protein gelişimine yardımcı olmaktadır (Indrani ve Rao, 2008). Kek üretiminde gerçekleşen fizikokimyasal reaksiyonlar açısından değerlendirildiğinde ise; çırpma esnasında gluten oluşumunu geciktirdiği, pişirme aşamasında ise protein denatürasyonu ve nişasta jelatinizasyonu sıcaklığını arttırdığı belirtilmektedir (Indrani ve Rao, 2008). Özellikle glikoz ile karşılaştırıldığında nişasta jelatinizasyonunu geciktirmede daha etkili olduğu belirtilmektedir (Özüğür ve Hayta, 2011).

Jelatinizasyon sıcaklığının artması sonucu nişasta jelatinizasyonunda meydana gelen gecikme, hava kabarcıklarının karbondioksit ve su buharı ile oluşturulan buhar basıncı nedeniyle homojen bir şekilde genişlemesine olanak sağlamaktadır. Bunun sonucunda ise, nihai ürünün fiziksel özellikleri hacim ve tekstür açısından olumlu yönde etkilemektedir. Bu durum, şekerin su aktivitesini düşürmesi ve granülün amorf bölgelerini stabilize etmek için nişasta zincirleriyle etkileşim kurması olmak üzere 2 bağımsız mekanizma ile açıklanmaktadır (Indrani ve Rao, 2008).

Sakkarozun protein denatürasyonu üzerindeki etkisi incelendiğinde ise, %10 oranındaki sakkaroz içeriğinin, yumurta akı proteinlerinin denatürasyon

sıcaklığını yaklaşık 2°C arttırırken; %50 oranında sakkarozun ise denatürasyon sıcaklığını yaklaşık 13°C arttırdığı bildirilmiştir. Bu etki azalan su aktivitesi ile açıklanmıştır. Sakkarozun sulu çözeltilerdeki proteinin hidrasyon özelliklerini değiştirerek termal stabilitelerini arttırdığı bilinmektedir. Polihidroksi bileşikler ve su arasındaki yoğun hidrojen bağlarının, proteinlerin doğal yapısını stabilize ettiğini ileri sürülmüştür. Sakkaroz çözeltisi, apolar aminoasitler için sudan daha az tercih edilen bir çözücü olduğundan dolayı, protein içerisindeki hidrofobik etkileşimleri yoğunlaştırabileceği ve protein denatürasyonuna karşı direnç kazandırabileceği şeklinde yorumlanmaktadır (Wilderjans ve ark, 2013).

Arzu edilen yüksek kek hacmi için, nişasta jelatinizasyonu ve yumurta proteinleri denatürasyonunun eşzamanlı olarak gerçekleşmesi gerekmektedir. Şeker-su oranı en fazla %50 olan keklerin; yüksek hacimli ve homojen gözenekli kek içi yapısına sahip olduğu bildirilmektedir. Ancak daha yüksek oranlarda sakkaroz kullanımı, nişasta jelatinizasyon sıcaklığını, kekin pişirme sırasında çıktığı bir noktaya kadar arttırmaktadır. Kek hamurunda %55-60 seviyelerinde olmak üzere yüksek oranda kullanılan sakkarozun, jelatinizasyon sıcaklığını 57°C'den 92°C'ye çıkardığı ve çökmeye neden olabileceği bildirilmiştir (Wilderjans ve ark, 2013).

2.2.1.4. Kimyasal Kabartıcılar

Kek üretiminde kabarma kimyasal ve/veya mekanik yollarla gerçekleştirilmektedir (Özer ve ark, 2004). Kimyasal olarak kabarma, kek üretiminde kullanılan ve kabartma tozu olarak da ifade edilen kimyasal kabartıcı ajanlar ile sağlanmaktadır. Burada amaç, bikarbonat ve asidin sulu ortamda reaksiyona girmesi ve bu reaksiyon sonucunda CO₂ gazı oluşturmaktır. Oluşan gaz kabarcıkları hem kekin kabarmasını yani hacim artışı; hem de pişirme sürecinde genişterek gözenekli bir yapı oluşumunu sağlamaktadır (Dizlek, 2002). Kekin kabarma derecesi çırpma ve/veya pişirme sırasında oluşan CO₂ gazının miktarı ile

oluşum hızı, kek formülasyonu ve pişirme süresinden etkilenmektedir (Özer ve ark, 2004).

Türk Standartları Enstitüsü'nün TS 9053 sayılı standardına göre, unlu mamüllerde kullanılan kabartma tozu: “Bazı unlu mamullerin üretiminde teknoloji gereği yardımcı madde olarak kullanılan, ısı ve nem varlığında CO₂ oluşturan, bikarbonatlardan bir veya birkaçı ile asit özelliğindeki kimyasal maddelerden bir veya birkaçı ile yenilebilen nişastanın meydana getirdiği bir ürün” olarak tanımlanmaktadır (Dizlek ve Gül, 2009; Özer ve ark, 2004). Bu standarda göre kabartma tozu bileşiminde yer alabilecek kimyasal kabartıcı ajanlar; sodyum bikarbonat, kalsiyum bikarbonat, amonyum bikarbonat, kalsiyum laktat, kalsiyum sitrat, sodyum hidrojen pirofosfat ve potasyum hidrojen tartarat ve sitrik asit, tartarik asit ile malik asit gibi organik asitler olarak belirlenmiştir. Ayrıca, sodyum asit pirofosfat, potasyum bitartarat, monokalsiyum fosfat monohidrat, dikalsiyum fosfat dihidrat, sodyum alüminyum fosfat ve sodyum alüminyum sülfat gibi CO₂ oluşumunu arttırmak ve stabilize etmek için kabartma tozu formülüne asidik tuzlar da ilave edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, hem asit ile alkali bileşiklerin homojen bir şekilde karışmasını sağlayan, hem de ürünü stabilize eden bir dolgu materyali olarak nişasta, kabartma tozu formülasyonlarında yer almaktadır (Dizlek, 2002).

Kabartma tozları hızlı etkili, yavaş etkili ve çift etkili olmak üzere 3 grup altında sınıflandırılmaktadır. Hızlı etkili kabartma tozlarının oluşturdıkları CO₂ gazının çoğu hamur oluşumu sırasında serbest kalmaktadır. Yavaş etkili kabartma tozlarında ise gaz oluşumu çoğunlukla pişirme aşaması boyunca yüksek sıcaklıkta meydana gelen reaksiyonlar sonucu gerçekleşmektedir. Unlu mamüllerin üretiminde genellikle çift etkili kabartma tozları kullanılıyor olup bu kabartma tozları 2 farklı asit içermekte ve hem çırpma hem de pişirme sürecinde gaz oluşumu gerçekleşmektedir (Özer ve ark, 2004).

2.2.1.5. Tuz

Kek üretiminde nicel olarak düşük miktarlarda kullanılan tuz, karamelizasyon sıcaklığını düşürerek kabuk renginin oluşmasında ve nihai ürünün tat eşliğinin ayarlanmasında rol oynamaktadır (Indrani ve Rao, 2008).

2.2.1.6. Yağ

Kek üretiminde kullanılan yağın temel işlevi, hamurun çırpılması sırasında hava kabarcıklarını yapıya dahil etmektir. Kek hamurunda yağ kristallerinin büyük kısmı sulu fazda yer almaktadır. Hava kabarcıkları genleşmeye başladığında, çok sayıda adsorbe edilen yağ kristalleri hava kabarcıklarının kırılmadan genişlemesine izin vermek için yağ-su arayüzünü serbest bırakmaktadır (Indrani ve Rao, 2008). Diğer bir ifadeyle, hava kabarcıklarının etrafını sararak hamur yapısında daha stabil hale gelmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra kek üretiminde yağ kullanımının, nihai ürünün kabuk ile iç yapısının oluşumunu sağlama, iç yapıyı yumuşatma, hacim arttırma, nem kaybını önleyerek raf ömrünü uzatma gibi birçok fonksiyonu bulunmaktadır (Mercan, 1998).

2.2.1.7. Su

Kek üretiminde su kullanımı, nişasta jelatinizasyonunun gerçekleşmesinde ve kabartma tozlarının reaksiyona girmesinde rol almakta ve şeker başta olmak üzere kek hamurunda yer alan katı formdaki bileşenlerin çözünmesi, homojen bir dağılım göstermesi için ortam oluşturmaktadır (Pyler, 1988). Ayrıca, nihai ürünün nem içeriğini etkileyen en önemli etmen olup raf ömrünü belirlemede de rol oynamaktadır (Cauvain ve Young, 2006). Kek üretiminde kullanılacak su miktarı bileşimde yer alan yumurta, süt, yüzey aktif madde başta olmak üzere diğer hammaddeler göz önüne alınarak belirlenmelidir (Dizlek, 2002). Bu nedenle kek üretiminde kullanılacak su miktarının optimize edilmesi önem taşımaktadır (Cauvain ve Young, 2006). Su miktarının yanı sıra kullanılacak olan suyun nitelikleri de nihai ürünün fiziksel özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Buna göre,

yumuşak su kullanımı; hamurun su ve gaz tutma kapasitesini düşürürken sert su kullanımı is hamurun karıştırma süresini uzatmaktadır (Köklü, 2007).

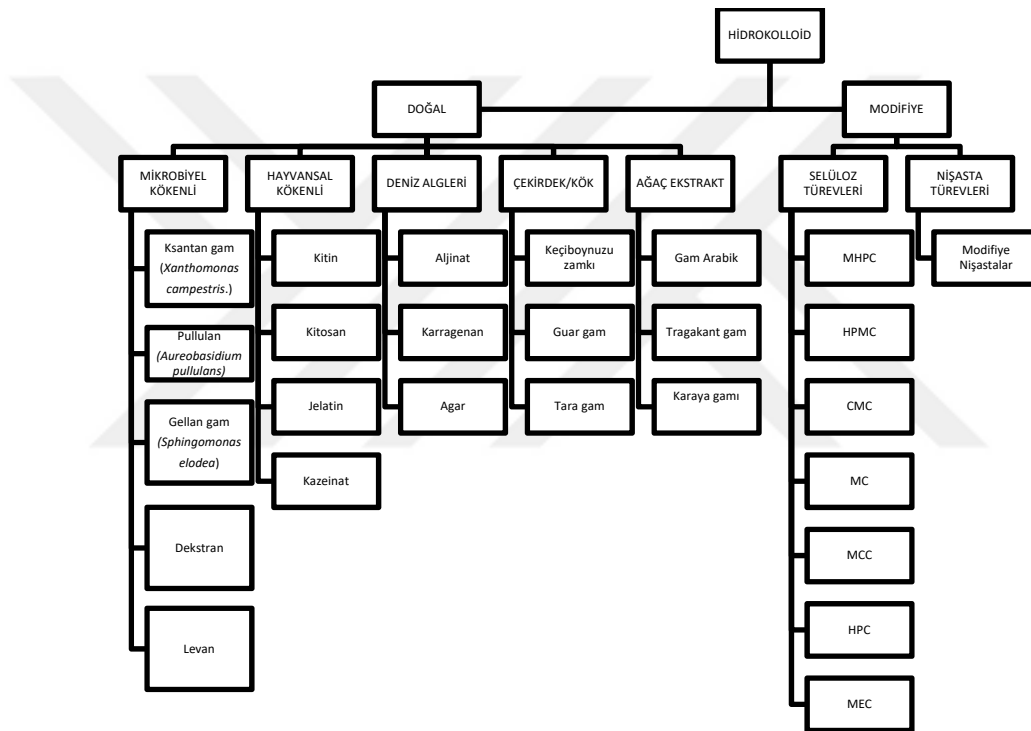
2.3. Hidrokolloidler

Günümüzde hidrokolloid terimi genellikle kıvam arttırma ve/veya jel oluşturma amacıyla sulu ortamda dağılabilen ya da çözünebilen polimerik maddeler olarak tanımlanmaktadır (Zorba, 2009; Demirci ve Arıcı, 2008). Diğer bir ifadeyle hidrofilik kolloid özellik gösteren katkı maddeleridir (Sungur ve Ercan, 2004). Hidrokolloidler; kıvam arttırıcı, jelleştirici, süspansiyon oluşturu ve stabilize edici olmak üzere çok çeşitli fonksiyonlara sahip olup özellikle gıdaların tekstürel niteliklerini etkileyen özellikleri nedeniyle gıda endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir (Zorba, 2009). Ayrıca, özellikle unlu mamüllerde nişasta retrogradasyonunu geciktirici etkisinden dolayı bayatlamayı azaltıcı ve raf ömrünü arttırıcı etkileri olduğu kaydedilmektedir (Sungur, 2018). Hidrokolloidler, gıda ürünlerindeki birçok fonksiyonunun yanı sıra diyet lif içeriğine sahip olmaları (Özcan ve ark, 2013), prebiyotik (Kandil ve ark, 2017) ve antioksidan özellik göstermeleri sebebiyle fonksiyonel gıda katkı maddeleri olarak kabul edilmektedir (İlter ve ark, 2016).

Hidrokolloidler, Uluslararası Gıda Kodeks Komisyonu'nun (CAC), gıda katkı maddeleri sınıflandırmasına göre ayrı bir sınıf olarak değil jelleştirme ajanı ve kalınlaştırıcı olmak üzere 2 alt başlık altında toplanmış olup (Sungur ve Ercan, 2004), sırasıyla gıdaya jel oluşumu ile birlikte doku kazandıran ve gıdanın viskozitesini arttıran katkı maddeleri olarak tanımlanmaktadır (Zorba, 2009).

Türk Gıda Kodeksine göre 'Herhangi bir en yüksek düzeyin belirtilmediği, ancak istenilen etkinin sağlanabildiği en düşük miktar' sınıfı olarak ifade edilen Quantum satis (QS) kategorisine dahil edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Gıda Katkı Maddeleri Komitesi'ne (JECFA) göre ise hidrokolloidlerin günlük alınması gereken doz miktarı (ADI değerleri) ile ilgili herhangi bir sınırlandırma yapılmamış olup insan sağlığı üzerinde herhangi bir toksik etkisinin de

bulunmadığını belirtilmektedir (Sungur, 2018). Hidrokolloidler, elde edildikleri kaynaklar, polimer yapıları, yükleri ve fonksiyonlarına göre olmak üzere birçok farklı şekilde sınıflandırılabilir. Elde edildikleri kaynaklara göre genel olarak doğal ve modifiye olmak üzere 2 alt sınıfa ayrılan (Zorba, 2009) hidrokolloidlere ilişkin sınıflandırma Şekil 2.3’de özetlenmiştir (Wüstenberg, 2014; Lie ve Nie, 2016).



Şekil 2.3. Hidrokolloidlerin Sınıflandırılması

2.3.1. Ksantan Gam

Ksantan gam, *Xanthomonas campestris* bakterisi kullanılarak aerobik fermantasyon yoluyla üretilen heteropolisakkarit özellikte bir hidrokolloiddir. Ksantan gam Amerika Birleşik Devletleri İlaç İdaresi (FDA) tarafından keşfedilmiş olup biyoteknolojik olarak ilk üretilen polisakkarit olarak literatürde yerini almaktadır.

Ksantan gam, esas olarak 1,4- β -D glikoz birimlerinden oluşan polimer iskelet ve D-mannoz ile D-glukuronik asitten oluşan, molekülün yaklaşık %60'ını oluşturan yan dallar içermektedir. Yan dallar, ksantan gama farklı birçok fiziksel ve kimyasal nitelik kazandırmaktadır. Bunlar başta, soğuk suda hidrate olabilme özelliği olmak üzere hidroliz, sıcaklık ve pH'ya dayanıklılık olmak üzere sıralanmaktadır. Bu özellikler ksantan gamı; yüksek sıcaklık, asit-baz, enzim, dondurma-çözündürme veya uzun süreli karıştırma sonucunda oluşabilecek bozunmalara karşı dayanıklı kılmaktadır (Zorba, 2009).

Unlu mamüller açısından değerlendirildiğinde özellikle emülgatörlerle birlikte kombinasyon halinde kullanıldığında hamur viskozitesini arttırarak pişirme esnasında çökmeyi engellediği bildirilmektedir. Ayrıca, nihai ürüne ait hacim ve porozite değerlerini de arttırdığı belirtilmektedir (Özüğür ve Hayta, 2011).

2.3.2. Guar Gam

Guar gam, *Cyamopsis tetragonalobus* ve *Cyamopsis psoraloides* olmak üzere guar bitki tohumlarının öğütülmesi ve ekstrakte edilmesi sonucu elde edilmektedir. D-mannoz ve D-galaktoz alt birimlerinden oluşan guar gam galaktomannan yapısındadır. Mannoz birimleri birbirleriyle β -1,4 bağları ile düz zincir halinde bağlanmış olup; her bir mannoz birimine ise bir D-galaktoz birimi α -1,6 bağı ile yan zincir şeklinde bağlanmaktadır. Soğuk suda hidrate olabilen guar gam %0,5 konsantrasyonun üzerinde psödoplastik akış özelliği gösterirken; %0,5 konsantrasyonun altında ise Newtonian akış özelliği göstermektedir (Zorba, 2009).

2.3.3. Selüloz Türevi Hidrokolloidler

Birçok polimerik organik bileşik ile kompleks halde bulunan selüloz, lineer, yüksek molekül ağırlıklı ve polar bir polimerdir. Hidrofilik bir bileşik olmasına rağmen selülozun yapısındaki her bir molekül kuvvetli hidrojen bağı ile bağlandığından dolayı suda çözünmemektedir. Ancak anhidroglikoz birimleri hidroksil grubu (-OH) içerdiğinden, bu gruplar reaksiyona tabi tutularak selülozun

suda çözünabilir formları elde edilebilmektedir. Saflaştırılmış selüloza alkali ortamda hidroksipropil-, hidroksipropil metil-, karboksimetil-, metil etil- gibi hidroksil grupları ile yer değiştirecek moleküller bağlanması sonucu gerçekleşmektedir. Bunun sonucunda, selüloz türevi modifiye hidrokolloidlerde anhidroglikoz biriminde yer değiştirmiş hidroksil sayısı olarak ifade edilen ikame derecesi (İD) (substitution degree) oldukça önemli bir kavram ortaya çıkmakta ve en yüksek 3 değerini almaktadır. Bu selüloz türevleri suda çözünabilir nitelikte ve kimyasal olarak modifiye edilmiş yarı sentetik hidrokolloidlerdir (Zorba, 2009).

Selüloz türevi hidrokolloidler (HPMC, CMC, MC vb.), gıda endüstrisinde yaklaşık 20 yılı aşkın bir süredir mevcut ürünlerin iyileştirilmesi ve yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Suda çözünürlükleri nedeniyle ürünün reolojik özelliklerinde modifikasyona neden olarak gıda ürünlerinin yapısını geliştirmeye yardımcı olmaktadır. Kullanım koşullarına bağlı olarak bağlayıcı (binder), kalınlaştırıcı (thickener) ve stabilizör gibi farklı fonksiyonlara sahiptir. Bazı gıda ürünlerinde yalnızca bir işlev kullanılırken, bazılarında birkaç farklı işlev aynı anda kullanılabilir. Arzu edilen teknolojik etkiyi elde etmek çoğu durumda %0,1-0,5 aralığında ve genellikle %1'den düşük konsantrasyonlarda kullanılmaktadır. Selüloz türevi hidrokolloidler, unlu mamullerde, süt ürünlerinde, dondurulmuş tatlılarda, kaplanmış ürünlerde ve diğer birçok gıda ürününde endüstriyel olarak kullanılmaktadır (Zorba, 2009).

2.3.3.1. Hidroksipropil Metil Selüloz (HPMC)

Hidroksipropil metil selüloz (HPMC) selüloz zincirine metil ve hidroksipropil gruplarının eklenmesi ile elde edilen modifiye hidrokolloidlerden biridir. Ancak hidrofobik grupların yanı sıra aynı zamanda kısmen selülozun hidrofilik özelliğini de korumaktadır. Bu sayede yüzey aktivitesine sahip polimer gibi davranabilmektedir (Kohajdova ve ark, 2009). HPMC ve benzer nitelik gösteren metil selüloz (MC) soğuk suda çözünabilen selüloz türevi hidrokolloidler olup düşük pH değerlerinde viskoziteyi azaltıcı etkisi görülmektedir. Bu

hidrokolloidler sırasıyla yaklaşık 52°C ve 63-80°C'ye ısıtıldıklarında en önemli özelliklerinden biri olan jel yapısı oluşturmaktadır. Ancak, ısıtma ve soğutma gibi ısı işlemleri sonucunda histeresiz oluşabilmektedir (Murray, 2009).

Unlu mamüllerde, HPMC kullanımı sonucunda, nihai ürünün hacim ve nem içeriğini artırarak; iç yapısı ve duyu özellikleri gelişerek kaydedilerek kalite nitelikleri iyileştirilmektedir. Ayrıca, HPMC amilopektin retrogradasyonunu geciktirerek bayatlamayı önlemekte ve raf ömrünü uzatmaktadır (Kohajdova ve ark, 2009).

2.3.3.2. Karboksimetil Selüloz (CMC)

Karboksimetil selüloz (CMC) kimyasal olarak modifiye edilmiş selüloz türevi hidrokolloidlerden biridir (Al-Assaf ve Philips, 2009). CMC, selüloz yapısını oluşturan glukopiranoz monomerlerinde bulunan bazı hidroksil gruplarına bağlanan karboksimetil gruplarına (-CH₂-COOH) sahiptir. Soğuk suda hızla çözünerek jelleşmekte ve bu özelliğinden dolayı genellikle viskoziteyi kontrol etmek için kullanılmaktadır (Kohajdova ve ark, 2009). Ticari olarak, CMC türleri viskozite, partikül boyutu, ikame derecesi (İD), polimerizasyon derecesi gibi parametreler ile karakterize edilmektedir (Anton ve ark, 2009). CMC ikame derecesi en yüksek 3 olup (Al-Assaf ve Philips, 2009), AB mevzuatında en yüksek 1,5 ikame derecesine kadar izin verilmektedir. Gıda uygulamaları için bu değer genellikle 0,6±0,95 aralığındadır. Düşük ikame dereceli CMC'ler tiksotropik özellik gösterirken, yüksek ikame dereceli CMC'ler ise psödoplastik akış eğilimi göstermektedir (Anton ve ark, 2009). CMC'nin özellikleri polimerizasyon derecesinden de etkilenmektedir. Yüksek polimerizasyon derecesine sahip CMC'ler, daha yüksek viskozite ve film oluşturma özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, ikame derecesi ve polimerizasyon derecesi gibi faktörlerin kombinasyonu ile çok çeşitli hidrokolloidler elde edilebilmektedir (Al-Assaf ve Philips, 2009). CMC genel olarak viskozitede artış sağlamasına rağmen; elektrolit ilavesi, düşük

pH değerleri (Anton ve ark, 2009) ve ısıtma gibi faktörlerin etkisiyle viskozite değerlerinde düşüş kaydedilmektedir (Kohajdova ve ark, 2009).

Unlu mamüllerde CMC kullanımı hacim verimini ve bazı ingrediyeentlerin süspansiyon içerisindeki dağılımını arttırmaktadır. Yüksek su tutma kapasitesinden dolayı CMC içeren formülasyonlarda ilave su kullanılması gerekmekte olup, özellikle depolama sonrasında verim ve nem değerlerinde artış sağlamaktadır. Partikül büyüklüğü düşük olan CMC'lerin un ile birlikte kullanımı daha uyumlu olup aynı zamanda un ve şeker gibi diğer bileşenlerle rekabet edebilecek şekilde daha iyi bir su absorpsiyonu sağlamaktadır (Anton ve ark, 2009).

2.3.3.3. Metil Selüloz (MC)

Selülozun metil ester türevi olan metil selüloz (MC), alkali ortamda selülozun metil klorür ile reaksiyonu sonucu elde edilmektedir. Metil selüloz İD değeri 1,6-2,03 aralığında değişmekte olup diğer selüloz türevi hidrokolloidlerde olduğu gibi oldukça önemli arz etmektedir. Yüksek İD değerine sahip MC; polar, organik çözügenlerde çözünebilirken; düşük İD değerine sahip MC ise sadece alkali çözügenlerde çözünebilmektedir (Zorba, 2009).

2.4. Yumurta İkame Maddeleri Kullanılarak Yapılan Kek Çalışmaları

Fenilketonüri gibi özel bir diyet uygulaması gereken, yumurta alerjisi olan ve kolesterolü yüksek hasta gruplarına yönelik (Lin ve ark, 2017a; Tan ve ark, 2015), veya farklı dini inanca sahip ya da farklı beslenme tercihleri (lakto-vejetaryen, vegan vb.) olan tüketiciler için (Ashwini ve ark, 2009; Tan ve ark, 2015), gıda üretiminde yumurta ikame maddelerinin kullanılmaktadır. Ayrıca taşıma, depolama gibi üretim sürecinde önemli yeri olan parametreler (He ve ark, 2015) ekonomik sebepler ve raf ömrü göz önüne alındığında yumurta ikame maddesi (YİM) kullanımı önem arz etmektedir (Shao ve ark, 2015).

Bu nedenle, YİM'in unlu mamullerde (Geera, 2011), özellikle de kek formülasyonlarında kullanılmasına yönelik çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Genel

olarak, yumurta ikame maddeleri hidrokolloid/polisakkarit bazlı ve protein konsantresi bazlı olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Protein bazlı olanlar ise kendi içlerinde bitkisel (soya, gluten vb.) ve hayvansal protein kaynakları (peynir altı suyu proteini vb.) olmak üzere 2 alt gruptan oluşmaktadır (Ratnayake ve Hutchison 2010).

Yapılan literatür araştırması sonucunda, kek üretiminde yumurtanın kısmen veya tamamen ikame edilmesi amacıyla; genellikle peynir altı suyu proteini (PSP), peynir altı suyu proteini konsantresi (PSK) ve peynir altı suyu proteini izolatu (PSİ); soya sütü, soya unu, soya protein izolatu (SPI); mercimek, bezelye, acı bakla, börülce gibi çeşitli baklagillerden elde edilen protein ve izolatlar gibi yüksek protein içeriğine sahip olan maddelerin tek başlarına ve/veya hidrokolloid ile emülgatörler ile kombine bir biçimde kullanıldığı görülmektedir (Çizelge 4.4). Farklı konsantrasyon ve kombinasyonlarda yumurta ikamesi kullanılarak üretilen kek çalışmaları aşağıda verilerek özetlenmiştir.

Singh ve ark (2017) yaptıkları çalışmada, peynir altı suyu konsantresi (PSK) ve yağsız süt tozunun (ST) yumurta ikamesi olarak birlikte kullanımının, keklerin bazı fiziksel özellikleri ve besin değeri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre; yumurta ikamesi kullanılan örnekler ait nem, pişme kaybı ve spesifik hacim değerlerinin kontrol örneğine göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Yumurta kullanılarak hazırlanan kontrol örnekleri ve yumurta ikamesi kullanılan keklere ait yağ içeriği sırasıyla %19,73; %17,43 ve karbonhidrat içeriği sırasıyla %47; %50,58 olarak belirlenmiştir. Kontrol grubu kek örneklerine ait yağ miktarının daha fazla olması, yumurta sarısının yüksek lipit içeriği; yumurta ikamesi kullanılan örneklerde karbonhidrat içeriğinin fazla olması ise PSK ve ST'nin yüksek miktarda laktoz içeriğine sahip olması ile açıklanmıştır. Ayrıca kontrol örneği ve yumurta ikamesi kullanılan örnekler ait enerji değerleri sırasıyla 439,79 kcal ve 383,45 kcal olup yaklaşık %12,81 oranında daha düşük kalorili kek üretimi gerçekleştirildiği bildirilmiştir.

Ultrafiltrasyon tekniği ile elde edilen ve %62,5 protein içeriğine sahip peynir altı suyu proteini konsantresinin (PSK) 3 farklı oranda (%5, %7 ve %9) yumurta ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada, yumurtasız keklerin fiziksel ve duyuşsal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. PSK konsantrasyonunun %5'ten %7'ye çıkarılması, kek merkezi yüksekliğinde artışa neden olurken; %9 oranına yükseltilmesinin kek örneklerine ait yükseklik değerlerinde herhangi bir değişiklik yaratmadığı bildirilmiştir. Kek örneklerine uygulanan tekstür analizi sonuçlarına göre, PSK konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak sertlik değerlerinde artış belirlenmiştir. Gözenek, renk ve tekstür parametreleri göz önüne alınarak gerçekleştirilen duyuşsal değerlendirmede ise, panelistler tarafından en beğenilen örneklerin %7 oranında PSK kullanılan kekler olduğu belirlenmiştir (Puranik ve Gupta, 2017).

Mane ve Khandakar (2017), yapmış oldukları çalışmada %15, %25, %35 olmak üzere 3 farklı oranda peynir altı suyu proteini (PSP) kullanarak yumurtasız kek üretimi gerçekleştirmiştir. Buna göre, en yüksek nem içeriğinin %35; en düşük nem içeriğinin ise %15 oranında oranında PSP içeren örneklerle ait olduğu tespit edilmiştir. 10 kişi tarafından renk, tat, tekstür ve genel kabul edilebilirlik açısından hedonik test uygulanarak gerçekleştirilen duyuşsal analiz sonuçlarına göre, %35 oranında PSP içeren kek örnekleri tüm parametreler göz önüne alındığında en düşük puanları alırken; %15 oranında PSP içeren keklerin ise yumurta kullanılarak üretilen kontrol keklerine benzer özellik gösterdiği vurgulanmıştır.

Peynir altı suyu proteini izolatının (PSİ) su bağlama, emülsifikasyon, köpük ve jel oluşturma gibi fonksiyonel özelliklerinden yola çıkarak kek üretiminde yumurta ikame maddesi olarak kullanım olanakları araştırılmıştır. Buna göre, yumurta akı proteini (YAP), %12,5; %25; %50 ve %100 olmak üzere 4 farklı oranda ikame edilerek kek nitelikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre en yüksek pişme kaybı değeri yumurtanın tamamen ikame edildiği kek örneklerinde %19,3 olarak tespit edilmiştir. En düşük spesifik hacim değeri yumurtanın %50 oranında; en yüksek spesifik hacim değeri ise %25

oranında ikame edildiği kek örneklerinde elde edilmiştir. Tekstür analizi sonuçlarına göre ise en yüksek sertlik (6,16 N) ve en düşük yapışkanlık (0,65) değerleri yumurtanın tamamen ikame edildiği kek örneklerinde tespit edilmiştir. Duyusal değerlendirmeye göre, genel kabul edilebilirlik kriteri açısından %25 oranında ikame edilen örnekler ile kontrol örneği arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$); %100 oranında ikame edilen örnekler panelistler tarafından en az beğenilen örnekler olarak belirlenmiştir (Diaz–Ramirez ve ark, 2016).

Peynir altı suyu proteini konsantresi (PSK) (%8 w/w) içeren yumurtasız keklerde poligliserol ester (PGE), monodigliserid (MDG) ve lesitin olmak üzere 3 farklı emülgatör kullanımının kek nitelikleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve yanıt yüzey yöntemi kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Emülgatör kullanılarak üretilen tüm kek örneklerinde kontrol örneğine kıyasla hacim değerlerinde artış gözlenmiş; gözeneklilik ve duyusal niteliklerinde iyileşme kaydedilirken nem içeriği ve sertlik değerlerinde de artış tespit edilmiştir. Sabit PSK varlığında emülgatörlerin tek başına veya kombine halinde kullanımının genellikle kek kalite niteliklerini olumlu yönde geliştirdiği bildirilmiştir. Optimizasyon için kek örneklerine ait nem içeriği, sertlik, yapışkanlık, hacim, gözeneklilik ve toplam kabul edilebilirlik ilgili bağımlı değişkenler olarak belirlenmiştir. Buna göre optimize edilen yumurtasız kek formülasyonunun; %0,5 PGE, %0,25 MDG ve %0,5 oranında lesitin kombinasyonu kullanılarak elde edildiği belirtilmiştir (Movahhed ve ark, 2016).

Peynir altı suyu protein izolatının (PSİ) 3 farklı konsantrasyonda (%14, %17, %20) tek başına veya hidroksipropil metil seüloz (HPMC) ve sodyum stearol-2-laktilat (SSL) karışımı ile birlikte kullanılarak yumurtanın kısmen (%50) veya tamamen (%100) ikame edildiği çalışmada, keklerin bazı kalite nitelikleri üzerindeki etkisi incelenerek değerlendirilmiştir. Yumurtanın tamamen ikame edildiği kek hamurlarının özgül ağırlığında artış tespit edilmiştir. Yumurtanın kısmi olarak ikame edildiği kek örneklerinde pişme kaybı değeri kontrol örneğinden daha

düşük olup %20 oranında PSİ kullanılan kek örneklerinde bu değerin daha yüksek ve istatistiksel açıdan anlamlı olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Ayrıca, %20 oranında PSİ kullanılan kek örneklerinde sertlik, elastikiyet ve yapışkanlık gibi tekstürel özelliklerin, kontrol örneği ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu saptanmıştır. Görüntüleme teknikleri uygulanarak tespit edilen birim alandaki gözenek sayısı; kontrol örneğinde en yüksek iken yumurtanın tamamen ikame edildiği kek örneklerinde ise en düşük değeri aldığı bildirilmiştir. Ayrıca emülgatör kullanımı ve PSİ konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak, 4 günlük depolama süresi boyunca yumurtanın ikame edildiği tüm numunelerde bayatlama derecesinin önemli oranda azalma gösterdiği belirlenmiştir ($p<0,05$) (Paraskevopoulou ve ark, 2015).

Tan ve ark (2015) yaptıkları çalışmada, yumurtasız kek üretiminde ultrasound ön işlemine tabi tutulmuş peynir altı suyu konsantresini (PSK) %10, %15, ve %20 olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda kullanılmıştır. Elde edilen kekler, ultrasound işlemine tabi tutulmamış PSK ve yumurta akı proteini (YAP) kullanılan keklerle hacim, yoğunluk, tekstür gibi kalite nitelikleri üzerinden karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. PSK konsantrasyonu artışına bağlı olarak kek örneklerine ait hacim değerlerinde artış; yoğunluk değerlerinde ise azalma tespit edilmiştir. Ultrasound işlemine tabi tutulmuş PSK kullanılan keklerde hacim değerlerinin yumurta akı proteini kullanılan kontrol keki ile karşılaştırılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. YAP konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak sertlik değerlerinin azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca, ultrasound uygulamasının sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azalttığı tespit edilmiştir ($p<0.001$). ultrasound genliğinin %60 ve uygulama süresinin 25 dk olduğu PSK kullanılarak üretilen kek örnekleri, ultrasound uygulanmayan PSK kek örnekleri ile karşılaştırıldığında gözenek sayısının %38 oranında arttığı görülmüştür.

Kohrs ve ark (2010), tarafından yapılan çalışmada, kek üretiminde peynir altı suyu protein izolatu (PSİ), buğday nişastası, guar gam, ksantan gam ve/veya

bunların belli oranlarda kombinasyonu kullanılarak yumurta %50 ve %100 oranında ikame edilmiştir. Yumurtanın tamamen ikame edildiği örneklerle ait hacim değerlerinin, kontrol örneğinden daha düşük olduğu ve tekstür analiz sonuçlarına göre PSİ kullanılan kombinasyonlara ait sertlik değerlerinin ise daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca, sadece guar gam, PSİ ve buğday nişastasının birlikte kullanıldığı formülasyona ait kek örneklerinin elastikiyet değerlerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Hacim ve tekstürel özellikler açısından değerlendirildiğinde ise, guar gam/peynir altı suyu protein izolatu/buğday nişastası (GPN) ve ksantan zamlı/peynir altı suyu protein izolatu/buğday nişastası (XPN) kombinasyonları kullanılarak kontrol örneği ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yaşları 18-25 aralığında değişen 104 kişi tarafından gerçekleştirilen tüketici testi sonuçlarına göre; genel görünüm, tekstür, aroma ve toplam kabul edilebilirlik açısından en çok tercih edilen kek numunelerinin XPN formülasyonu ile üretilenler olduğu panelistler tarafından saptanmış ve kontrol örneğinden daha yüksek puanlar aldığı bildirilmiştir.

Kek üretiminde 4 farklı oranda (12, 16, 20, 24 g) peynir altı suyu proteini (PSP) ve acı bakla proteini (BP) (5,5; 7,5; 9,5; 11,5 g) kullanılarak yumurtanın kısmi olarak ikame edilme olanakları değerlendirilmiştir. PSP kullanımı ile yumurta %66,67 oranında; LP kullanımı ile de %33,5 oranında olmak üzere kısmi olarak ikame edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, PSP ve BP konsantrasyonu arttıkça kek hacminde artış gözlenmiş ancak kontrol kekine ait hacim değerinden daha düşük olduğu bildirilmiştir. Bu doğrultuda yumurtanın tamamen ikame edilmesi için; 16g ile 20g PSP ve 7,5 ile 9,5 g BP'nin kombinasyon şeklinde kullanımı tercih edilmiştir. En yüksek kek hacmi, 9,5g BP, 16g PSP ve 5g soya lesitini (SL) kombinasyonu kullanılarak üretilen keklerde elde edilmiştir. Kek hacmi bağlamında değerlendirildiğinde, PSP ve BP'nin kombinasyon şeklinde kullanımı, tek başlarına kullanımı ile karşılaştırıldığında daha başarılı sonuçlar elde edildiği vurgulanmıştır (Hussain ve Al-Oulabi, 2009).

Yumurta ikamesi olarak farklı oranlarda (%10, %20, %30) peynir altı suyu proteini konsantrasyonu (PSK) kullanıldığı bir çalışmada PSK oranı arttıkça kek hamuru viskozitesi ve yoğunluğunda azalma tespit edilmiştir. En yüksek kek hacmi ve en iyi kek iç yapısına %20 oranında PSK kullanılan örneklerin sahip olduğu bildirilmiştir. Bu durum, yumurtanın %20 oranında PSK ile ikame edilmesinin kek pişirme ve reolojik özelliklerini geliştirdiği şeklinde yorumlanmıştır (Jyotsna ve ark, 2007).

Lin ve ark. (2017b), yapmış olduğu diğer bir çalışmada, vejetaryenlerin tüketimine yönelik kek formülasyonu geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; bitkisel protein kaynağı olarak soya protein izolatu (SPI) ile birlikte hidrokolloid olarak ksantan gam (%0,1) ve emülgatör olarak monodigliserit veya soya lesitini (%1) tek başlarına veya kombinasyonlar halinde yumurta ikame maddesi olarak kullanılmıştır. SPI ve %1 oranında monodigliserit kombinasyonu ile üretilen keklerin; spesifik hacim ($1,92 \text{ cm}^3/\text{g}$), sertlik (319,8) ve nem (%28,03) değerleri göz önünde bulundurulduğunda, kontrol grubu ile benzer fizikokimyasal özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca renk analizi sonuçlarına göre, yumurta ikamesi olarak SPI kullanımının L^* ve b^* değerlerinde azalma a^* değerinde ise artış sağladığı tespit edilmiştir. Tekstür analizi sonuçlarına göre ise, SPI kullanımının genel olarak sertlik değerlerini arttırırken, elastikiyet değerlerini ise azalttığı saptanmıştır. Sonuç olarak, kek üretiminde SPI ve emülgatör kombinasyonun yumurta ikamesi olarak kullanımının umut vadettiği ifade edilmiştir.

Omega-3 içeriği zenginleştirilmiş yumurtasız kek üretimi için yağsız soya unu ve keten tohumu, sodyum stearol-2-laktilat (SSL) veya gliserol monostearat (GMS) olmak üzere 2 farklı emülgatörle kombinasyon halinde kullanılmıştır. Buna göre keklerin yağ asidi kompozisyonu başta olmak üzere besinsel değeri, fiziksel ve tekstürel özellikleri değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, %10 soya unu, %5 keten tohumu ve %0,5 GMS kombinasyonunun kullanıldığı kek örneklerinin kül, protein, diyet lif ve linolenik asit içeriğinin diğer tüm kek örneklerine kıyasla

daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca aynı içeriğe sahip kek örneklerinin, yumurta kullanılan kontrol kekinden sonra en yüksek hacim değerine sahip olduğu bildirilmiştir. Tekstür analizi sonuçlarına göre ise, en yüksek sertlik ve en düşük elastikiyet değerlerinin kontrol örneğine ait olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, farklı bitkisel kaynakların emülgatörlerle birlikte kullanımı sonucu esansiyel yağ içeriğince zenginleştirilmiş yumurtasız kek üretimi gerçekleştirilmiştir (Kumar ve ark, 2017).

Kek üretiminde yumurta ikamesi kullanılan bir çalışmada; farklı tür, oran ve kombinasyonlarda emülgatör kullanımının bazı kalite parametreleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Buna göre, bitkisel protein kaynağı olarak soya sütü ve emülgatör olarak gliserol monostearat (GMS), lesitin ve/veya sorbitan mono stearat (SMS) kullanılarak üretilen yumurtasız kekler fiziksel ve duyuşal özellikleri açısından incelenerek optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Nem analizi sonuçlarına göre, 5 günlük depolama sonrasında örnekler arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0.05$). GMS, lesitin ve SMS kullanılarak üretilen yumurtasız keklerle ait spesifik hacim değerleri sırasıyla 2,417 cm³/g; 2,404 cm³/g ve 2,055 cm³/g olarak saptanmıştır. Renk analizi sonuçlarına göre, kontrol grubu örneklerine ait L* değeri en düşük; a* değeri ise en yüksek iken yumurtasız kekler arasında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Hedonik test uygulanarak 5 puan üzerinden değerlendirilen duyuşal analiz sonuçlarına göre, %0,5 GMS ve %0,5 lesitin kombinasyon halinde kullanıldığı keklerin genel kabul edilebilirlik değerlerinin en yüksek olduğu belirtilmiştir (Rahmati ve Tehrani, 2014).

Diğer bir çalışmada soya ve ürünlerinin esansiyel bir aminoasit olan lisin içeriğince zengin olması ve sağlık üzerinde yarattığı olumlu etkilerinin yanı sıra ekonomik olduğu belirtilmiştir. Ayrıca diyet kısıtlaması bulunan çeşitli hasta gruplarına ve/veya vejetaryen, vegan gibi farklı beslenme tercihlerine yönelik ürünlerin geliştirilmesinde hammadde olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, soya sütünün 6 farklı konsantrasyonda soya lesitini (%1, %2, %3, %4, %5, %6) ile birlikte kombinasyon halinde kullanımı sonucu yumurta

tamamen ikame edilerek kek üretimi gerçekleştirilmiştir. Yumurta ve emülgatör kullanılmayan kontrol keklerinin daha yüksek viskozite ve özgül ağırlık değerlerine sahip olması nedeniyle nihai ürünün hacim, gözenek ve kabuk L* değerlerinin daha düşük; sertlik değerlerinin ise daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, yüksek konsantrasyonlarda emülgatör kullanımının organoleptik özellikleri olumsuz yönde etkilediği vurgulanarak optimum emülgatör konsantrasyonu %4 olarak belirlenmiştir (Hedayati ve Tehrani, 2018).

Kek üretiminde yumurta ikamesi kompozisyonundaki farklılıkların, nihai ürünün fiziksel ve duyuşsal özellikleri üzerindeki etkisinin belirlendiği benzer bir çalışmada, sıvı yumurta, yumurta tozu ve 3 farklı ticari yumurta ikamesi (soya unu/gluten esaslı, peynir altı suyu proteini, lif/hidrokolloid esaslı) kullanılarak 5 farklı kek formülasyonu geliştirilmiştir. Pişirme kaybı değerlerinin lif ve gam içeriğinden oluşan yumurta ikamesinin kullanıldığı keklerde en yüksek iken, yumurta tozu ve sıvı yumurta kullanılan kontrol grubu keklerde ise en düşük olduğu saptanmıştır. Renk analizi sonuçlarına göre, tüm kek örneklerine ait L* ve a* değerlerinde önemli farklılıklar gözlenmezken ($p>0,05$); b* değerinin yumurta ve peynir altı suyu proteini kullanılan kek örneklerinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak kek kabuk yapısında arzu edilen sarı rengi veren bu değer duyuşsal analiz gerçekleştiren panelistler tarafından ayırt edilemediği ifade edilmiştir. 1. ve 7. günün sonunda gerçekleştirilen ve bu depolama süresince oda sıcaklığında uygun ambalajlar içerisinde muhafaza edilen kek örnekleri arasında soya ve buğday esaslı örnekler en yüksek sertlik değerine, yumurta kullanılan örnekler ise en yüksek yapışkanlık değerine sahiptir. Depolama sonunda tüm örneklerin sertlik değerlerinde artış; yapışkanlık değerlerinde ise azalma tespit edilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre, soya bazlı yumurta ikamesi kullanılan keklerin arzu edilmeyen tat oluşumu nedeniyle en az tercih edilen ürün olduğu gözlenmiştir (Ratnayeke ve ark, 2011).

Farklı içeriklere sahip 3 farklı ticari yumurta ikamesi (Yİ₁:soya unu, vital gluten, mısır şurubu, sodyum aljinat; Yİ₂: şeker kamışı lifi, ksantan gam, guar

gam, Yİ₃: peynir altı suyu protein konsantresi) kullanımının, keklerin fiziksel ve duyuşsal özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda elde edilen veriler, sıvı yumurta ve yumurta tozu kullanılarak üretilen kontrol grubu kek örnekleri ile karşılaştırılmıştır. En yüksek pişirme kaybı değeri Yİ₂; en düşük Yİ₁ ticari yumurta ikamesi kullanılan kek örneklerinde elde edilmiş olup lif ve hidrokolloidlerce zengin yumurta ikame maddelerinin (Yİ₂) pişirme aşamasında su bağlama kapasitelerinin yetersiz olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Yumurta tozu kullanılarak üretilen kek örneklerinin yükseklik, hacim ve sertlik değerlerinin yumurta ikamesi kullanılan keklere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Renk ve TPA analiz sonuçlarına göre, Yİ₃ ve kontrol grubu örneklerinin daha düşük L*, daha yüksek a* ve sertlik değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca soya bazlı yumurta ikamesi (Yİ₁) ile üretilen keklerin genel kabul edilebilirlik değerlerinin daha düşük olduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak fiziksel ve duyuşsal analiz verileri doğrultusunda bu çalışmada kullanılan hiçbir yumurta ikame maddesinin, yumurtayı tamamen ikame edemediği bildirilmiştir (Geera ve ark, 2011).

Soya protein izolatı (SPI), bezelye proteini izolatı (BPI), yumurta akı proteini (YAP), kazein, vital gluten (VG) olmak üzere 5 farklı yumurta ikamesi kullanılarak üretilen pirinç unu bazlı glutensiz kekler bazı kalite nitelikleri açısından herhangi bir protein kaynağı içermeyen kontrol kekleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, merkezi yüksekliği en fazla olan keklerin YAP içerdiği, en düşük olan keklerin ise SPI kullanılan kekler olduğu ve yükseklik değerinin protein içermeyen kontrol kekinden daha düşük olduğu saptanmıştır. Ayrıca kazein ve YAP içeren keklerin spesifik hacim değerlerinin diğer kekler ile karşılaştırıldığında anlamlı derecede yüksek olduğu (p<0,05) belirlenmiştir. Tekstür analizi sonuçlarına göre BPI içeren kek örneklerinin daha düşük sertlik ve elastikiyet değerlerine; YAP içeren keklerin ise en yüksek çignenebilirlik değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak yumurta ikamesi olarak

kullanılan protein kaynaklarının nihai ürünün tekstür ve diğer teknolojik özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğu vurgulanmıştır (Matos ve ark, 2014).

Lakto-vejetaryenlerin tüketimine yönelik yumurtasız kek üretiminin gerçekleştirildiği bir çalışmada, bezelye protein izolatı (BPİ) ile birlikte, ksantan gam ve emülgatör olarak soya lesitini veya monodigliserit, tek başlarına veya kombinasyon halinde kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre; yumurtasız kek örneklerine ait nem ve spesifik hacim değerleri sırasıyla %27,02-28,51 ve 1,38-1,87 cm³/g aralığında değişmekte olup; bu değerlerin kontrol örneğinden daha düşük olduğu bildirilmiştir. Tekstür analizi sonuçlarına göre, emülgatör kullanılan kek örneklerine ait sertlik değerlerinin daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu durum, emülgatörlerin nişasta ile amiloz-lipit kompleksi oluşturması sonucu nişasta jelatinizasyonunu etkilemesi ile ilişkilendirilmiştir. Belirlenen deneme deseni içerisinde BPİ ile %0,1 oranında ksantan gam ve %1 oranında soya lesitinin kombinasyon halinde kullanılması sonucu üretilen yumurtasız keklerin, kontrol örneğine en yakın fiziksel özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir (Lin ve ark, 2017a).

Kek üretiminde hayvansal protein kaynağı yerine bitkisel protein kaynağının yumurta ikamesi olarak kullanımının araştırıldığı bir çalışmada, mercimek proteini kullanılarak yumurtanın kısmen (%50) veya tamamen (%100) ikame edilme olanakları araştırılmıştır. Yumurtanın kısmen veya tamamen ikame edilmesinin nihai ürün yüksekliğinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik yaratmadığı kaydedilmiştir ($p>0,05$). Yumurta ikamesi kullanılan örneklerle ait pişme kaybı değerlerinin ise, %11 oranında yumurta ve %22 oranında süt içeren kontrol örneği ile kıyaslandığında oldukça düşük olduğu saptanmıştır. 3 günlük depolama süresi sonunda sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinde artış görülmüş olup, tekstürel özelliklerin olumsuz yönde etkilendiği belirtilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre, panelistler tarafından en çok tercih edilen örneklerin yumurtanın tamamen ikame edildiği kekler olduğu belirlenmiştir. Bu durum, yumurtasız kek

üretiminde mercimek proteininin bitkisel kökenli alternatif bir yumurta ikame maddesi olabileceği şeklinde yorumlanmıştır (Jarpa-Parra ve ark, 2017).

Shevkani ve ark (2015) yaptıkları çalışmada, yumurta ikamesi olarak 2 farklı cins börülceden (kırmızı ve beyaz) elde edilen 3 farklı konsantrasyonda (%4, %8, %12) protein izolatu kullanıp pirinç unu bazlı glutensiz kek üretimi gerçekleştirmiştir. Beyaz börülce protein izolatu (BBPI); köpük oluşturma kapasitesi, emülsifikasyon, ve çözünürlüğünün daha yüksek ancak su absorpsiyon kapasitesinin daha düşük olduğu saptanmıştır. Renk analizi sonuçlarına göre, kırmızı börülce protein izolatu (KBPI) kullanımının nihai ürüne ait a* değerinin daha yüksek, L* ve b* değerlerini ise daha düşük bildirilmiştir. Bu durum yumurta ikamesi olarak kullanılan kaynakların doğal renkleri ile ilişkilendirilmiştir. Her iki börülce cinsinden elde edilen %8 oranında protein izolatu kullanımının sertlik, çiğnenebilirlik, elastikiyet ve yapışkanlık olmak üzere tekstürel parametre değerlerini artırıcı etkisi tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yumurta ikamesi olarak kullanılan maddelerin sadece konsantrasyonlarının değil özelliklerinin de nihai ürünün kalitesi üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir.

Kek üretiminde yumurtanın kısmen ikame edildiği (%25, %50) bir çalışmada, lupin unu (%5) ve 2 farklı konsantrasyonda (%2, %4) lupin protein izolatu (LPI) kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, yumurta ikame oranı ve LPI konsantrasyonu artışına bağlı olarak kek örneklerinin nem içeriği ve sertlik değerlerinde azalma; spesifik hacim değerlerinde ise artış kaydedilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre en yüksek kabul edilebilirlik değeri kontrol örneğine ait olup; bunu %5 oranında lupin unu kullanılarak yumurtanın %25 oranında ikame edildiği kek örnekleri takip etmiştir. Sonuç olarak %5 oranında lupin unu ve %2 oranında LPI kullanılarak yumurtanın %25 oranında ikame edilmesinin kek nitelikleri üzerinde olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir (Salem ve Hanan, 2012).

Tere tohumu (*Lepidium sativum*) ve ksantan gamin birlikte veya kombinasyon halinde sodyum stearol- 2-laktilat (SSL) ve monodigliserit sitrik asit esteri (MDGSE) olmak üzere 2 farklı emülgatör ile kullanımının yumurtasız kekler

üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yer değiştirme metoduna göre gerçekleştirilen hacim analizi sonuçlarına göre kontrol örneğinin en düşük; %0,5 MDGSE ve %0,5 ksantan gam kullanılan kek örneklerinin ise en yüksek hacim değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Tüm kek örneklerinde sertlik değerlerinin hidrokolloid ilavesine bağlı olarak arttığı; emülgatörler ile kombinasyon halinde kullanımı sonucunda ise azaldığı saptanmıştır. Duyusal anlamda, kontrol örneği en düşük genel kabul edilebilirlik değerine sahipken; panalistler tarafından en yüksek kabul edilebilirlik puanlarının SSL ve ksantan gam kombinasyonunun kullanıldığı kek örneklerine verildiği belirlenmiştir (Sahraiyen ve ark, 2015).

Chia (*Salvia hispanica* L.) jelinin kek üretiminde %25, %50 ve %75 oranında yumurta ve yağ ikame maddesi olarak kullanım olanakları araştırılmış ve keklerin fonksiyonel, duyusal ve besleyici özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Kek ağırlığı ve simetrisi formülasyona ilave edilen chia jelinden etkilenmezken hacim ve yükseklik değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak azalma tespit edilmiştir. Ayrıca kontrol örneği ile karşılaştırıldığında; yumurta ve yağın %50 oranında ikame edildiği örneklerin enerji değerinde toplam 36 kcal azalma sağlandığı belirtilmiştir. Hedonik test uygulanarak, yaşları 20-30 arasında değişen 75 eğitilmemiş panelist tarafından gerçekleştirilen duyusal analizde kekler; renk, tat, tekstür ve toplam kabul edilebilirlik açısından değerlendirilmiştir. Buna göre, chia jelinin; %25 oranına kadar yumurta ikamesi olarak kullanılmasının kontrol örneği ile benzer sonuçlar yarattığı bildirilmiştir. Sonuç olarak, %25 oranına kadar chia jeli kullanımıyla üretilen keklerin fonksiyonel ve duyusal özellikler açısından kabul edilebilir, besleyici niteliğe sahip olduğu vurgulanmıştır (Borneo ve ark, 2010).

Hidrokolloid olarak guar gam, gam arabik, ksantan gam, karragenan ve hidroksipropil metil selüloz (HPMC) ve emülgatör olarak da gliserol monostearat (GMS) ve sodyum stearol-2-laktilat (SSL) kullanımının yumurtasız keklerin kalite özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kek hacmi üzerinde HPMC'nin olumlu etkileri bulunurken, karragenan ve guar gam kullanımının hacim azaltıcı etki

gösterdiği bildirilmiştir. Tekstür analiz sonuçlarına göre, HPMC ve gam arabik kullanımının tekstürel özellikleri iyileştirirken; diğer hidrokolloidlerin sertlik değerinde artış sağlayarak olumsuz yönde etkileri olduğu belirlenmiştir. Hidrokolloidlerin tek başına kullanımlarında en etkili sonuçlar HPMC ilavesi ile elde edilirken HPMC ve SSL kombinasyonu ile de yumurtasız keklerdeki protein matriksinin daha homojen bir hal aldığı belirlenmiştir. Buna göre, diğer hidrokolloidler ile karşılaştırıldığında hacim ve tekstürel özellikler başta olmak üzere, keklerin toplam kalite nitelikleri üzerinde en olumlu sonuçlar, HPMC kullanımı sonucu elde edilmiş ve bunu sırasıyla karragenan ve ksantan gam takip etmiştir. Emülgatör varlığında buğday ununa hidrokolloid ilavesiyle kek hamuru viskozitesi ile özgül ağırlığında artış gözlenmiş ve bu kriterlere ait en yüksek değerler, ksantan gam kullanılarak üretilen keklerde tespit edilmiştir. Ayrıca SSL ve GMS kullanımının kek hacimlerinde artış sertlik değerlerinde ise azalma etkisi gösterdiğinden yola çıkarak emülgatör kullanımının yumurtasız kekler üzerinde olumlu etkileri olduğu ifade edilmiştir (Ashwini ve ark, 2009).

Benzer bir çalışmada, yumurtasız kek üretiminde yumurta sarısını ve yumurta akını ikame etmek üzere peynir altı suyu konsantresi, soya yağı ve emülgatör kullanılmıştır. Hammadde olarak protein içeriği %8, %11,2, %12,8 olmak üzere 3 farklı buğday unu, hidrokolloid olarak ise CMC ile ksantan gam kullanılarak hamur ve kek nitelikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kontrol örneği ile karşılaştırıldığında protein içeriği yüksek un kullanımının kek hamurlarının viskozite ve pH değerlerini düşürdüğü; özgül ağırlık değerlerini ise arttırdığı belirtilmiştir. Ayrıca elde edilen keklerin daha yüksek su aktivitesi, sertlik ve yapışkanlık değerlerine; daha düşük elastikiyet ve pişme kaybı değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca ksantan gam kullanılan kek örnekleri en yüksek sertlik ve su aktivitesi; en düşük pişme kaybı değerlerine sahipken; bunun aksine CMC kullanılan örneklerin en düşük sertlik ve en yüksek elastikiyet değerlerine sahip olduğu kaydedilmiştir (Shao ve ark, 2015).

Yumurta depolanması ve taşınması sırasında yaşanan zorluklardan ötürü yumurta ikame madde kullanımının gıda sektöründe gittikçe yaygınlaştığını belirten bir çalışmada, kek üretiminde 5 farklı oranda (1,2 g; 2,4 g; 3,6 g; 4,8 g) ticari yumurta ikamesi (TYİ) kullanılmıştır. Kontrol örneği ile karşılaştırıldığında, TYİ oranı artışına bağlı olarak spesifik hacim değerinin arttığı ancak 4,8 g oranında kullanıldığında ise çökme eğilimi göstererek azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca renk, tekstür, görünüm, tat ve elastikiyet üzerinden duyu nitelikleri değerlendirilen kek örneklerinden 3,6 g TYİ kullanılan örneklerin panelistler tarafından en çok beğenildiği belirlenmiştir (He ve ark, 2015).

Farklı kek formülasyonlarında kullanılan yumurta ikameleri ve ikame oranları Çizelge 4.4’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.4. Kek Üretiminde Kullanılan Yumurta İkame Maddeleri ve İkame Oranları

Yumurta İkamesi	İkame Oranı	Referans
Soya sütü ve soya lesitini kombinasyonu	%100 ikame	Hedayati ve Tehrani, 2018
Mercimek proteini ve yumurta akı proteini kombinasyonu	Kısmi ikame	Jarpa-Parra, 2017
Peynir altı suyu proteini konsantresi ve yağsız süt tozu	%100 ikame	Singh ve ark, 2017
Bezelye protein izolatu ve ksantan gam, monodigliserit ve soya lesitini ile kombinasyonu	%100 ikame	Lin ve ark, 2017a
Soya protein izolatu ve ksantan gam, monodigliserit ve soya lesitini ile kombinasyonu	%100 ikame	Lin ve ark, 2017b
Yağsız soya unu ve keten tohumu birlikte ve gliserol monostearat ve sodyum stearol-2-laktilat kombinasyonu	%100 ikame	Kumar ve ark, 2017
Muz, chia, soya sütü tozu	%100 ikame	Agrahar-Murugkar ve ark, 2016
Peynir altı suyu proteini izolatu	Kısmi ve %100 ikame	Diaz-Ramirez ve ark, 2016

Çizelge 2.4'ün devamı

Yumurta ikamesi	İkame Oranı	Referans
Soya protein izolatu, ksantan gam, mısır nişastası karışımı	Kısmi ve %100 ikame	Julanti ve ark, 2016
Peynir altı suyu proteini konsantresi ile poligliserol ester, monodigliserit ve lesitin kombinasyonu	%100 ikame	Movahhed ve ark, 2016
Ksantan gam	Kısmi ikame	Trisnawati, 2016
Börölce protein izolatu	Kısmi ikame	Shevkani ve ark, 2015
Peynir altı suyu protein izolatu ile hidroksipropil metil selüloz ve sodyum stearol-2-laktilat kombinasyonu	Kısmi ve %100 ikame	Paraskevopoulou ve ark, 2015
Soya sütü	Kısmi ve %100 ikame	Rahmati ve Tehrani, 2015
Peynir altı suyu proteini	%100 ikame	Tan ve ark, 2015
Ticari yumurta ikamesi	Kısmi ikame	He ve ark, 2015
Karboksimetil selüloz ve ksantan gam	%100 ikame	Shao ve ark,
Soya protein izolatu, bezelye protein izolatu, kazein, vital gluten	Kısmi ve %100 ikame	Matos ve ark, 2014
Lüpen (acı bakla) unu	Kısmi ikame	Salem ve Hanan, 2012
Soya unu, buğday gluteni, mısır şurubu ve sodyum aljinat karışımı	%100 ikame	Geera ve ark, 2011

Çizelge 2.4'ün devamı

Yumurta ikamesi			İkame Oranı	Referans
Şeker kamışı lifi, ksantan gam ve guar gam karışımı	Soya unu, buğday gluteni, mısır şurubu ve sodyum aljinat karışımı	Peynir altı suyu proteini konsantresi	%100 ikame	Ratnayake ve ark, 2011
Chia			Kısmi ikame	Borneo ver ark, 2010
Peynir altı suyu protein izolatu ve birbirleriyle farklı oranlarda guar gam, ksantan gam, buğday nişastası kombinasyonu			%100 ikame	Kohrs ve ark, 2010
Gam arabik, guar gam, ksantan gam, karragenan, hidroksipropil metil selüloz, sodyum stearyl-2-laktat, gliserol monostearat ve bunların birbirleriyle farklı oranlarda kombinasyonu			%100 ikame	Ashwini ve ark, 2009
Peynir altı suyu proteini ve acı bakla proteini			Kısmi ve %100 ikame	Hussain ve Al-Oulabi, 2009
Peynir altı suyu proteini konsantresi			%100 ikame	Jyotsna ve ark, 2007
Acı bakla protein izolatu, ksantan gam ve soya lesitini ve monodigliserit kombinasyonu			%100 ikame	Arozerana ve ark, 2001

Düşük protein içerikli unlu mamüllerin üretilmesinde besin içeriği, yapısal, ve duysal özellikler ile raf ömrü açısından birçok sorun ile karşılaşmaktadır. Besin içeriği açısından değerlendirildiğinde, ticari olarak temin edilebilen düşük protein içerikli tıbbi gıdalar genellikle buğday, mısır, patates, pirinç, tapiyoka gibi

farklı kaynaklardan elde edilen nişasta kaynakları baz alınarak üretilmektedir. Bu nedenle yüksek glisemik indekse sahip olup, diyet lif ve mikro besin öğelerince yetersiz olduğu belirtilmektedir (Zannini ve ark, 2013). Bu nedenle, bu ürünlerin LNAA, vitamin, mineral ve fruktooligosakkarit gibi lif kaynakları ile zenginleştirilmesi gerekmektedir (Soltanizadeh ve Mirmoghtadaie, 2014). Raf ömrü açısından değerlendirildiğinde, bayatlamamanın unlu mamüllerde esas bileşen olan nişasta ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Nişastanın özellikle amilopektin fraksiyonunun yapısal özelliğinden dolayı retrogradasyonunun yavaş gerçekleşmesi bayatlamamanın temelini oluşturmaktadır. Ancak özellikle α -amilaz (bakteriyal, fungal, maltojenik amilaz) gibi çeşitli enzim uygulamaları veya hidrokolloid kullanımı ile raf ömrü uzatılabilmektedir. Organoleptik açıdan değerlendirildiğinde ise düşük proteinli gıdalar genellikle arzu edilmeyen renk ve aromaya sahiptir. Bu durum uçucu bileşiklerin termal olarak geliştirilmesi (karamelizasyon vb.), fermantasyon ile aromatik metabolitlerin ve enzimatik aktivite (esteraz, glukonaz, lipolitik enzim) ile ester, fenolik bileşik gibi aromaya katkı sağlayan bileşiklerin oluşturulması veya glukono delta lakton gibi aroma geliştiriciler kullanılması sonucu giderilmektedir (Zannini ve ark, 2013). Ayrıca proteince zengin kaynakların proteazlarla hidrolize edilmesi ile elde edilen düşük protein içerikli kaynaklarda peptitten ileri gelen arzu edilmeyen tat oluşumu gerçekleşmektedir. Bu peptitlerin ekzopeptidazlar ile hidrolize edilmesi sonucu acımsı tadın maskelendiği belirtilmiştir. ‘Flavozyme’ ticari bir enzim olup peptitleri di-ti ve serbest aminoasitlere dönüştürerek bu etkiyi sağlamaktadır. Renk gelişimi açısından değerlendirildiğinde ise, elmadan elde edilen pektin ekstraktı ve eritilmiş margarin kullanımı önerilmektedir (Soltanizadeh ve ark, 2014). Düşük protein içerikli gıdalarda meydana gelen yapısal sorunlar genellikle nişasta bazlı olan bu gıdaların hidrokolloidler ve emülgatörlerle birlikte desteklenmesi ile telafi edilebilmektedir (Zannini ve ark, 2013).

Fenilketonüri hastalarının tüketimine yönelik düşük protein içerikli unlu mamüller ile ilgili yapılan çalışmalar başta ekmek (Yaseen ve ark, 2012; Yaseen ve

Shouk, 2011; Mohsen ve ark, 2010; Ayman ve ark, 2009; Ahlborn, 2005, Özboy, 2002; Yalvaç ve ark, 2001) olmak üzere genellikle makarna (Yaseen ve Shouk, 2011), bisküvi-kurabiye (Yaseen ve ark, 2014; Lim ve ark, 2007) gibi unlu mamüller üzerinde odaklanmaktadır. Kek üretiminde en ön önemli hammaddelerinden biri olan ve protein kaynağı olması nedeniyle FKÜ hastalarının tüketemediği gıdaların başında gelen yumurtanın genellikle kullanılmadığı bu ürünlerin üretilmesi kek üretimiyle kıyaslandığında daha kolaydır.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, tez çalışması ile benzer nitelikte, yumurta ve protein içeriğince zengin herhangi bir yumurta ikame maddesinin kullanılmadığı yumurtasız kek üretiminin gerçekleştirildiği araştırma sayısı oldukça sınırlı olup, bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Yumurta alerjisinin özellikle çocuklarda yaygın bir oranda görüldüğüne dikkat çeken bir çalışmada, hammadde olarak sadece un, yağ, su ve kabartma tozunun kullanıldığı ev tipi yumurtasız çikolatalı kek üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen keklerin kabul edilebilirliğini belirlemek amacıyla elde edilen kek örnekleri, 18-40 arasında değişen 38 panelist tarafından üçgen test uygulanarak duyu analize tabi tutulmuştur. Kek üretiminde yumurta kullanılmamasının kek numunelerinin ayırt edilmesinde bir değişikliğe neden olup olmayacağının araştırıldığı bu çalışmada; kontrol örneği ile karşılaştırılan yumurtasız kekler arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar bulunmuş ($p < 0,05$) ve tüketiciler tarafından kabul edilirliliğinin oldukça düşük olduğu bildirilmiştir (Trayter ve ark, 2017).

Yumurta ikame oranı ve hidrokolloid konsantrasyonunun bağımsız değişkenler olarak belirlendiği bir çalışmada iki faktörlü randomize blok düzeni deney tasarımı kullanılmıştır. Buna göre, %0,2 ve %0,4 olmak üzere 2 farklı konsantrasyonda ksantan gam kullanılarak farklı yumurta ikame oranlarının (%20, %30, %40 ve %50) pirinç unu bazlı glutensiz keklerin fizikokimyasal nitelikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, yumurta miktarındaki azalma ile hidrokolloid oranındaki artışın spesifik hacim ve nem

içeriğinde azalmaya neden olduğu saptanmıştır. %0,4 oranında ksantan gam kullanımı ve yumurta miktarının %50 oranında azaltılması sonucu elde edilen kek örneklerinin hacim değerlerinin; %0,2 oranında ksantan gam kullanılan örneklerden daha düşük bildirilmiştir. Bu durum %50 oranında yumurta ikame edilmesi sonucu yeterince köpük yapının oluşmaması ve ksantan gam konsantrasyonundaki artışın hamur viskozitesini arttırması ile açıklanmıştır. Ayrıca yumurta miktarındaki azalmaya bağlı olarak tekstürel özelliklerden biri olan sertlik değerlerinde artış tespit edilmiş ve bu durum yumurta akında köpük tutma özeliğindeki protein fraksiyonları ve yumurta sarısında bulunan emülgatör özeliğindeki bileşiklerin miktarında meydana gelen azalma sonucu gerçekleştiği belirtilmiştir. Ayrıca, ksantan gam konsantrasyonu artışına bağlı olarak elastikiyet değerlerinin azaldığı kaydedilmiştir. Sonuç olarak, glutensiz ve yumurtasız kek çalışmalarında, tüketici tercihlerine yönelip duyusal analiz sonuçlarına göre en yüksek yumurta ikame oranı ve ksantan gam konsantrasyonunun belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır (Trisnawati ve ark, 2016).

Yapılan bir çalışmada, glutensiz ürünlerde hammadde olarak genellikle farklı nişasta türlerinin kullanıldığından dolayı nihai ürünlerin kalite özelliklerinin genellikle zayıf ve diyet lif içeriğinin düşük olduğunu belirtilmiştir. Bu ilkeden yola çıkarak, hammadde olarak pirinç ununun kullanıldığı ve formülasyona siyah havuç posasından elde edilen diyet lif konsantresinin (SHL) dahil edildiği fonksiyonel bir ürün geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, %3, %6, %9 olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda SHL ve hidrokoloid olarak ksantan gam (%0,5) kullanımının yumurtasız keklerin fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. SHL ve ksantan gam etkileşiminin kek örnekleri üzerindeki etkileri incelendiğinde; toplam diyet lif içeriğini arttırdığı ancak spesifik hacim, sertlik, L* ve b* değerlerini ise azalttığı bildirilmiştir. Ksantan gam ilavesinin nihai ürünlerin görünümü iyileştirdiği ve su aktivitesini azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca %6 oranında SHL ve ksantan gamın kombine halinde

kullanıldığı kek örnekleri, duyuşal anlamda tüketicilerin tarafından kabul edilebilirliğı en yüksek ürün olarak belirlenmiştir (Singh ve ark, 2016).

Singh ve ark. (2015) yaptıkları diğerk bir çalışmada, java eriğı pulpu (*Syzygium cumini*) (JEP) ve ksantan gam kullanılarak antioksidan içeriğı zenginleştirilmiş, yumurtasız ve glutensiz kek üretimi gerçekleştirilmiştir. Kek numuneleri fizikokimyasal (renk, hacim, su aktivitesi, toplam fenolik madde ve flavonoid içeriğı) tekstürel ve duyuşal açıdan değerlendirilmiştir. JEP ve ksantan zank etkileşiminin; kek örneklerinde a* değeri, su aktivitesi, elastikiyet ve yapışkanlık değerlerini, DPPH ve ABTS yöntemi kullanılarak tayin edilen flavonoid ve toplam fenolik madde içeriğini arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca ksantan gamın kek örneklerinin görünümünü iyileştirerek spesifik hacmi arttırdığı bildirilmiştir. Duyusal analiz sonuçları göre ise, JEP ilavesinin panelistler tarafından ürünlerin kabul edilebilirliğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Tüm bu sonuçlar ele alındığında, biyoaktif bileşenlerce zengin, sağlık üzerinde olumlu etkileri bulunan ve raf ömrünü uzun fonksiyonel bir ürün geliştirildiğı ifade edilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırmada kek üretiminde kullanılan pirinç unu ve pudra şekeri (Başak Gıda-Konya), ayçiçek yağı (Sırma Yağ-Balıkesir), vanilin (Dr. Oetker-İstanbul), tuz (Salina-Konya) ile; araştırma sonucunda en iyi niteliklere sahip olduğu belirlenen kek örneğinin ticari olarak üretilen düşük protein içerikli ürünlerle karşılaştırılması amacı ile düşük protein içerikli yerli ticari un karışımı (Sinangil-İstanbul) ve ithal ticari un karışımı (Nutricia/Loprofin-Almanya) Adana piyasasındaki firmalardan temin edilmiştir. Yumurtasız kek üretiminde, Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsü şebekesinden temin edilen içme suyu kullanılmıştır. Kabartma tozu, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Tahıl İşleme Teknolojisi laboratuvarında Dizlek, (2002) referans alınarak üretilmiştir. En iyi sonuçların tespit edildiği 3 farklı kabartma tozu formülasyonu, ön denemelerde uygulanmış olup içeriğinde %30 oranında sodyum bikarbonat, %41,7 sodyum asit pirofosfat (SAP) ve %28,3 mısır nişastası içeren bileşimde karar kılınmıştır.

Denemelerde kullanılan hidrokolloidlerden; ksantan gam ve guar gam Tunçkaya-İstanbul, hidroksipropil metil selüloz (HPMC), karboksimetil selüloz (CMC) ve metil selüloz (MC) Ashland-Belçika; yüzey aktif madde olarak kullanılan yağ asitlerinin mono ve digliserid esterleri Yılmaz Kimya-İstanbul; yumurta akı tozu ise Tandem Gıda-İstanbul firmasından temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Düşük Protein İçerikli Kek Üretimi

Düşük protein içerikli kek üretimleri, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Tahıl İşleme Teknolojisi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Denemeler, kek üretiminde yaygın olarak kullanılan ‘All-in-one’ metodu (Bennion ve Bamford, 1997) esas alınarak uygulanmıştır. Kek

üretimlerinde, ‘Kitchen Aid’ marka (KSM 45 model) elektrikli karıştırıcı, 45mm çap ve 33 mm yüksekliğinde silikon kek kalıpları (Tantitoni) ve Wiesheu (Ebo 64 model) marka taş tabanlı fırın kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Kek Hamurunda Yer Alan Bileşenler ve Miktarları (%)

Bileşenin Adı	Miktar (%) (Pirinç unu bazında)
Pirinç unu	100
Pudra şekeri	60
Kabartma tozu	2,0
Vanilin	1,0
Tuz	0,5
Emülgatör	3,0
Hidrokolloid (toplam)	1, 2, 3
Su	120
Ayçiçeği Yağı	25

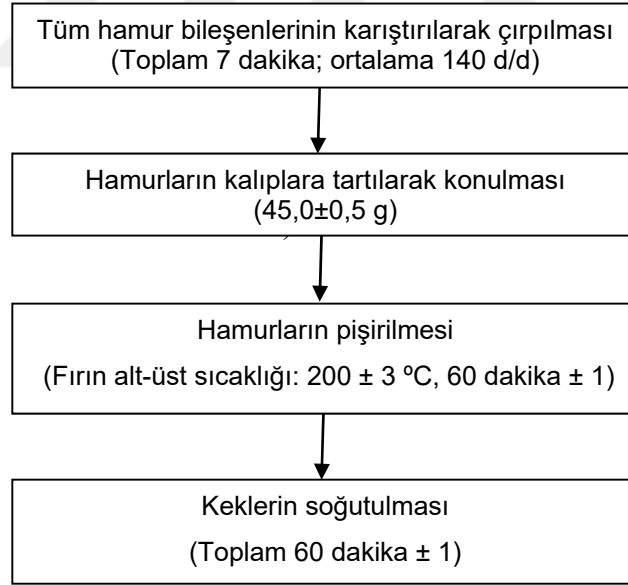
Araştırmanın birinci aşamasında kullanılacak hidrokolloid oranlarının belirlenmesi amacıyla, Çizelge 3.1’de belirtilen bileşenler kullanılarak ve Şekil 3.1’de belirtilen işlem basamakları uygulanarak düşük protein içerikli kek üretimi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ön denemelerde %0,5 ile %4 oranları arasında tüm hidrokolloidlerin birlikte kullanıldığı HD31 kodlu keklerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Ön deneme sonuçlarına göre, araştırmada hidrokolloidlerin tek başlarına ve/veya kombinasyonlar halinde %1, %2 ve %3 olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Buna göre, deneme deseni 93 farklı uygulamadan oluşmaktadır (Çizelge 3.2).

Araştırmanın ilk aşamasında, 1. tekerrür sonucunda hacim, yapısal özellikler ve tekstür analizleri gerçekleştirilemeyecek düzeyde kalite nitelikleri açısından yetersiz olan formülasyonlar (HD3, HD4, HD5, HD10, HD12, H13, HD14, HD15, HD19, HD22, HD23, HD24, HD25, HD30), deneme deseninden çıkarılmıştır (Ek-1). Analiz sonuçlarının karşılaştırılabilir nitelikte olması için hidrokolloidlerin ikili, üçlü, dördü ve beşli olmak üzere kombinasyonlar halinde

kullanımında karar kılınmış ve HD1 ve HD2 kodlu olmak üzere sırasıyla ksantan gam ve guar gamın da tek başlarına kullanıldığı kek formülasyonları deneme deseninden çıkarılmıştır. Bu nedenle çalışmanın devamında, %1, %2, %3 olmak üzere 3 farklı toplam hidrokolloid konsantrasyonunda ve Çizelge 3.2’de yer alan deneme deseninde, HD6, HD7, HD8, HD9, HD11, HD16, HD17, HD18, HD20, HD21, HD26, HD27, HD28, HD29, HD31 kodları ile belirtilen kombinasyonlar kullanılarak 45 farklı kek formülasyonu bazı kek kalite nitelikleri açısından incelenerek değerlendirilmiştir (Ek-2).

Araştırmanın ikinci aşamasında 45 farklı kek formülasyonu arasından duyusal anlamda en beğenilen kek örneği, hidrokolloid içermeyen (HDS), yumurta, hidrokolloid ve emülgatör içermeyen (HDES), yumurta akı tozu (YAK) içeren, ithal düşük protein içerikli ticari un karışımı (İTK) ve yerli düşük protein içerikli ticari un karışımı (YTK) kullanılarak hazırlanan kek örnekleri (Ek-3) ile bazı kalite nitelikleri açısından karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.1. Kek Üretiminde Uygulanan İşlem Basamakları

Çizelge 3.2. Kek Formüllerinde Kullanılan Hidrokolloidler ve Miktarları (%)

Formül Kodu	Ksantan gam (%)	Guar gam (%)	HPMC (%)	CMC (%)	MC (%)
HD1	100	-	-	-	-
HD2	-	100	-	-	-
HD3	-	-	100	-	-
HD4	-	-	-	100	-
HD5	-	-	-	-	100
HD6	50	50	-	-	-
HD7	50	-	50	-	-
HD8	50	-	-	50	-
HD9	50	-	-	-	50
HD10	-	50	50	-	-
HD11	-	50	-	50	-
HD12	-	50	-	-	50
HD13	-	-	50	50	-
HD14	-	-	50	-	50
HD15	-	-	-	50	50
HD16	33.3	33.3	33.3	-	-
HD17	33.3	33.3	-	33.3	-
HD18	33.3	33.3	-	-	33.3
HD19	33.3	-	33.3	33.3	-
HD20	33.3	-	33.3	-	33.3
HD21	33.3	-	-	33.3	33.3
HD22	-	33.3	33.3	33.3	-
HD23	-	33.3	33.3	-	33.3
HD24	-	33.3	-	33.3	33.3
HD25	-	-	33.3	33.3	33.3
HD26	25	25	25	25	-
HD27	25	25	25	-	25
HD28	25	25	-	25	25
HD29	25	-	25	25	25
HD30	-	25	25	25	25
HD31	20	20	20	20	20

3.2.2. Hammadde Analizleri

3.2.2.1 Nem Tayini

Sabit tartım ağırlığına getirilip desikatörde soğutularak oda sıcaklığına gelmeleri sağlanan ve darası kaydedilen örnek kaplarına yaklaşık 2g ± 0,1 ağırlığında tartılan örnekler, 105°C sıcaklıkta, 24 saat etüvde (Binder-Almanya, FD-53 model) kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında

meydana gelen ağırlık kaybı belirlenerek nem içeriği (%) hesaplanmıştır (AACC, Metot 44-01.01).

3.2.2.2. Protein Tayini

Kjeldahl yöntemi ile protein tayininde; gıdanın içerdiği toplam azot miktarı tespit edilmektedir. Tespit edilen toplam azot miktarının protein molekül içerisindeki toplam organik azot oranına göre belirlenmiş olan azot faktörüyle çarpılması esasına dayanan protein içeriği (%) saptanmıştır (AOAC Metot 992.23). Kek üretiminde hammadde olarak kullanılan pirinç ununa ait azot faktörü 5,95'dir (Anonim, 2018b).

3.2.2.3. Yağ Tayini

Soxhelet yöntemi ile yağ tayininde, çözgen olarak petrol eteri kullanılarak yağ fazının ekstraksiyonu gerçekleştirilmiş ve evaporasyon işleminin ardından 100°C sıcaklıkta sabit tartım ağırlığına gelinceye kadar kurutma işlemi gerçekleştirilerek yağ içeriği (%) saptanmıştır (AACC, Metot 30-25.01).

3.2.2.4. Kül Tayini

Sabit tartım ağırlığına getirilip desikatörde soğutularak oda sıcaklığına gelmeleri sağlanan ve darası kaydedilen krozelere yaklaşık $1g \pm 0,1$ ağırlığında tartılan örnekler, 550 °C'de kül fırınında (Carbolite-İngiltere, ELF 11/6B model) açık gri renk gözleninceye kadar yakma işlemine tabi tutulmuştur. Yakma işlemi sonrasında meydana gelen ağırlık kaybı belirlenerek kül içeriği (%) hesaplanmıştır (AACC, Metot 08-01.01).

2.5 Yığın Yoğunluğu ve Sıkıştırılmış Yığın Yoğunluğu Tayini

Pirinç ununun (100 g), 250 ml hacme sahip ölçü silindiri içerisine herhangi bir basınç uygulamaksızın ve hava boşluğu kalmayacak şekilde belirli bir yükseklikten (5 cm) doldurulması sonucunda kütle değerinin hacim değerine

oranlanmasıyla yığın yoğunluğu hesaplanmıştır (Chandra ve ark, 2015). Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ise aynı örneğe ait kütlenin, 200 defa aynı hızda düz bir zemine vurularak elde edilen sıkıştırılmış hacim değerine oranlanması ile hesaplanmıştır (Anonim, 2012a).

Elde edilen yığın yoğunluğu (YY) ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu (SYY) verilerinden yararlanılarak Hausner oranı ve Carr indeksi verilen eşitlikler doğrultusunda hesaplanmış ve pirinç ununun akışkanlık durumu değerlendirilmiştir (Başyigit ve Çam, 2016).

$$\text{Hausner Oranı} = \frac{\text{SYY} - \text{YY}}{\text{SYY}}$$

$$\text{Carr İndeksi} = \frac{\text{SYY} - \text{YY}}{\text{SYY}} * 100$$

3.2.3. Hamur Analizleri

3.2.3.1. Özgül Ağırlık Tayini

Kek hamurunun özgül ağırlığı, belirli bir hacimdeki kek hamuru ağırlığının, aynı hacimdeki saf suyun ağırlığına oranı olarak tanımlanmaktadır. Kek hamurlarında özgül ağırlık tayini, AACC, Metot 55-50.01 modifiye edilerek uygulanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, kek üretiminde yer alan katı bileşenlerin homojen bir hale getirilmesinin ardından sıvı bileşenler ilave edilmiş ve çırpmanın 2. dk ve 7. dk'sında hacmi bilinen sabit bir kap (65 ml) hamur örnekleri ile doldurularak ağırlıkları belirlenmiştir. Aynı kap (65 ml) oda sıcaklığında saf su ile doldurularak ağırlığı hesaplanmış ve hamur ağırlığı değeri ile oranlanarak özgül ağırlık değeri hesaplanmıştır.

$$\text{Özgül Ağırlık (g/cm}^3\text{)} = \frac{A_h}{A_s}$$

Ah: Hamur ağırlığı

As: Saf su ağırlığı

3.2.3.2. Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Köpük Stabilitesi Tayini

Kek hamurlarının özgül ağırlık değerinden yola çıkarak, köpük oluşturma kapasitesi (KÖK) ve köpük stabilitesi (KS) değerleri sırasıyla verilen eşitlikler doğrultusunda hesaplanmıştır (Allais ve ark, 2006).

$$KÖK = \left(\frac{Y_o}{Y_1} - 1 \right) * 100$$

Y_o: Hamur başlangıç yoğunluğu (2.dk)

Y₁: Hamur son yoğunluğu (7.dk)

$$KS = \left(1 - \frac{Y_1}{Y_o} \right) * 100$$

3.2.3.3. Hava Kabarcığı Dağılımı

Kek hamurlarında hava kabarcığı dağılımı, kek hamurlarının çirpılmasının hemen ardından yaklaşık 1 g ağırlığındaki örnekler, lam (25,4x76,2 mm ebatlarında ve 1-1,2 mm kalınlığında) ve lamel (25x50 mm ebatlarında ve 0,13-0,16 mm kalınlığında) arasına yerleştirilip 1 saat süresince her iki tarafından da eşit oranda baskı uygulanacak şekilde sabitlenmiştir. Daha sonra ışık mikroskopunda (Boeco, Almanya) 100'lük objektifte incelenmiş ve mikroskopik görüntü işleme paket programı (Scope Image) kullanılarak hamur görüntüleri elde edilmiştir (Gómez ve ark, 2012).

3.2.4. Kek Analizleri

Düşük protein içerikli kek örneklerinde nem, pişme kaybı, hacim ve renk tayini keklerin 1 saat soğutulmasının hemen ardından; yükseklik, yapısal özellikler, tekstür ve gözenek boyut dağılımı analizleri ise keklerin soğutulmasının ardından 24 saat sonra 3 paralel ve 3 tekerrürlü olmak üzere gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.1. Protein Tayini

Kjeldahl yöntemi ile protein tayininde; gıdanın içerdiği toplam azot miktarı tespit edilmektedir. Tespit edilen toplam azot miktarının protein molekül içerisindeki toplam organik azot oranına göre belirlenmiş olan azot faktörüyle çarpılması esasına dayanan protein içeriği (%) saptanmıştır (AOAC, Metot 992.23). Araştırmanın 2. aşamasında yer alan örneklerden ithal ve yerli düşük protein içerikli un karışımları buğday nişastası bazlı olup azot faktörü 5,70; diğer kek örneklerinde hammadde olarak kullanılan pirinç ununa ait azot faktörü ise 5,95'dir (Anonim, 2018b).

3.2.4.2. Nem Tayini

Kek örneklerinde nem analizi, keklerin pişirilip 1 saat soğutulmasının ardından gerçekleştirilmiştir. Sabit tartım ağırlığına gelinceye kadar 105°C sıcaklığında etüvde kurutulması sonucu meydana gelen ağırlık farkına dayanan nem içeriği (%) hesaplanmıştır (AACC, Metot 44-01.01).

3.2.4.3. Pişme Kaybı

Kek örneklerine ait pişme kaybı değeri, sabit hamur ağırlığı (45g) ve nihai ürün olan pişmiş kek örneklerinin ağırlık farkına dayanmakta olup aşağıda verilen eşitlikten faydalanılarak hesaplanmaktadır (Rodríguez-García ve ark, 2012).

$$\% \text{ Pişme kaybı} = \left(\frac{W_h - W_k}{W_h} \right) * 100$$

3.2.4.4. Spesifik Hacim

Piştirilmiş kek örneklerinin hacimleri kolza tohumu ile yer değiştirme metoduna göre belirlenmiştir (AACC, Metot 10-05.01). Üretilen kek örneklerinin spesifik hacim değerleri ise; kek hacminin (cm³), kek ağırlığına (g) oranlanması ile hesaplanmaktadır (Lin ve ark, 2017b).

$$\text{Spesifik Hacim} = \frac{V_k}{W_k}$$

V_k: Pişirilen kek hacmi

W_k: Pişirilen kek ağırlığı

3.2.4.5. Yükseklik

Keklerin fiziksel özelliklerinden biri olan yükseklik değeri, merkezi noktası belirlenen kek örneklerinin maket bıçağı (Olfa, H-1 model) ile dikey düzlemde ikiye kesilip en yüksek noktasının dijital kumpasla (AEK-Tech Electronic Caliper) mm cinsinden ölçülmesiyle belirlenmiştir (Martínez-Cervera ve ark, 2012).

3.2.4.6. Yapısal Özellikler

Kek örneklerinin yapısal özelliklerinin belirlenmesinde, Ek 4’de verilen kek ölçüm şablonu kek kalıplarının boyutlarına göre modifiye edilerek kullanılmıştır. Buna göre; soğutma işlemi bittikten sonra kekler dikey olarak merkezlerinden kesilip, milimetrik kağıt ile hazırlanmış olan şablonun üzerine kesilmiş yüzeyleri gelecek şekilde yerleştirilerek metotta belirtilen, BB’, CC’, DD’, AE değerleri milimetrik şablonda belirlenerek hacim indeksi ve büzülme değerleri sırasıyla aşağıda verilen eşitliklere göre hesaplanmıştır (AACC, Metot 10-91.01).

$$\text{Hacim İndeksi (mm)} = |BB'| + |CC'| + |DD'|$$

$$\text{Büzülme Değeri (mm)} = \text{Kek Kalıbının Çapı} - |AE|$$

3.2.4.7. Renk Tayini

Kek örneklerinde renk tayini Konica Minolta marka el tipi renk ölçüm cihazı kullanılarak, keklerin kabuk kısımlarında gerçekleştirilmiştir. Uluslararası Aydınlatma Kurumu (CIE) tarafından belirlenen renk tanımlama modellerinden

biri olan CIE L*Ch* renk sistemi baz alınarak L*, chroma (C) değerleri belirlenmiştir.

3.2.4.8. Tekstür Analizi

Kek örneklerinin tekstürel özellikleri, tekstür analiz cihazı (TA.XT plus) kullanılarak belirlenmiştir. Tekstür analizinde kullanılan parametreler ve ilgili değerler, Çizelge 3.3’de verilmiş olup TA.XT plus tekstür analiz cihazının veritabanında (Application Study for TA.XT Plus) bulunan yöntem (Measurement of the Firmness and Springiness of Muffins) göre belirlenmiştir. Keklerin iç kısmından 2 cm x 2 cm x 2 cm boyutlarında olmak üzere kübik biçimde kesilen örneklerde tekstür profil analizi (TPA) gerçekleştirilerek sertlik, elastikiyet, yapışkanlık ve çiğnenebilirlik değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 3.3. Tekstür Analiz Parametreleri

Parametre	Değer ve Özellikler
Prob	36 mm çap
Load Cell	5 kg
Tetik Kuvveti (Trigger Force)	5 g
Test Öncesi Hızı	2 mm/s
Test Hızı	1 mm/s
Test Sonrası Hızı	10 mm/s
Mesafe	8 mm
Süre	30 sn

3.2.4.9. Gözenek Boyut Dağılımı Analizi

Sayısal görüntü işleme yöntemi kullanılarak kek örneklerine ait gözenek boyut dağılımı analizi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kek örnekleri, merkez noktasından dikey olarak 2 eş parçaya ayrıldıktan sonra sabit yükseklik (107, 3 mm) ve ışık kaynağı altında, görüntüsü alınarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Kek örneklerine ait gözenek yapının otomatik bölütlenmesi temel alınarak gerçekleştirilen analizde bilgisayar ortamına aktarılan ilgili fotoğraflar Image J (Image Processing and Analysis in Java) paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Öncelikle merkezi yükseklik değerleri bilinen kek örneklerinde ilgili uzunluk tanımlanmış ve piksel-uzunluk birim dönüşümü gerçekleştirilmiş ve analiz gerçekleştirilecek bölgeyi temsil eden en büyük dikdörtgensel yüzey alanı belirlenmiştir. Görüntü işleme için hazır hale getirilen kek örneklerinin, gözenek boyut dağılımı analizine uygun hale getirilmesi için renk derinliği 8 bit kırmızı, yeşil, mavi (RGB) olmak üzere 3 ana renk dağılımı gerçekleştirilmiş ve kırmızı renk dağılımı gerçekleştirilen görsel üzerinden analize devam edilmiştir. Bu renk derinliğine uygun eşik değer belirleme algoritması (threshold) kullanılarak ön ve arka planda yer alan objeler arasında kontrast farkı yaratılarak birbirinden ayrılması, dolayısıyla gözeneklerin belirgin hale gelmesi sağlanmıştır. Buna göre, beyaz alan olarak yer alan gözeneklerin toplam alan içerisindeki görüntüsü elde edilmiş ve Rios ve ark (2018) yaptıkları çalışmaya göre toplam gözenek sayısı, ortalama gözenek alanı, gözenek yoğunluğu, porozite değerleri elde edilmiştir.

3.2.4.10. Duyusal Analiz

Araştırmanın birinci aşamasının sonunda alanında uzman ekip tarafından duyusal analize tabi tutulması gereken 6 adet kek örneği belirlenmiştir. Belirlenen bu örneklerle 3 rakamlı rastgele farklı kodlar verilerek, yaşları 25-54 aralığında değişen 7 kadın ve 4 erkek olmak üzere toplam 11 adet panelist tarafından Çukurova Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Duyusal Analiz Laboratuvarı'nda değerlendirilmiştir. Ek 5'da verilen duyusal analiz formuna göre hacim, gözenek, renk, tekstür, tat ve genel beğeni olmak üzere kek örneklerinin iç ve dış özelliklerinin incelendiği 6 kalite parametresi üzerinden 1 çok kötü ve 5 çok iyi olmak üzere 1'den 5'e kadar puan verilerek hedonik test uygulanmıştır. Analiz sonuçları örümcek ağı diyagramı kullanılarak değerlendirilmiştir.

3.2.5. İstatistiksel Analiz

Analiz sonuçlarından elde edilen bulgular, SPSS 20 (SPSS Inc, ABD) paket programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerin normal dağılım gösterdiği ve homojen olduğu varsayılarak, ortalamaların karşılaştırılması amacıyla tek faktör varyans analizi (ANOVA) ve gruplar arasındaki farklılıkların belirlenmesi amacıyla da %95 güven aralığında Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Analiz sonuçlarının verildiği çizelgelerde aynı satırda farklı harflerle verilen ifadeler Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi'ne göre istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$ seviyesinde) bulunmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde; çalışmanın birinci aşamasında, 3 farklı konsantrasyonda (%1, %2, %3); ksantan gam, guar gam, hidroksipropil metil selüloz (HPMC), karboksimetil selüloz (CMC), metil selüloz (MC) olmak üzere 5 farklı hidrokolloidin birbirleriyle ikili, üçlü, dördü ve beşli kombinasyonlar halinde kullanımının, hamur örnekleri ve protein içeriği azaltılmış, yumurtasız kek örneklerinin fiziksel, kimyasal, tekstürel ve duyuşsal olmak üzere bazı kalite nitelikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, birinci aşama sonucunda duyuşsal olarak en beğenilen kek örneği; hidrokolloid içermeyen (HDS), hidrokolloid ve emülgatör içermeyen (HDES), yumurta akı tozu (YAK) içeren, ithal düşük protein içerikli ticari un karışımı (İTK) ve yerli düşük protein içerikli ticari un karışımı (YTK) kullanılarak hazırlanan kek örnekleri ile bazı kalite nitelikleri açısından karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, bu konuda yapılan benzer nitelikte başka araştırmalar ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

4.1. Hammadde Niteliklerinin Belirlenmesi

4.1.1. Hammadde Kimyasal Bileşimi

Yumurtasız kek üretiminde hammadde olarak kullanılan pirinç unu bileşimine ait ortalama değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Pirinç Unu Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Özellik	Değer (%)
Nem	9,54
Protein	6,77
Yağ	0,25
Karbonhidrat	82,88
Kül	0,56

TS 2639 sayılı Pirinç Unu Standardı'na göre; pirinç ununa ait nem, yağ, kül içeriğinin sırasıyla en çok %14; %0,4; %0,7 ve protein içeriğinin en az %6 olması gerektiği belirtilmiştir (Anonim, 2018a). Ulusal Gıda Kompozisyonu Veritabanı'na göre ise, pirinç unu ortalama nem, protein, yağ, karbonhidrat ve kül içeriği sırasıyla %12,37; %6,72; %1,20; %74,84 ve %0,53 olarak belirtilmiştir (Anonim, 2018b). Buna göre, Çizelge 4.1'de verilen pirinç unu bileşimi incelendiğinde, kek üretiminde hammadde olarak kullanılan pirinç ununa ait tüm bileşenlerin TS 2639 Pirinç Unu standardına uyduğu ve Ulusal Gıda Kompozisyonu Veritabanı'nda yer alan değerler ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca pirinç ununa ait nem içeriğinin, TS 2639 Pirinç Unu Standardı'nda belirtilen sınır değerinin altında kaldığı için depolama stabilitesi açısından uygun olduğu saptanmıştır.

Buğday Unu Standardı'na göre, özel amaçlı, ekmeklik ve tam buğday ununa ilişkin protein içeriklerinin sırasıyla en düşük %7; %10,5 ve %11 olması gerektiği belirtilmiştir (Anonim, 2013). Ayrıca Ulusal Gıda Kompozisyonu Veritabanı'nda buğday ununa ait protein içeriğinin ise yaklaşık %7,58-10,66 aralığında değiştiği bildirilmektedir (Anonim, 2018b). Buna göre, pirinç ununa ait protein içeriği, buğday unundan daha düşük olduğu için fenilketonüri hastalarının tüketimine yönelik protein içeriği azaltılmış kek üretiminde buğday ununa kıyasla pirinç unu tercih edilmesinin daha uygun olduğu düşünülmektedir. Ayrıca pirinç unu glutensiz bir hammadde olduğundan, elde edilen ürünler, aynı zamanda çölyak hastalarına ve gluten hassasiyeti olan tüketicilere de hitap etmektedir. Bu nedenle ev tipi üretime uygun hazır kek karışımları şeklinde ya da nihai ürün olarak raflarda yerini alabilecek, birçok hastalık grubuna yönelik özel amaçlı tüketime uygun bir ürün geliştirilmiştir. Ancak buğday nişastası, mısır nişastası, patates nişastası gibi hammaddelerin protein içeriklerinin sırasıyla yaklaşık %0,17; %0,19; %0,06 olmak üzere oldukça düşük olduğu belirlenmiştir (Anonim, 2018b). Ancak bu nişasta kaynaklarının tek başlarına veya kombinasyonlar halinde kullanımı sonucunda arzu edilen nitelikte nihai ürün elde edilmesi oldukça güçtür. Bu

nedenle, düşük protein içerikli unlu mamül üretiminde pirinç unu ve bu nişasta kaynaklarının birbirleriyle ve hidrokolloid, emülgatör başta olmak üzere çeşitli katkı maddeleriyle optimum oranlarda ve kombinasyonlar halinde kullanılmasına yönelik çalışmalar devam etmelidir.

4.1.2. Hammadde Fonksiyonel Özellikleri

Toz formdaki gıdaların partikül özelliklerinin belirlenmesi yığın özelliği, proses parametreleri, nihai ürün kalitesi üzerinde etkilidir. Hausner oranı (HO) ve Carr indeksi (Cİ) özellikle toz formdaki ürünlerin paketleme, taşıma gibi proses sürecindeki koşulların belirlenmesinde önemli parametrelerdir. Bu nedenle, HO ve Cİ değerlerinin düşük olması istenmekte ve toz formdaki gıdaların daha akışkan bir yapıda olduğunun göstergesi olarak nitelendirilmektedir (Başyigit ve Çam, 2016). Pirinç ununa ait bazı fonksiyonel özelliklere ilişkin değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Pirinç Unu Fonksiyonel Özellikleri

Fonksiyonel Özellik	Değer
Yığın Yoğunluğu	0,65 g/cm ³
Sıkıştırılmış Yoğunluk	0,85 g/cm ³
Hausner Oranı	1,31
Carr indeksi	23,56

Buna göre pirinç unu yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri sırasıyla 0,65 g/cm³ ve 0,85 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Ayrıca Hausner Oranı ve Carr İndeksi değerleri göz önünde bulundurularak Çizelge 4.3 incelendiğinde pirinç ununun akışkanlık değeri, ortalamanın altında yer alan ‘geçerli’ sınıfına dahil edilmiştir.

Çizelge 4.3. Carr İndeksi ve Hausner Oranına göre Akışkanlık Özelliği

Carr İndeks	Akışkanlık	Hausner Oranı
≤10	Mükemmel	1,00-1,11
11-15	İyi	1,12-1,18
16-20	Orta	1,19-1,25
21-25	Geçerli	1,26-1,34
26-31	Zayıf	1,35-1,45
32-37	Çok zayıf	1,46-1,59
38≥	Çok kötü	1,60≥

4.2. Hamur Niteliklerinin Belirlenmesi

Kek hamuru, gaz hücrelerinin yağ fazında tutulduğu ve geri kalan bileşenlerin sulu fazda çözündüğü ve/veya dağıldığı çok fazlı bir yapıya sahiptir. Hamur çırpılması esnasında yapıya hava kabarcıkları dahil edilmekte, kimyasal kabartıcıların etkinliği ile karbondioksit gazı (CO_2) açığa çıkmakta (Kumar ve ark, 2017) ve pişirme esnasında da su buharı üretilmektedir. Buna bağlı nihai ürün olan kek daha gözenekli bir iç yapıya ve daha iyi bir tekstürel özelliğe sahip olmaktadır (Movahhed ve ark, 2016). Bu nedenle hamur niteliklerinin belirlenmesi, nihai ürün kalite nitelikleri üzerinde etkili olduğundan oldukça önemlidir.

4.2.1. Özgül Ağırlık

Kek hamurunun özgül ağırlığı; hamur çırpılması esnasında yapıya dahil edilen hava kabarcıkları miktarının (Jyotsna ve ark, 2007) ve/veya stabilitesinin, büyüklüğünün (Ashwini ve ark, 2009; Kumar ve ark, 2017) ve nihai üründe gözenek dağılımının bir göstergesidir (Arunepanlop ve ark, 1996). Yapıya dahil edilen hava kabarcıklarının; çırpma hızı, çırpma süresi, yüzey gerilimi, yapıdan uzaklaşma hızı ve viskozite olmak üzere birçok faktöre bağlı olarak değiştiği bildirilmektedir (Diaz-Ramirez ve ark, 2016). Bu nedenle, keklerde arzu edilen yapısal özelliklerin oluşabilmesi için kek hamurlarına ait özgül ağırlığın düşük olması gerektiği belirtilmektedir (Ashwini ve ark, 2009; Shao ve ark, 2015; Kumar ve ark, 2017; Hedayati ve Tehrani, 2018).

Hamur örneklerinin ilk özgül ağırlık değerleri, kek üretiminde kullanılan kuru ve sıvı bileşenlerinin homojen bir biçimde karıştırılmasının ardından yani hamur çırpılmasının 2.dk'sından sonra; son özgül ağırlık değeri ise hamur çırpılmasının bitiminde yani 7. dk'nın sonunda belirlenmiştir (AACC, Metot 55-50.01). Öncelikle, hidrokolloid kombinasyonlarının etkilerinin değerlendirilebilmesi amacıyla, 5 farklı hidrokolloidin %1, %2 ve %3 olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda tek başlarına kullanımları sonucu özgül ağırlık değerleri belirlenmiş ve Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Genel olarak tüm hidrokolloid türü ve konsantrasyonları için son özgül ağırlık değerlerinin ilk özgül ağırlık değerlerinden daha düşük olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.4). Bu durum, kek üretiminin esası olan çırpma esnasında yapıya hava kabarcıklarının dahil edilmesi ve köpük yapının oluşması ile açıklanabilir.

İlk özgül ağırlık değerleri incelendiğinde, %1, %2 ve %3 olmak üzere 3 farklı oranda hidrokolloid kullanılan hamur örneklerine ait değerlerin sırasıyla, 1,192-1,495 g/cm³; 1,228-1,440 g/cm³; 1,222-1,426 g/cm³ aralığında değiştiği gözlenmiştir. %1 toplam hidrokolloid konsantrasyonunda en düşük özgül ağırlık değeri ksantan gam (HD1); en yüksek özgül ağırlık değeri ise HPMC (HD3) kullanılan hamurlarda tespit edilmiştir. Ancak son özgül ağırlık değerleri incelendiğinde benzer bir ilişki tespit edilmediğinden; HPMC'nin hamur yapısında köpük oluşturmada için 2 dk'lık sürenin yeterli olmadığı; ksantan gamın ise diğer hidrokolloidlere kıyasla daha hızlı köpük oluşturma yeteneğine sahip olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Toplam hidrokolloid konsantrasyonunun %2 olduğu özgül ağırlık değerleri incelendiğinde, en düşük özgül ağırlık değeri toplam hidrokolloid oranının %1 olduğu hamur örneklerinde olduğu gibi ksantan gam; en yüksek özgül ağırlık değeri ise MC (HD5) kullanılan hamurlarda saptanmıştır. Kullanılan hidrokolloid miktarının toplam %3 olduğu hamurlarda ise en düşük özgül ağırlık değeri CMC; en yüksek özgül ağırlık değeri ise yine %2 toplam hidrokolloid konsantrasyonuna sahip hamurlarda olduğu gibi benzer bir biçimde HD5 kodlu MC kullanılan

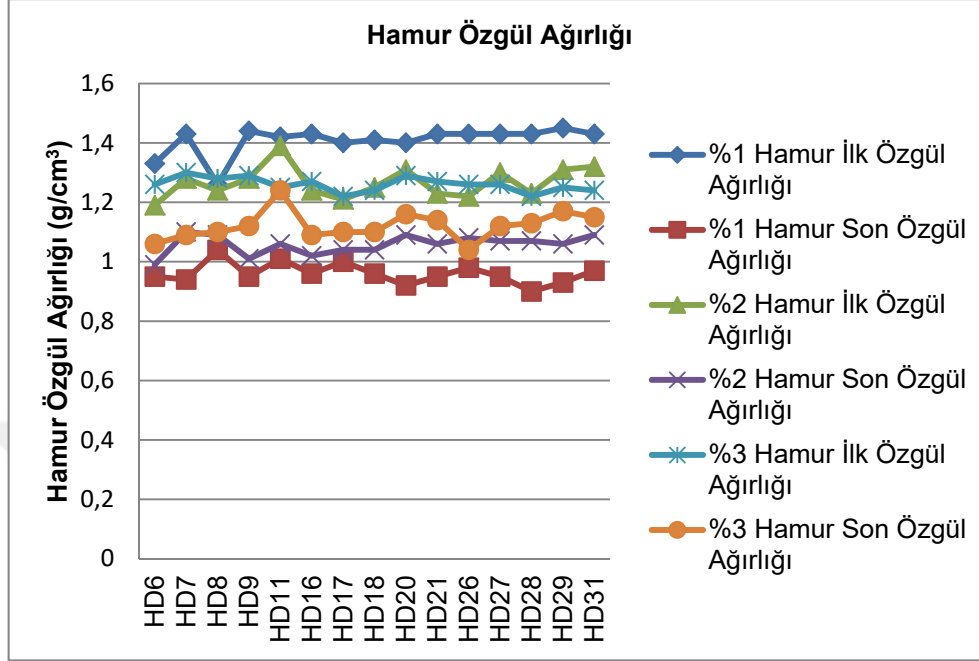
örneklerde tespit edilmiştir. Buna göre, son özgül ağırlık değerleri incelendiğinde, HPMC'ye benzer bir biçimde MC'nin köpük oluşturma özelliği için 2 dk'lık çırpma süresinin yeterli olmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca toplam hidrokoloid oranı artışına bağlı olarak ilk özgül ağırlık değerleri guar gam (HD2), CMC (HD4) ve MC (HD5) kullanılan hamur örneklerde azalırken; ksantan gam (HD1) kullanılanlarda ise artış göstermiştir.

Analiz sonuçları nihai ürün üzerinde etkili olan son özgül ağırlık değerleri açısından incelendiğinde ise, 3 farklı konsantrasyonda (%1, %2 ve %3) hidrokoloid kullanılan hamur örneklerine ait özgül ağırlık değerlerinin sırasıyla, 0,794-1,038 g/cm³; 0,786-1,178 g/cm³; 0,877-1,189 g/cm³ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Tüm hidrokoloid konsantrasyonlarında en yüksek özgül ağırlık değeri, guar gam kullanılan hamur örneklerine ait olduğu belirlenmiştir. %1 toplam hidrokoloid konsantrasyonunda en düşük özgül ağırlık değeri MC; %2 ve %3 hidrokoloid konsantrasyonlarında ise HPMC kullanılan hamur örneklerinde saptanmıştır. Bu durum, diğer hidrokoloidler ile karşılaştırıldığında HPMC ve MC kullanımının köpük yapının oluşumunda daha etkili ve 7 dk'lık çırpma süresinin daha etkin olduğu şeklinde açıklanabilir. Ayrıca, hidrokoloid konsantrasyonu artışına bağlı guar gam ve MC kullanılan hamurlara ait özgül ağırlık değerleri artarken; ksantan gam ve HPMC kullanılanlarda ise önce azalıp sonra arttığı gözlenmiştir. Buna göre guar gam ve MC'nin %1 oranında; HPMC ve ksantan gamın ise %2 oranında kullanılmasının nihai ürün üzerinde daha olumlu sonuçlar yaratacağı öngörülmüştür.

Çizelge 4.4. Farklı Formül Kodlarına Ait Hamur Özgül Ağırlık Değerleri (g/cm³)

Formül Kodu	İlk Özgül Ağırlık			Son Özgül Ağırlık		
	%1	%2	%3	%1	%2	%3
HD1	1,192 ^l	1,228 ^k	1,263 ^j	0,962 ^g	0,949 ^g	1,025 ^e
HD2	1,418 ^{def}	1,350 ^h	1,284 ⁱ	1,010 ^f	1,128 ^c	1,189 ^a
HD3	1,495 ^a	1,406 ^f	1,422 ^{de}	0,888 ^{hi}	0,786 ^k	0,877 ⁱ
HD4	1,410 ^{ef}	1,391 ^g	1,222 ^k	1,038 ^e	1,178 ^b	1,10 ^d
HD5	1,475 ^b	1,440 ^c	1,426 ^d	0,794 ^{jk}	0,812 ^j	0,904 ^h

Araştırmanın ilk aşamasını oluşturan farklı formülasyon ve konsantrasyonda hidrokolloid içeriğine sahip kek hamurlarının ilk ve son özgül ağırlık değerleri belirlenmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere, tüm hidrokolloid kombinasyonu ve konsantrasyonundaki hamur örneklerine ait son özgül ağırlık değerlerinin, ilk özgül ağırlık değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, kimyasal kabartıcı, hidrokolloid ile emülgatör gibi katkı maddeleri ve mekanik kuvvet etkisiyle meydana gelen köpük yapının oluşması ve hava kabarcıklarının yapıya dahil edilmesi ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Hamur İlk Özgöl Ağırlık ve Son Özgöl Ağırlık Değerlerinin Kıyaslanması

Farklı formülasyon ve konsantrasyonda hidrokolloid içeriğine sahip kek hamurlarının son özgöl ağırlık değerleri Çizelge 4.5’de verilmiş olup; 0,897-1,237 g/cm³ aralığında değişmektedir.

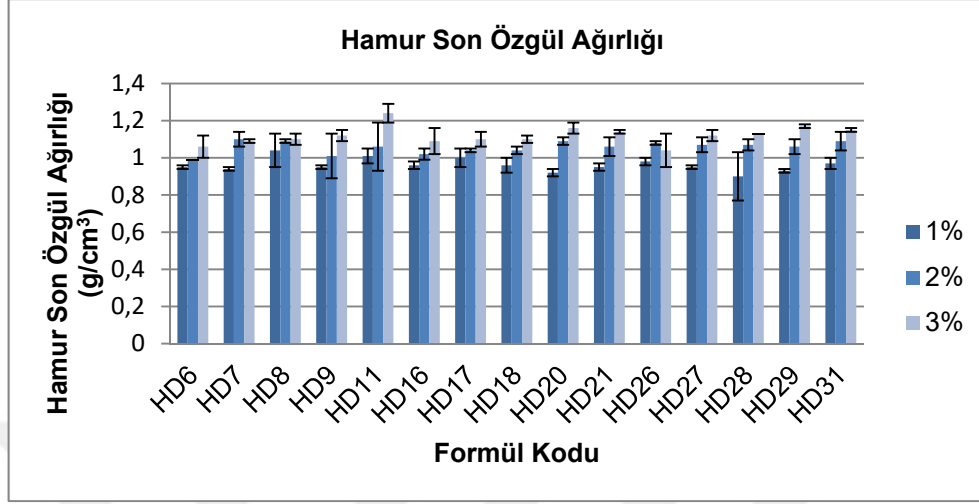
En yüksek özgöl ağırlık değeri %3 toplam hidrokolloid konsantrasyonunda HD11 kodlu örneğe (guar gam ve CMC kombinasyonu) ait iken; en düşük özgöl ağırlık değeri toplam %1 hidrokolloid konsantrasyonuna sahip HD28 kodlu örnekte (ksantan gam, guar gam, CMC ve MC kombinasyonu) tespit edilmiştir. Hidrokolloidlerin tek başlarına kullanımları sonucu hamur son özgöl ağırlık değerleri incelendiğinde; en yüksek özgöl ağırlık değeri guar gam kullanılan hamurlarda tespit edilmiş olup bunu CMC kullanılan hamur örneklerinin takip ettiği belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Dolayısıyla CMC ve guar gamın kombine bir biçimde kullanımı sonucunda tüm hidrokolloid kombinasyonları içinde en yüksek

hamur özgül ağırlık değerlerine sahip olmasının tutarlı olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Çizelge 4.5. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Hamur Son Özgül Ağırlık Değerleri (g/cm³)

Hidrokolloid Konsantrasyonu			
Formül Kodu	%1	%2	%3
HD6	0,948 ^{lmno}	0,986 ^{hijklmno}	1,058 ^{defghij}
HD7	0,942 ^{mno}	1,099 ^{bcdef}	1,094 ^{bcdefg}
HD8	1,039 ^{efghijkl}	1,090 ^{bcdefg}	1,100 ^{bcde}
HD9	0,947 ^{lmno}	1,009 ^{fghijklmn}	1,125 ^{bcde}
HD11	1,009 ^{fghijklmn}	1,065 ^{defghi}	1,237 ^a
HD16	0,956 ^{klmno}	1,022 ^{fghijklm}	1,089 ^{bcdefg}
HD17	1,002 ^{ghijklmn}	1,037 ^{efghijkl}	1,101 ^{bcdef}
HD18	0,956 ^{klmno}	1,037 ^{efghijkl}	1,103 ^{bcdef}
HD20	0,917 ^{no}	1,094 ^{bcdefg}	1,164 ^{abc}
HD21	0,947 ^{lmno}	1,056 ^{defghij}	1,143 ^{bcd}
HD26	0,979 ^{ijklmno}	1,078 ^{bcdefgh}	1,044 ^{efghijk}
HD27	0,951 ^{klmno}	1,075 ^{bcdefgh}	1,119 ^{bcde}
HD28	0,897 ^o	1,070 ^{cdefghi}	1,132 ^{bcde}
HD29	0,925 ^{no}	1,055 ^{defghij}	1,167 ^{ab}
HD31	0,97 ^{ijklmno}	1,09 ^{bcdefg}	1,15 ^{bcd}

Ayrıca, hidrokolloid oranı artışına bağlı özgül ağırlık değerlerinde genel olarak düzenli bir artış gözlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Hamur Son Özgöl Ağırlık Değerlerinin Kıyaslanması

Hamur özgül ağırlığı ve hamur kabarcık boyutu ve/veya dağılımı arasında bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Buna göre, daha küçük boyutta, daha fazla sayıda ve homojen bir dağılım gösteren hamurlardan elde edilen keklerin özgül ağırlıklarının daha düşük olduğu belirtilmektedir. Bu bağlamda, özellikle emülgatör kullanımının olumlu etkileri olduğu ifade edilmektedir (Movahhed ve ark, 2016). Çalışmamızda toplam hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak hava kabarcıklarının boyutlarının arttığı ve düzenli olmayan bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir (Ek-6). %1 toplam hidrokolloid içeriğine sahip hamur örneklerinde, en küçük boyutlardaki hava kabarcıklarının ortama hakim olduğu ve homojen dağılım gösterdiği gözlemlendiğinden en düşük özgül ağırlık değerlerine sahip olmaları ile tutarlılık gösterdiği belirlenmiştir.

Pound ve layer kek üretiminde optimum hamur özgül ağırlık değerinin sırasıyla 0,83-0,85 g/cm³ ve 0,95-0,97 g/cm³ arasında olması gerektiği belirtilmiştir (Jyotsna ve ark, 2007). Buna göre, çalışmamızda sadece %1 toplam hidrokolloid oranına sahip yumurtasız kek hamurlarının bir kısmının benzer bir nitelik gösterdiği belirlenmiştir.

Shao ve ark (2015) yaptıkları çalışmada; hamur özgül ağırlık değerlerinin hammadde olarak kullanılan buğday ununa ait protein içeriği artışına bağlı olarak artış gösterdiği ve yumurta kullanılarak üretilen kontrol grubu örneklerine kıyasla genel olarak daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çalışmamızla benzer bir şekilde ksantan gam kullanılan kek hamurlarına ait özgül ağırlık değerlerinin CMC kullanılanlardan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu bildirilmiştir ($p<0,05$). Ancak bu kek hamurlarına ait özgül ağırlık değerlerinin çalışmamızda elde edilen bulgulardan daha düşük olduğu tespit edilmiş ve bu durum daha yüksek konsantrasyonlarda hidrokoloid kullanımı ile ilişkilendirilmiştir.

Soya unu ve keten tohumunun birlikte ve 2 farklı emülgatörle (SSL, GMS) kombine halinde yumurta ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada; özgül ağırlık değerleri 0,95-1,03 g/cc aralığında değişmektedir. Yumurta içeren kontrol kekine ilişkin özgül ağırlık değeri ise 0,86 g/cc olarak belirlenmiştir. Buna göre yumurta ikamesi kullanılan tüm keklere ait özgül ağırlık değerlerinin yumurta kullanılan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yumurta ikamesi ile birlikte emülgatör kullanımının özgül ağırlık değerlerinde azalmaya neden olduğu kaydedilmiştir (Kumar ve ark, 2017).

Lakto-vejetaryenlerin tüketimine yönelik kek üretiminin gerçekleştirildiği bir çalışmada yumurta ikamesi olarak bezelye protein izolatı (BPI) kullanılmış ve BPI konsantrasyonu artışına bağlı olarak özgül ağırlık değerinin arttığı bildirilmiştir. Yumurta kullanılan kontrol örneği ile karşılaştırıldığında hidrokoloid olarak ksantan gam kullanımının özgül ağırlık değerini arttırdığı, emülgatör kullanımının ise azalttığı kaydedilmiştir (Lin ve ark, 2017a).

Diğer bir çalışmada yumurta ikame maddesi olarak soya protein izolatı (SPI) kullanılmış ve SPI konsantrasyonu artışı ile hidrokoloid kullanımına bağlı olarak özgül ağırlık değerinin arttığı; SSL ve MDG olmak üzere 2 farklı emülgatör kullanımının ise özgül ağırlık değerini azalttığı bildirilmiştir (Lin ve ark, 2017b). Benzer bir şekilde, PGE, DMG ve lesitin olmak üzere 3 farklı emülgatör

kullanımının yumurtasız kek hamurlarına ait özgül ağırlık değerlerinin, yumurta kullanılan kontrol kekleri ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu bildirilmiştir (Movahhed ve ark, 2006).

Farklı türde hidrokolloid kullanımının yumurtasız kekler üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada ise özgül ağırlık değerleri 1,036-1,068 g/cc aralığında değişmekte olup kontrol kek hamuru (1,027 g/cc) ile karşılaştırıldığında hidrokolloid kullanılan tüm kek hamurlarına ait özgül ağırlık değerlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Hidrokolloidler arasında ise bu etki en düşük gam arabik en yüksek guar gam kullanılan hamur örneklerinde tespit edilmiştir (Ashwini ve ark, 2009).

Hammadde olarak un karışımı (buğday unu, amarant, soya unu, millet) ve yumurta ikamesi olarak muz, chia ve soya sütü tozu kullanılarak üretilen kek hamurlarının özgül ağırlık değerleri sırasıyla 1,04 g/cm³; 1,13 g/cm³; 1,07 g/cm³ olup hammadde olarak buğday unu ile yumurta akı ve yumurta sarısının kullanıldığı kontrol örnekleri (0,89 g/cm³) ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Agrahar-Murugkar ve ark, 2016).

Diğer bir çalışmada yumurta ikame maddesi olarak kullanılan soya sütü konsantrasyonu artışına bağlı olarak hamur özgül ağırlık değerinin arttığı tespit edilmiştir (Rahmati ve Tehrani, 2015).

Çizelge 4.6. Farklı Kek Örneklerine ait Hamur Son Özgül Ağırlık Değerleri (g/cm³)

Formül Kodu	Özgül ağırlık (g/cm ³)
HDS	0,797 ^d
YAK	0,679 ^e
İTK	1,126 ^b
YTK	1,171 ^b
HDES	1,568 ^a
%2 HD17	1,037 ^c

Araştırmanın ikinci aşamasındaki Çizelge 4.6’da verilen analiz sonuçlarına göre herhangi bir katkı maddesi içermeyen (HDES) kek örneklerinin özgül ağırlık

değeri $1,568 \text{ g/cm}^3$ olup diğer kek örnekleri ile kıyaslandığında en yüksek özgül ağırlık değerine sahip olduğu saptanmıştır. Bu durum, beklenildiği üzere keklerin yumurta ve herhangi bir köpük oluşturuca ajan içermemesi ile açıklanabilir. Kumar ve ark (2017) yaptıkları çalışmada, en düşük özgül ağırlık değeri yumurta kullanılan kek örneklerinde tespit edilirken; çalışmamızla benzer bir şekilde en yüksek hamur özgül ağırlığı değerinin ise $1,08 \text{ g/cc}$ olup herhangi bir yumurta ikamesi ve emülgatör kullanılmadan üretilen kek örneklerine ait olduğu bildirilmiştir.

Ayrıca %2 toplam hidrokolloid konsantrasyonunda HD17 kodlu hamur örneklerinin özgül ağırlık değerinin yumurta akı içeren keklerden daha yüksek olması, hidrokolloid içeriğinin serbest suyu bağlayarak hamur viskozitesi ve buna bağlı olarak özgül ağırlık değerini arttırdığı şeklinde açıklanmıştır (Jarpa-Parra ve ark, 2017).

Yumurtasız kek üretimi gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde genel olarak yumurta ikamesi ve hidrokolloid kullanılan kek hamurlarının yumurta kullanılan kontrol grubu örneklerine kıyasla daha yüksek özgül ağırlık değerine sahip olduğu saptanmıştır (Ashwini ve ark, 2009; Shao ve ark, 2015; Agrahar-Murugkar ve ark, 2016; Kumar ve ark, 2017). Buna göre çalışmamızda benzer bir şekilde yumurta akı içeren keklerin en düşük özgül ağırlık değerine sahip olduğu tespit edilmiş ve bu durum yumurta akının yüksek oluşturma özelliğine sahip olması ile ilişkilendirilmiştir.

Benzer bir şekilde, yumurta ikamesi olarak mercimek proteini kullanılan bir çalışmada, yumurta akı proteini kullanılan kontrol kekine ait hamur özgül ağırlık değerinin en düşük olduğu bildirilmiştir. Bu durum yumurta akının çok yüksek köpük oluşturma kapasitesi ve köpük tutma stabilitesine sahip olması ile açıklanmıştır (Jarpa-Parra ve ark, 2017). Ayrıca özellikle yumurta sarısı proteinlerinin de hamur çırpılması boyunca yüzey ve ara yüzey gerilimini azaltarak emülsiyon stabilitesini sağladığı hamur özgül ağırlığını azalttığı belirtilmektedir (Hedayati ve Tehrani, 2018).

Ancak bunların aksine, peynir altı suyu proteini izolatının (PSİ) yumurta ikamesi olarak kullanıldığı ve yumurtanın farklı oranlarda ikame edildiği (%12,5; %25; %50; %100) bir çalışmada, en yüksek hamur özgül ağırlık değeri kontrol örneğine (0,524 g/cm³) ait olup bunu yumurtanın tamamen ikame edildiği örneklerin (0,510 g/cm³) takip ettiği gözlenmiştir (Diaz-Ramirez ve ark, 2016). Benzer şekilde, yumurta ikame maddesi olarak peynir altı suyu proteini izolatı kullanılan kek hamurlarının ortalama özgül ağırlık değerlerinin (0,30 g/cm³) yumurta akı proteini kullanılan kontrol örneklerinden daha düşük olduğu bildirilmiştir (Arunepanlop ve ark, 1996).

4.2.2. Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Köpük Stabilitesi

Köpük yapı, bir gazın sürekli ve ikinci bir faz içerisinde dağılması olarak tanımlanmakta ve gıda sanayisinde özellikle kek ve dondurma gibi gıdaları karakterize etmektedir. Köpük niteliğinin belirlenmesindeki en önemli ölçütler, köpük oluşturma kapasitesi ve köpük stabilitesidir. Köpük oluşturma kapasitesi, proteinlerin yapısı ve sıvı-gaz ara yüzeyine tutunma hızı ile ilişkilidir. Köpük stabilitesi ise hava kabarcıkları arasındaki ince film yapısının protein ile stabilize edilmesiyle ilişkilendirilmektedir. Yapılan çalışmalarda, ısıtma işlemi, basınç ve farklı organik bileşikler ile etkileşim gibi faktörler göz önüne alındığında köpük stabilitesinde genellikle yetersizlikler tespit edilmiştir. Bu nedenle hem köpük stabilitesinin artırılmasına hem de protein-polisakkarit etkileşimlerinin tanımlanmasına yönelik daha fazla çalışma yapılması önerilmektedir (Alben ve İbanoğlu, 2006).

Köpük oluşturma kapasitesi (KÖK) ve köpük stabilitesinin (KS), farklı konsantrasyon ve kombinasyonlarda hidrokolloid kullanılarak üretilen hamurlarda değerlendirilebilmesi için öncelikle ksantan gam, guar gam, HPMC, CMC ve MC'nin tek başlarına kullanımları sonucundaki etkileri belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

3 farklı oranda (%1, %2 ve %3) hidrokolloid kullanılan hamur örneklerine ait köpük oluşturma kapasiteleri sırasıyla %24,052-85,748; %18,062-78,843; %7,983-62,060 olmak üzere geniş bir aralıkta değişkenlik göstermektedir.

Çizelge 4.7. Farklı Formül Kodlarına Ait Hamur Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Köpük Stabilitesi Değerleri (%)

Formül Kodu	Köpük Oluşturma Kapasitesi (%)			Köpük Stabilitesi (%)		
	%1	%2	%3	%1	%2	%3
HD1	24,052 ⁱ	29,376 ^h	23,246 ^j	19,279 ^g	22,704 ^f	18,835 ^h
HD2	40,432 ^f	19,737 ^k	7,983 ^m	28,751 ^e	16,406 ⁱ	7,358 ^k
HD3	68,329 ^c	78,843 ^b	62,060 ^d	40,592 ^c	44,085 ^b	38,295 ^d
HD4	35,576 ^g	18,062 ^k	11,004 ^l	26,182 ^e	15,290 ⁱ	9,913 ^j
HD5	85,748 ^a	77,418 ^b	57,724 ^e	46,164 ^a	43,636 ^b	36,598 ^d

%1 toplam hidrokolloid konsantrasyonunda en düşük KÖK değeri ksantan gam; en yüksek ise MC kullanılan hamur örneklerinde tespit edilmiştir. Toplam hidrokolloid konsantrasyonunun %2 ve %3 olduğu KÖK değerleri incelendiğinde, HPMC kullanılan hamurların en yüksek KÖK değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Kullanılan hidrokolloid miktarının toplam %2 ve %3 olduğu kek hamurlarında ise en düşük KÖK değerleri guar gam ve CMC kullanılanlarda saptanmıştır. Çizelge 4.4 incelendiğinde %1 toplam hidrokolloid konsantrasyonunda en düşük son özgül ağırlık değeri HD5 kodlu MC kullanılan; %2 ve %3 toplam hidrokolloid

konsantrasyonunda ise HPMC kullanılan (HD3) örneklere ait olup aynı örneklerin en yüksek köpük oluşturma kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7’de verilen köpük stabilitesi değerleri, %7,358-46,164 aralığında değişmektedir. Buna göre; %1, %2 ve %3 olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda hidrokolloid kullanılan kek hamurlarına ait en düşük köpük stabilitesi değerleri sırasıyla; HD1 kodlu ksantan gam (%19,279); HD4 kodlu CMC (%15,290) ve HD2 kodlu guar gam (%7,358) kullanılan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek KS değerleri ise %1 oranında MC kullanılan hamurlarda saptanmış olup; bunu %2 oranında HPMC kullanılan örneklerin takip ettiği gözlenmiştir.

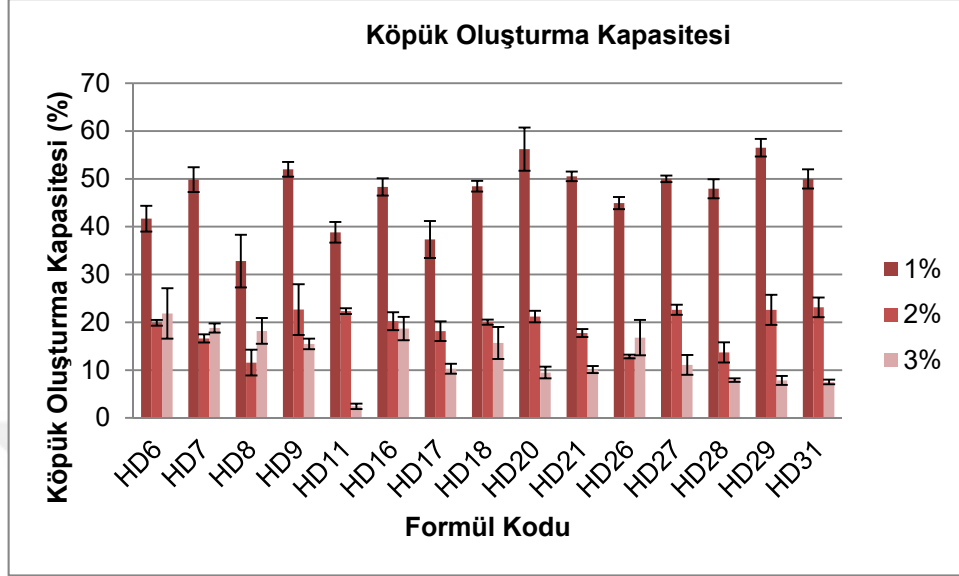
Buna ek olarak, toplam hidrokolloid oranındaki artış guar gam, CMC ve MC kullanılan hamur örneklerine ait KÖK ve KS değerlerinde düzenli bir azalma; ksantan gam ve HPMC kullanılanlarda ise önce artış sonra azalma şeklinde etki etmiştir.

Farklı hidrokolloid kombinasyonu ve konsantrasyonlarına ait köpük oluşturma kapasitesi değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Buna göre köpük oluşturma kapasitesi değerleri %2,42-56,50 olmak üzere çok geniş bir aralıkta değişmekte olup, bu değerlerin sırasıyla guar gam ve CMC kombinasyonundan oluşan %3 HD11 ve %1 HD29 (ksantan gam, HPMC, CMC ve MC kombinasyonu) kodlu örneklere ait olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.7 incelendiğinde tüm hidrokolloid türleri içerisinde en yüksek KÖK değerlerinin MC ve HPMC’ye ait olduğu görülmektedir. HD29 kodlu kombinasyona ait KÖK değerinin ise MC ve HPMC içeren hamur örneklerinkinden daha düşük olduğundan yola çıkarak, ksantan gam ve CMC kullanımının köpük oluşturma kapasitesini olumsuz etkilediği şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 4.8. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Köpük Oluşturma Kapasitesi Değerleri (%)

Hidrokolloid Konsantrasyonu			
Formül Kodu	%1	%2	%3
HD6	41,68 ^{de}	19,90 ^{hijklmn}	21,84 ^{hij}
HD7	49,84 ^b	16,63 ^{lmnop}	18,81 ^{hijklmn}
HD8	32,80 ^g	11,57 ^{rst}	18,20 ^{ijklmn}
HD9	51,99 ^b	22,66 ^{hi}	15,48 ^{nopr}
HD11	38,82 ^{ef}	22,34 ^{hi}	2,42 ^u
HD16	48,31 ^{bc}	20,24 ^{hijkl}	18,68 ^{hijklmn}
HD17	37,32 ^t	18,14 ^{ijklmn}	10,29 st
HD18	48,46 ^{bc}	20,03 ^{hijklm}	15,67 ^{mno}
HD20	56,21 ^a	21,20 ^{hijk}	9,49 st
HD21	50,53 ^b	17,75 ^{klmno}	10,12 st
HD26	44,93 ^{cd}	12,86 ^{prs}	16,79 ^{klmnop}
HD27	50,01 ^b	22,62 ^{hi}	11,09 st
HD28	47,93 ^{bc}	13,70 ^{oprs}	7,91 ^t
HD29	56,50 ^a	22,60 ^{hi}	7,84 ^t
HD31	49,98 ^b	23,13 ^h	7,52 ^t

Şekil 4.3 incelendiğinde hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak köpük oluşturma kapasitesinin tüm örneklerde düzenli bir şekilde azalma gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum Şekil 4.2’de verildiği üzere hamur örneklerinin son özgül ağırlık değerlerindeki düzenli artış ile açıklanabilir.



Şekil 4.3. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Köpük Kapasitesi Değerlerinin Kıyaslanması

Çizelge 4.9 incelendiğinde, beklenildiği üzere en yüksek KÖK değeri yumurta akı kullanılan; en düşük KÖK değeri ise herhangi bir emülgatör ve hidrokolloid içermeyen örneklerde tespit edilmiştir. Ayrıca guar gam ve pektin kombinasyonu bazlı ithal ve yerli ticari un karışımı şeklinde kullanılan hamurların KÖK değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

Çizelge 4.9. Farklı Kek Örneklerine Köpük Oluşturma Kapasitesi (%)

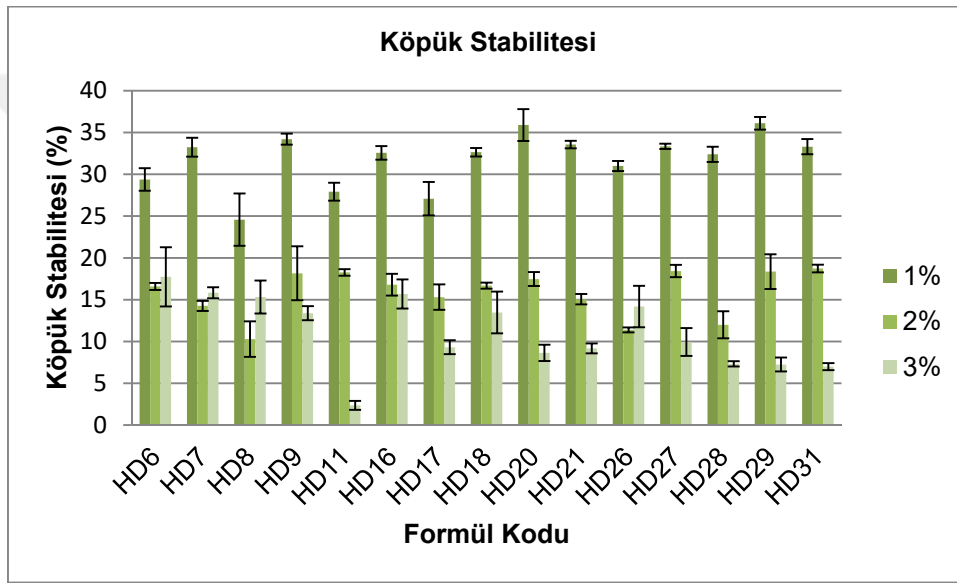
Formül Kodu	Köpük Oluşturma Kapasitesi (%)
HDS	54,33 ^b
YAK	109,48 ^a
İTK	25,65 ^c
YTK	26,72 ^c
HDES	6,42 ^e
%2 HD17	18,14 ^d

Farklı hidrokolloid kombinasyonu ve konsantrasyonlarına ait köpük stabilitesi değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Buna göre köpük stabilitesi değerleri %2,36-36,10 aralığında değişmekte olup bu değerler sırasıyla köpük stabilitesi değerleri ile benzer bir şekilde %3 HD11 ve %1 HD29 kodlu örneklerle aittir. Köpük oluşturma kapasitesi ile benzer bir şekilde, kullanılan hidrokolloid miktarındaki artışa bağlı olarak köpük stabilitesi değerlerinde düzenli bir azalma belirlenmiş (Şekil 4.4) ve bu durum hidrokolloid kombinasyonu arasındaki farklılıklar ve hamur son özgül ağırlık değerlerindeki artış ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 4.2).

Çizelge 4.10. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Köpük Stabilitesi Değerleri (%)

Hidrokolloid Konsantrasyonu			
Formül Kodu	%1	%2	%3
HD6	29,38 ^{ef}	16,59 ^{hijk}	17,73 ^{hij}
HD7	33,23 ^{bcd}	14,26 ^{klm}	15,83 ^{ijkl}
HD8	24,57 ^g	10,29 ^{opr}	15,32 ^{kl}
HD9	34,20 ^{abc}	18,16 ^{hi}	13,39 ^{lmn}
HD11	27,92 ^f	18,26 ^{hi}	2,36 ^u
HD16	32,56 ^{cd}	16,80 ^{hijk}	15,69 ^{ijkl}
HD17	27,08 ^f	15,31 ^{kl}	9,32 ^{prst}
HD18	32,64 ^{cd}	16,68 ^{hijk}	13,47 ^{lmn}
HD20	35,89 ^{ab}	17,47 ^{hij}	8,64 ^{rst}
HD21	33,56 ^{abcd}	15,06 ^{kl}	9,18 ^{prst}
HD26	30,99 ^{de}	11,39 ^{nop}	14,19 ^{klm}
HD27	33,34 ^{bcd}	18,43 ^{hi}	9,94 ^{oprs}
HD28	32,39 ^{cd}	12,00 ^{mno}	7,33 st
HD29	36,10 ^a	18,36 ^{hi}	7,25 ^t
HD31	33,30 ^{bcd}	18,72 ^h	6,99 ^t

Sonuç olarak, köpük oluşturma kapasitesi ve köpük stabilitesi arasında pozitif yönde bir ilişki tespit edilirken her iki değer ile hamur son özgül ağırlık değerleri arasında negatif bir ilişki saptanmıştır. Diğer bir ifadeyle, hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak hamur son özgül ağırlık değerlerinde meydana gelen artışın, köpük oluşturma kapasitesi ve köpük stabilitesini olumsuz yönde etkilediği şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 4.4. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Köpük Stabilitesi Değerlerinin Kıyaslanması

Farklı kek örneklerine ait köpük stabilitesi (KS) değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir. Buna göre köpük oluşturma kapasitesi ile benzer bir biçimde, en yüksek KS yumurta akı kullanılan, en düşük KS değeri ise yumurta ve herhangi bir katkı maddesi içermeyen kek örneklerinde (HDES) saptanmıştır. İthal ve yerli ticari un karışımları kullanılarak elde edilen hamurların köpük stabilitesi değerleri arasında, köpük oluşturma kapasitesi ile benzer şekilde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık bulunmayıp ($p>0,05$) çalışmamızda üretilen %2 HD17 kodlu örnekten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Buna göre hem köpük oluşturma kapasitesi hem de köpük stabilitesi göz önünde bulundurulduğunda yumurta akı tüm kekler içerisinde ön plana çıkarken, ticari un karışımlarının da çalışmamızda üretmiş olduğumuz keklerden bu anlamda daha iyi niteliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı Kek Örneklerine Köpük Stabilitesi Değerleri (%)

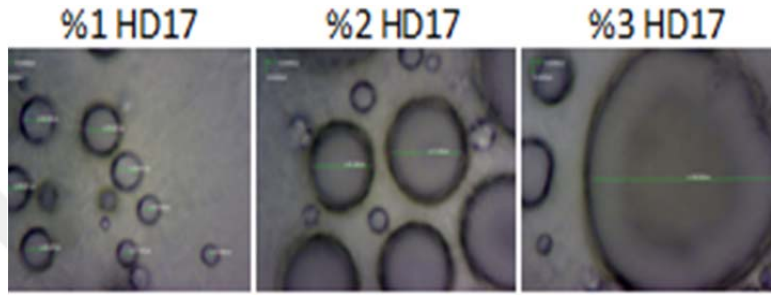
Formül Kodu	Köpük Kapasitesi (%)
HDS	35,20 ^b
YAK	52,26 ^a
İTK	20,42 ^c
YTK	21,08 ^c
HDES	6,03 ^e
%2 HD17	15,31 ^d

Alben ve İbanoğlu (2006) yaptıkları çalışmada, yumurta akı (YAK) ve peynir altı suyu proteini izolatının (PSİ) hidrokolloidler ile birlikte kullanımının KÖK ve KS üzerindeki etkileri incelenmiştir. Buna göre olarak hem YAK hem de PSİ köpük stabilitesinin, pektin ve guar gam ilavesiyle arttığı ve bu artışın pektin kullanılan örneklerde daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, her iki hidrokolloidin varlığı ve konsantrasyonundaki artışın köpük oluşturma kapasitesi üzerinde anlamlı bir farklılık oluşturmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$).

4.2.3. Hava Kabarcığı Dağılımı

Çalışmamızda, toplam hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak hamurda yer alan hava kabarcıkları büyüklüğünün genel olarak arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, hidrokolloid oranındaki artış ile birlikte özellikle toplam hidrokolloid konsantrasyonu %3 olan hamur örneklerine ait hava kabarcıklarının çembersellik faktörünün genellikle düştüğü ve şekillerinin daireselden elips benzeri bir forma dönüştüğü gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, en düşük toplam hidrokolloid konsantrasyonunda (%1) hava kabarcıklarının daha düzenli ve homojen bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmamızda en beğenilen düşük protein içerikli kek

örneğine ait %1, %2 ve %3 olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda toplam hidrokolloid oranına sahip hamur örneklerindeki hava kabarcığı dağılımı Şekil 4.5’de verilmiştir. Farklı hidrokolloid konsantrasyonu ve kombinasyonuna sahip diğer kek formülasyonlarına ait hamur hava kabarcığı dağılımı ise Ek-6’da verilmiştir.



Şekil 4.5. HD17 Kodlu Örneğe Ait Hamur Hava Kabarcığı Boyut ve Dağılımı

Kek üretiminde yumurtanın, soya sütü ve 6 farklı konsantrasyonda (%1, %2, %3, %4, %5, %6) soya lesitini ile birlikte kullanımı sonucu ikame edildiği bir çalışmada, %62,5 oranında yumurta içeren kontrol örneklerine ait hava kabarcık sayısının ve büyüklüklerinin yumurtasız kek hamurlardan daha fazla olduğu belirtilmiştir. Ayrıca emülgatör kullanımına bağlı olarak sıvı ve gaz faz arasındaki yüzey geriliminin azaldığı ve daha fazla hava kabarcığını stabilize ettiği belirtilmiştir (Hedayati ve Tehrani, 2018).

Benzer bir çalışmada, poligliserol ester (PGE), monodigliserit (MG), ve lesitin olmak üzere 3 farklı emülgatör kullanımının, yumurtasız kekler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Herhangi bir emülgatör içermeyen yumurtasız kek hamurlarına ait hava kabarcıklarının irili-ufaklı olduğu ve homojen bir dağılım göstermediği gözlenmiştir. MG kullanımının küçük boyutlardaki hava kabarcıkları miktarını arttırdığı, lesitin kullanımında ise birim alandaki toplam hava kabarcığı sayısının azaldığı ve düzenli bir dağılım gösterdiği ifade edilmiştir (Movahhed ve ark, 2016).

3 farklı konsantrasyonda (%10, %20, %30) peynir altı suyu proteini konsantresinin (PSK) yumurta ikamesi olarak kullanılarak yumurtasız kek üretiminin gerçekleştirildiği bir çalışmada, kontrol örneğine ait hamurlardaki hava kabarcıklarının irili, ufaklı ve düzensiz bir biçimde dağılım gösterdiği belirtilmiştir. %10 oranında PSK kullanılan hamurlarda ise kontrol örneğine kıyasla hava kabarcıklarının daha küçük boyutlarda olduğu ve daha düzenli bir dağılım gösterdiği saptanmıştır. PSK konsantrasyonunun %20 olduğu hamurlarda küçük boyutlardaki hava kabarcıkları sayısının arttığı ve daha homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir. En yüksek PSK kullanım oranında ise büyük hava kabarcıkları ve kümeleşmiş küçük boyutlarda hava kabarcıklarının bulunduğu ve düzensiz bir şekilde dağıldıkları tespit edilmiştir (Jyotsna ve ark, 2007).

Yumurtasız kek üretiminde keten tohumu (KT) ile soya unu (SU) karışımı, gliserol monostearat (GMS) veya sodyum stearol-2-laktilat (SSL) olmak üzere 2 farklı emülgatörle birlikte kullanılmıştır. Buna göre yumurta içeren kontrol örneklerine ait hamurların küçüklü-büyükü hava kabarcıkları içerdiği belirtilmiştir. Ayrıca emülgatör olarak GMS kullanılan hamur örnekleri SSL kullanılanlar ile karşılaştırıldığında, daha küçük boyutlarda hava kabarcıklarının ortama hakim olduğu belirtilmiştir. Bu durum, emülgatör ilavesiyle hamur viskozitesinde meydana gelen azalmanın kek hamur yapısında tutulan hava kabarcıkları miktarını arttırdığı şeklinde açıklanmıştır. (Kumar ve ark, 2017).

4.3. Kek Nitelikleri

Kek hamuru, pişirme işlemi süresince nişasta jelatinizasyonu ve protein koagülasyonu olmak üzere 2 temel reaksiyonun gerçekleşmesi sonucunda gözenekli ve katı formda bir nihai ürün olan keke dönüşmektedir (Hedayati ve Tehrani, 2018). Nihai ürün olan keklerin bileşiminde yer alan hammddeler ve bunların miktarları ve /veya oranları ile ilişkili formülasyonların kalite nitelikleri üzerinde oldukça etkili olduğu bilinmektedir. Bu kalite niteliklerinin, dünya

üzerinde ülke ve/veya kültür farklılığına göre değişip çeşitlenebileceği belirtilmektedir.

Araştırmanın ikinci aşamasında; hidrokolloid içermeyen (HDS), yumurta, hidrokolloid, emülgatör içermeyen (HDES) ve yumurta akı tozu (YAK) kullanılan kek örnekleri, kalite nitelikleri açısından yetersiz olduğu için, yapısal özellikler, spesifik hacim, gözenek boyut dağılımı ve tekstürel özelliklerinin belirlenmesine yönelik analizler gerçekleştirilememiştir. Karşılaştırılabilir veri eksikliği nedeniyle ticari un karışımı kullanılan kek örneklerinde de belirtilen bu analizler gerçekleştirilmemiştir.

Farklı hidrokolloid konsantrasyonu ve kombinasyonuna sahip diğer 45 farklı kek formülasyonlarına ait tüm görseller Ek-2; araştırmanın ikinci aşamasında %2 HD17 kodlu örnek ile karşılaştırılmak üzere üretilen YAK, HDS, HDES, İTK ve YTK kodlu örnekler ait tüm görseller ise Ek-3’de verilmiştir.

4.3.1. Protein

Kek örneklerinde protein analizi, araştırmanın ikinci aşamasını oluşturan örneklerde gerçekleştirilmiştir. Buna göre HDS, YAK, HDES ve %2 HD17 kodlu keklere ait protein içerikleri sırasıyla %3,57; %4,12; %3,38; %3,12 olarak belirlenmiştir. Kek örnekleri arasında en yüksek protein içeriği beklenildiği üzere yumurta akı içeren YAK kodlu kek örneklerinde saptanmıştır. Ayrıca, çalışmamızda duyuşal anlamda en beğenilen HD17 kodlu kek örneğine ait protein içeriğinin yumurta akı kullanılan kek örneklerinden %1 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, elde edilen yumurtasız keklerin fenilketonüri hastalarının tüketimi açısından umut vadettiği şeklinde yorumlanmıştır. Ancak yerli ve ithal ticari un karışımı kullanılan kek örneklerine ait protein içeriğinin %0,22’nin altında olmak üzere daha düşük olduğu dikkat çekmektedir. (Çizelge 4.12). Bu durum, düşük protein içerikli bu karışımların buğday nişastası bazlı olması ile ilişkilidir. Ancak bu karışımlar kullanılarak üretilen keklerin renk başta olmak üzere kalite nitelikleri açısından oldukça zayıf olduğu gözlenmiştir (Ek-3).

Dolayısıyla hammadde olarak pirinç unu, nişasta kaynaklarının kullanıldığı ve yapının farklı hidrokolloid ile emülgatörler ile uygun düzeylerde kombinasyon halinde kullanılmasına yönelik çalışmaların devam etmesi gerektiği ve optimizasyonun oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.12. Farklı Kek Örneklerine Ait Protein Değerleri (%)

Formül Kodu	Protein İçeriği (%)
HDS	3,57 ^b
YAK	4,12 ^a
İTK	<0,22 ^e Tespit Edilemedi
YTK	<0,22 ^e Tespit Edilemedi
HDES	3,38 ^c
%2 HD17	3,12 ^d

Soya sütü tozu, chia ve muzun yumurta ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada elde edilen keklerin protein içerikleri sırasıyla %11,9; %8,3; %8,8 olup; yumurtanın buğday unu veya kompozit un karışımı ile birlikte kullanıldığı kontrol örneklerine kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kontrol keklerin albümin içeriği ile ilişkilendirilmiştir (Agrahar-Murugkar ve ark, 2016).

Glutensiz kek üretiminde yumurta ikamesi olarak farklı protein kaynaklarının kullanıldığı bir çalışmada, yumurta akı proteini, soya protein izolatu ve kazein kullanılarak elde edilen keklerin ortalama protein içeriği 11,55 g/100g iken; vital gluten ve bezelye protein izolatu kullanılan kek örneklerinin protein içeriği ise sırasıyla 10,43 g/100g ve 10,96 g/100g olarak belirlenmiştir (Matos ve ark, 2014).

Chia jeli kullanılarak yumurtanın kısmi olarak (%25, %50, %75) ikame edildiği keklerin protein içerikleri sırasıyla 4,6 g/100g; 4,2 g/100g ve 3,8 g/100g olup ikame oranı artışına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, tüm ikame oranlarına ait protein içeriğinin yumurta kullanılarak üretilen kontrol keklerinden daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Literatür çalışmalarındaki keklerin yukarıda belirtilen protein içeriği değerleri göz önünde bulundurulduğunda; çalışmamızın esas amacını oluşturan protein içeriği azaltılmış kek örneğini temsilen %2 toplam hidrokolloid oranına sahip HD17 kodlu örneğe ait protein içeriğinin, yumurta ve farklı bitkisel veya hayvansal protein kaynağı kullanılan kek örneklerinden daha düşük olduğu saptanmıştır.

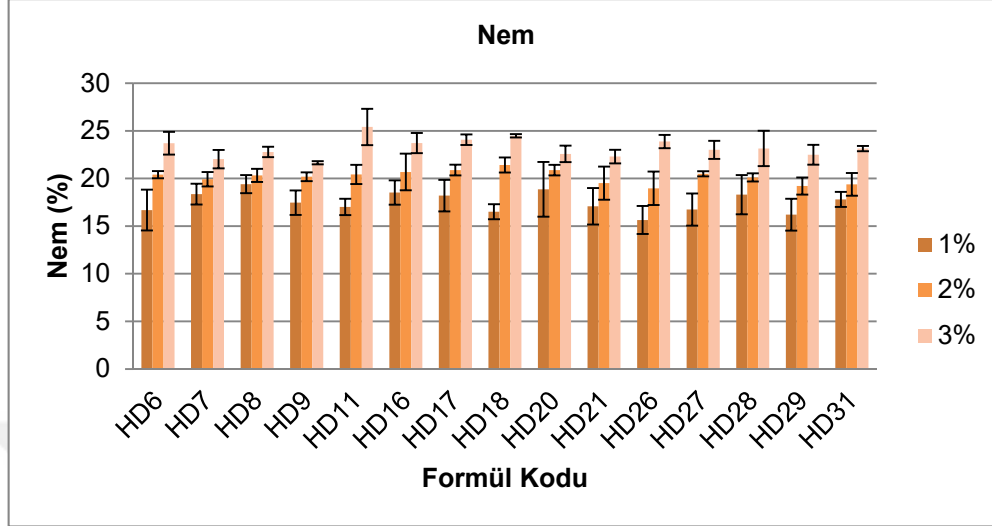
4.3.2. Nem

Kek örneklerine ait nem içerikleri Çizelge 4.13’de verilmiş olup örnekler arasındaki farklılığın, istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Bu farklılıkların hidrokolloid kombinasyonu ve hidrokolloid konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Buna göre, kek örneklerine ait nem içeriği %15,64-25,41 aralığında değişmekte olup %1, %2 ve %3 oranında hidrokolloid kullanılarak üretilen keklerin ortalama nem içeriği sırasıyla %17,52; %20,18; %23,23 olarak saptanmıştır. En düşük nem içeriği %1 oranından ksantan gam, guar gam, HPMC ve CMC kombinasyonundan oluşan HD26 kodlu örneğe aitken; en yüksek nem içeriği %3 oranında guar gam ve CMC içeren HD11 kodlu kek örneğinde tespit edilmiştir. Ayrıca hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak kek örneklerine ait nem içeriğinde düzenli bir artış tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Bu durum, hidrokolloidlerin yüksek su tutma kapasitesine sahip olmaları ile ilişkilendirilebilir.

Çizelge 4.13. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Nem Değerleri (%)

Hidrokolloid Konsantrasyonu			
Formül Kodu	%1	%2	%3
HD6	16,68 ^{rst}	20,40 ^{ghijkl}	23,70 ^{abcd}
HD7	18,36 ^{lmnoprs}	19,92 ^{hijklmn}	22,03 ^{bcdefgh}
HD8	19,40 ^{ijklmnop}	20,32 ^{ghijkl}	22,78 ^{bcdef}
HD9	17,46 ^{noprst}	20,18 ^{ghijklm}	21,65 ^{cdefghi}
HD11	17,01 ^{prst}	20,42 ^{ghijkl}	25,41 ^a
HD16	18,52 ^{klmnoprs}	20,68 ^{efghijkl}	23,71 ^{abcd}
HD17	18,20 ^{lmnoprs}	20,88 ^{efghijk}	24,07 ^{abc}
HD18	16,51 ^{noprst}	21,41 ^{bcdefgh}	24,48 ^{ab}
HD20	18,86 ^{rst}	20,87 ^{defghij}	22,58 ^{bcdefg}
HD21	17,08 ^{oprst}	19,51 ^{ijklmno}	22,30 ^{bcdefgh}
HD26	15,64 ^t	18,97 ^{klmnopr}	23,88 ^{abcd}
HD27	16,74 ^{rst}	20,49 ^{ghijkl}	23,01 ^{abcde}
HD28	18,30 ^{lmnoprs}	20,11 ^{ghijklm}	23,15 ^{abcde}
HD29	16,20 st	19,21 ^{ijklmnop}	22,49 ^{bcdefg}
HD31	17,81 ^{mnpqrst}	19,38 ^{ijklmnop}	23,14 ^{abcde}

TS 13375 Hazır Kekler Standardı'na göre hazır keklerde nem içeriğinin en çok %20 olması gerektiği bildirilmiş olup %3 oranında hidrokolloid içeren tüm kek örneklerine ait nem içerikleri bu sınır değerin üzerinde yer almaktadır. Arozarena ve ark (2001), kek benzeri gıdaların raf ömrü göz önünde bulundurulduğunda nem içeriğinin yaklaşık %17 olması gerektiğini belirtmiş olup çalışmamızda toplam hidrokolloid konsantrasyonu %2 ve %3 olan tüm yumurtasız keklere ait nem içeriklerinin bu değerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Nem Değerlerinin Kıyaslanması

Bayatlama, zamana bağlı olarak unlu mamüllerin tat ve dokusunda meydana gelen kalite kaybı olarak tanımlanmaktadır. Kabuk yapının yumuşaması ve parlaklığını yitirmesi; iç yapının ise yumuşaklık ve elastikiyetini yitirerek sertleşmesi, kolay ufalanabilir bir hal alması ve aroma kaybı şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bayatlamasına neden olan en önemli etmenler; nişasta retrogradasyonu başta olmak üzere ekmeğin nem içeriği, protein miktarı ile kalitesi ve ortam sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır (Ercan ve Özkan, 1985). Nem içeriği fazla olan keklerde, bayatlamanın daha yavaş gerçekleştiği bilinmektedir. Buna göre %3 oranında toplam hidrokolloid kullanılarak HD11 hidrokolloid kombinasyonu ile üretilen kek örneklerinde bayatlamanın daha yavaş; %1 toplam hidrokolloid konsantrasyonunda HD26 formül kodlu kek örneklerinde ise daha hızlı gerçekleşeceği şeklinde yorumlanabilir.

Herhangi bir hidrokolloid kullanılmadan üretilen kek örneklerine (HDS) ait nem içeriği %12,67 olup çalışma kapsamında üretilen keklerle kıyaslandığında bu değer daha düşük olduğu saptanmıştır. Düşük protein içerikli ithal ve yerli ticari karışım kullanılarak üretilen kek örneklerine ait ortalama nem içerikleri sırasıyla

%22,64 ve %26,65 olup çalışma kapsamında gerçekleştirilen kek örneklerine ait sınır nem değerleri göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık olarak paralellik göstermektedir. Ayrıca %2 oranında yumurta akı kullanılarak üretilen kek örneklerine (YAK) ait nem içeriğinin, %2 oranında hidrokolloid kullanılarak üretilen keklerin ortalama nem içeriği olan %20,18 değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Farklı Kek Örneklerine Ait Nem İçerikleri (%)

Formül Kodu	Nem İçeriği (%)
HDS	12,67 ^f
YAK	16,64 ^d
İTK	22,64 ^b
YTK	26,65 ^a
HDES	14,27 ^e
%2 HD17	20,88 ^c

Yumurtasız kek üretiminde farklı yumurta ikamelerinin kullanıldığı çalışmalarda, kek örneklerine ait nem içerikleri %15,55-%46,23 olmak üzere geniş bir aralıkta değişkenlik göstermektedir (Diaz-Ramirez ve ark, 2016; Trisnawati ve ark, 2016). Bu değişkenlik, kek bileşiminde kullanılan diğer hammaddeler, hamur ağırlığı, pişirme sıcaklığı ile pişirme süresi gibi proses parametreleri ve yumurta ikame türü ve yumurta ikame maddesi oranındaki farklılıklardan kaynaklanabilmektedir.

Kek örneklerine ait nem analiz sonuçları literatürdeki peynir altı suyu proteini konsantresi (PSK) ve yağsız süt tozu (ST) (Singh ve ark., 2017); peynir altı suyu proteini izolatu (Diaz-Ramirez ve ark, 2016 ve Geera ve ark, 2011); PSK ile emülgatör kombinasyonu (Movahhed ve ark, 2016); peynir altı suyu protein izolatu (PSİ) ve birbirleriyle farklı oranlarda guar gam, ksantan gam (Kohrs ve ark, 2010) kullanıldığı çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Bu durum, hidrokolloidlerin kombinasyonlar halinde kullanımının PSİ ve PSK ile benzer su tutma ve su bağlama kapasitesine sahip olabileceği şeklinde yorumlanabilir.

Ancak 2 farklı konsantrasyonda (%2 ve %4) ksantan gam kullanılıp yumurtanın kısmi olarak ikame edildiği (%20, %30, %40 ve %50) pirinç unu bazlı glutensiz kek üretiminin gerçekleştirildiği benzer bir çalışmada; nem içeriklerinin %42.40-46.23 aralığında olmak üzere oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir (Trisnawati ve ark., 2016).

Kek üretiminde yumurta ikamesi olarak gam arabik, guar gam, ksantan gam, HPMC ve karregenol olmak üzere 5 farklı hidrokolloidin %0,5 oranında kullanıldığı diğer bir çalışmada, nem içeriği %30,30-%33,60 aralığında değişmekte olup kontrol örneği ile karşılaştırıldığında nem içeriklerinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu durum, hidrokolloidlerin yüksek hidrasyon yeteneğine sahip olmaları ile açıklanmıştır. Ayrıca, hidrokolloidler arasında ise HPMC kullanılan kek örneklerinin en yüksek nem değerine sahip olduğu belirtilmiştir (Ashwini ve ark, 2009) ancak çalışmamız kapsamında gerçekleştirilen nem analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında benzer bir ilişki tespit edilememiştir.

Diğer bir çalışmada, yumurta ikame oranı artışına bağlı olarak kek örneklerine ait nem içeriklerinin azaldığı belirtilmiştir ve bu durum özellikle yumurta akının yüksek nem içeriğine sahip olması ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca seyrelen yumurta proteini miktarındaki artışa bağlı olarak, su bağlama kapasitesinin azaldığı ve hamurdaki serbest su miktarının arttığı bildirilmiştir. Bunun sonucunda da, pişirme sırasında buharlaşan serbest su miktarında meydana gelecek artışın, nem içeriğinde azalmaya neden olacağı şeklinde açıklanmıştır (Trisnawati ve ark, 2016).

4.3.3. Pişme Kaybı

Pişme kaybının gereğinden yüksek olması nihai ürünün kuru, gereğinden düşük olması ise nemli bir yapıya sahip olması ile sonuçlanacağından her iki durumun da nihai ürünün kalite özellikleri açısından istenmeyeceği belirtilmiştir (Geera ve ark, 2011). Nihai ürünün kalitesi için önemli olmasının yanı sıra aynı ürünlerin tazeliğini de etkilediği bildirilmektedir (Jarpa-Parra ve ark, 2017). Ayrıca

pişme kaybındaki artış, üretim sürecinde kullanılan hammadde miktarında artma ve nihai ürünün ağırlığında azalma meydana getireceğinden ekonomik bir kayıp olarak nitelendirilmektedir (Ratnayeke ve ark, 2011).

Yumurtasız kek örneklerine ait pişme kaybı değerleri %26,97-36,59 aralığında değişmektedir. En düşük pişme kaybı değeri %3 oranında ksantan gam, guar gam ve CMC kombinasyonundan oluşan HD17 kodlu örneğe aitken; en yüksek pişme kaybı değeri %1 oranında guar gam ve CMC içeren HD11 kodlu kek örneklerinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.15).

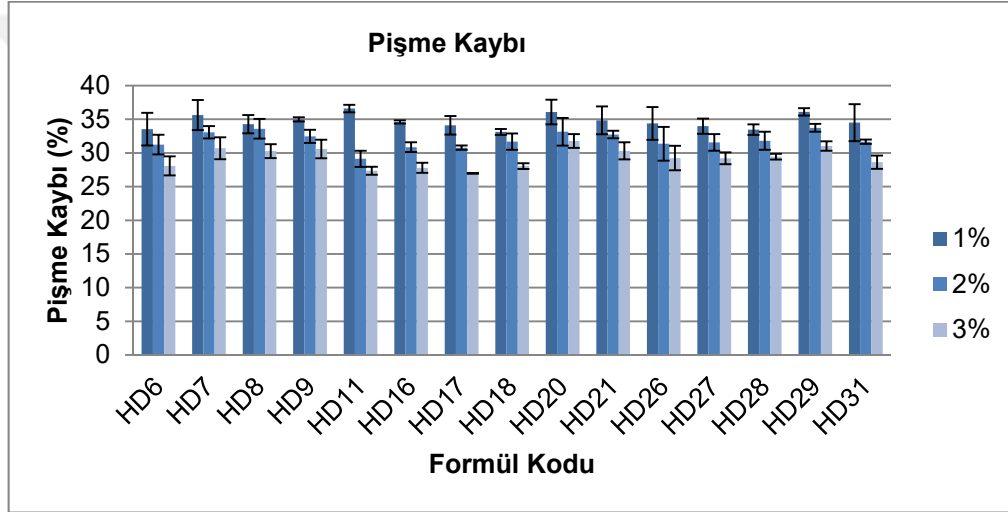
Çizelge 4.15. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Pişme Kaybı Değerleri (%)

Hidrokolloid Konsantrasyonu			
Formül Kodu	%1	%2	%3
HD6	33,53 ^{bcdefghijk}	31,24 ^{ijklmnop}	28,08 ^{stu}
HD7	35,63 ^{abcd}	33,07 ^{defghijklm}	30,70 ^{mno}
HD8	34,27 ^{abcde}	33,59 ^{bcdefghijk}	30,27 ^{no}
HD9	34,98 ^{abcde}	32,46 ^{efghijklmn}	30,59 ^{mno}
HD11	36,59 ^a	29,13 ^{prstu}	27,35 ^u
HD16	34,61 ^{abcde}	30,86 ^{lmnop}	27,79 ^{tu}
HD17	34,10 ^{abcde}	30,80 ^{lmnop}	26,97 ^u
HD18	33,13 ^{defghijklm}	31,69 ^{ghijklmnop}	28,04 ^{stu}
HD20	36,07 ^{abc}	33,15 ^{defghijklm}	31,78 ^{ghijklmno}
HD21	34,85 ^{abcde}	32,73 ^{efghijklmn}	30,31 ^{no}
HD26	34,38 ^{abcde}	31,37 ^{ijklmnop}	29,24 ^{oprstu}
HD27	33,98 ^{bcdefghi}	31,56 ^{hijklmnop}	29,21 ^{oprstu}
HD28	33,47 ^{cdefghijkl}	31,81 ^{fghijklmno}	29,45 ^{oprstu}
HD29	36,10 ^{ab}	33,73 ^{bcdefghij}	31,03 ^{klmnop}
HD31	34,50 ^{abcde}	31,67 ^{ghijklmnop}	28,63 ^{rstu}

Şekil 4.7’de görüldüğü üzere hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak kek örneklerine ait pişme kaybı içeriğinde sırasıyla ortalama %34,68; %31,92; %29,30 olmak üzere genel olarak düzenli bir azalma tespit edilmiştir. Bu

durum hidrokolloid konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak su tutma kapasitendeki artış ile ilişkilendirilebilir.

Çalışmamızda, hidrokolloid konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak keklerin nem içeriklerinin arttığı ve pişme kayıplarının azaldığı belirlenmiş olup bu 2 parametre arasında negatif yönde bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Ancak, Ratnayake ve ark (2011), yapmış oldukları çalışmada keklerin nem içeriği ve pişme kayıpları arasında düzenli bir ilişki bulunmadığı belirtmiştir.



Şekil 4.7. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Pişme Kaybı Değerlerinin Kıyaslanması

İthal düşük protein içerikli un karışımı kullanılarak üretilen kek örneklerine ait pişme kaybı değeri %39,22 olup (Çizelge 4.16) farklı konsantrasyonlarda ve kombinasyonlarda hidrokolloid kullanılarak elde edilen tüm kek numuneleriyle kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı düzeyde en düşük pişme kaybı değerinin, hammadde olarak yerli düşük protein içerikli unun kullanıldığı kek örneklerine ait olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Ayrıca HD17 kodlu kek örneğini İTK ve HDS kodlu kek örneklerinden daha düşük; YAK,

YTK ve HDES kodlu kek örneklerinden ise daha yüksek pişme kaybı değerine sahip olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.16. Farklı Kek Örneklerine Ait Pişme Kaybı Değerleri (%)

Formül Kodu	Pişme Kaybı (%)
HDS	34,73 ^b
YAK	23,99 ^{de}
İTK	39,22 ^a
YTK	22,16 ^e
HDES	26,38 ^d
%2 HD17	30,80 ^c

Farklı yumurta ikame maddeleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda, kek örneklerine ait pişme kaybı değerleri %11-13 (Rahmati ve Tehrani, 2015); %13,10-13,60 (Geera ve ark, 2011); %14,59-15,62 (Agrahar-Murugkar ve ark, 2016); %15.39-19.43 (Diaz-Ramirez ve ark, 2016) olarak tespit edilmiş olup çalışma kapsamında üretimi gerçekleştirilen yumurtasız keklere kıyasla daha düşük olduğu saptanmıştır. Soya unu ve gluten, peynir altı suyu proteini, diyet lif ve hidrokolloid bazlı olmak üzere 3 farklı yumurta ikamesinin kullanıldığı bir çalışmada, kek örneklerine ait pişme kaybı değerleri oldukça düşük olup sırasıyla; %8,88; %9,11; %9,36 olarak belirlenmiştir (Ratnayake ve ark, 2011).

Yumurta ikamesi olarak peynir altı suyu protein izolatının (PSİ) 3 farklı konsantrasyonda (%14, %17, %20) tek başlarına veya HPMC ve SSL ile birlikte kullanıldığı bir çalışmada kek örneklerine ait pişme kaybı değeri 28,40-34,40 (Paraskevopoulou ve ark, 2015); mercimek proteini kullanılarak %50 ve %75 olmak üzere kısmi olarak yumurta ikamesinin gerçekleştirildiği bir çalışmada ise pişme kaybı değerleri sırasıyla %25,9 ve %37,7 olup bu değerler analiz sonuçları ile paralellik göstermektedir. Ayrıca, yumurta ikamesi kullanılarak üretilen keklere ait pişme kaybı değerlerinin yumurta akı proteini kullanılarak elde edilen kontrol grubu keklere kıyasla istatistiksel açıdan anlamlı ölçüde düşük olduğu ($p<0,05$) bildirilmiştir (Jarpa-Parra ve ark, 2017).

Benzer şekilde Ratnayake ve ark, (2011) gerçekleştirdiği bir çalışmada, farklı yumurta ikameleri kullanılarak üretilen keklere ait pişme kaybı değerlerinin, sıvı yumurta ve yumurta tozu kullanılarak üretilen kontrol grubu keklere oranla daha düşük olduğu bildirilmiştir. Bu durum, yumurta ikame maddesinin yumurta akına kıyasla daha yüksek su bağlama kapasitesine sahip olması ile ilişkilendirilmiştir. Ancak; toplam %2 oranında hidrokolloid kullanılarak üretilen yumurtasız keklerin ortalama pişme kaybı değerinin (%31,92); Çizelge 4.16’de görüldüğü üzere çalışmamızda yumurta akı (YAK) kullanılarak üretilen keklere ait pişme kaybı değerinden (%23,9) yüksek olduğu tespit edilmiştir.

4.3.4. Spesifik Hacim

Farklı konsantrasyon ve kombinasyonlarda hidrokolloid içeren yumurtasız kek örneklerine ait spesifik hacim değerleri Çizelge 4.17’de verilmiştir. Buna göre, spesifik hacim değerleri 1,22-2,50 cm³/g aralığında değişmektedir. En düşük spesifik hacim değeri %3 oranında ksantan gam ve guar gam kombinasyonundan oluşan HD11 kodlu örneğe aitken; en yüksek spesifik hacim değeri %1 oranında toplam hidrokolloid içeriğine sahip HD21 ve HD27 kodlu kek örneklerinde tespit edilmiştir. Ayrıca %2 hidrokolloid konsantrasyonunda da en düşük spesifik hacim değerlerinin (1,60 cm³/g), HD11 kodlu örneklere ait olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.17. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Spesifik Hacim Değerleri (cm³/g)

Hidrokolloid Konsantrasyonu			
Formül Kodu	%1	%2	%3
HD6	2,32 ^{ab}	1,75 ^{ghijkl}	1,58 ^{kl}
HD7	2,44 ^a	1,84 ^{fghijk}	1,74 ^{ghijkl}
HD8	2,24 ^{abcd}	1,95 ^{efgh}	1,70 ^{hijkl}
HD9	2,33 ^a	1,96 ^{efgh}	1,70 ^{hijkl}
HD11	2,27 ^{abc}	1,60 ^{ijkl}	1,22 ^m
HD16	2,32 ^{ab}	1,99 ^{defgh}	1,85 ^{fghijk}
HD17	2,22 ^{abcde}	1,84 ^{fghijk}	1,50 ^l
HD18	2,32 ^{ab}	1,82 ^{fghijk}	1,65 ^{ijkl}
HD20	2,42 ^a	1,97 ^{efgh}	1,85 ^{ghijkl}
HD21	2,50 ^a	1,90 ^{fghi}	1,83 ^{fghijk}
HD26	2,44 ^a	1,85 ^{fghijk}	1,65 ^{ijkl}
HD27	2,50 ^a	1,80 ^{fghijk}	1,62 ^{ijkl}
HD28	2,46 ^a	1,89 ^{fghij}	1,71 ^{hijkl}
HD29	2,41 ^a	2,05 ^{bcdef}	1,76 ^{fghijkl}
HD31	2,37 ^a	2,02 ^{cdefg}	1,70 ^{hijkl}

Bunun yanı sıra, %1, %2 ve %3 oranında hidrokolloid kullanılarak üretilen keklerin ortalama spesifik hacim değerleri sırasıyla 2,37 cm³/g; 1,88 cm³/g; 1,67 cm³/g olarak saptanmıştır. Buna göre, hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak kek örneklerine ait spesifik hacim değerlerinde düzenli bir azalma gözlenmiştir (Şekil 4.8). Bu durum, hamur örneklerine ait son özgül ağırlık değerlerindeki ile ilişkilendirilebilir. Şekil 4.2 incelendiğinde, toplam hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak hamur son özgül ağırlıklarında artış gözlenmiştir. Özgül ağırlık değerindeki artış ile birlikte yapıya dahil edilen hava kabarcıklarının azaldığı, kabarma işleminde engel olduğu ve buna bağlı olarak nihai ürünün hacim değerlerinin de azaldığı şeklinde yorumlanmıştır (Hedayati ve Tehrani, 2018; Kumar ve ark, 2017). Kek üretiminin standardizasyonu ve tüketici için belirleyici bir faktör olan hacim ile ilişkili spesifik hacim değerleri göz önünde

bulundurulduğunda, yüksek konsantrasyonlarda hidrokolloid kullanımının nihai ürün üzerinde olumsuz etkileri olabileceği düşünülmektedir.

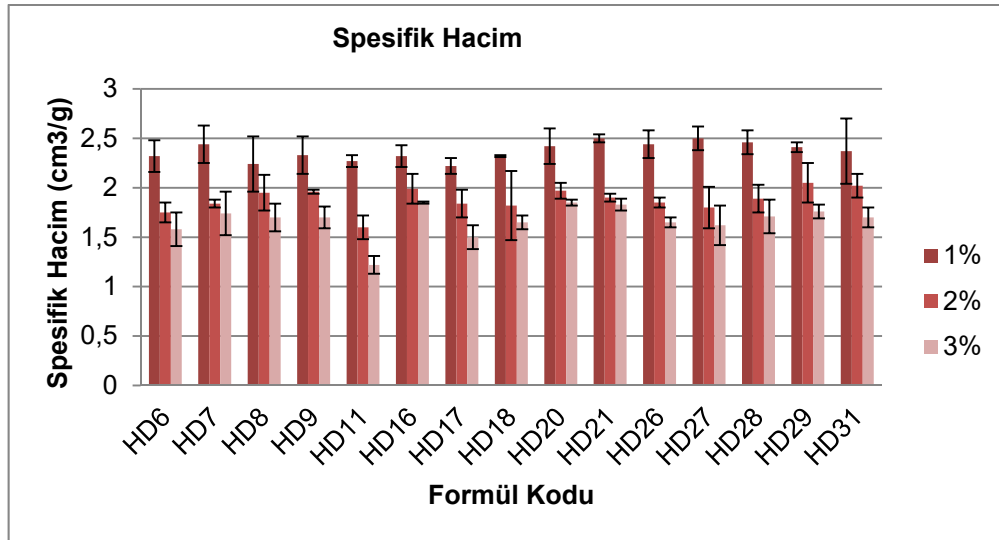
Yapılan çalışmalarda, hamur niteliklerinin özellikle nihai ürün olan keklerin hacmi üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir. Bu doğrultuda spesifik hacim üzerindeki etkisinin belirlenmesi için yumurta ikamelerinin hamur özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmasının önemli belirtilmiştir (Lin ve ark, 2017 b). Rahmati ve Tehrani (2015) yaptıkları bir çalışmada, hacim ve özgül ağırlık arasında negatif bir korelasyon bulunduğunu ancak nihai ürünün hacim değerinin sadece özgül ağırlığa bağlı olmadığını ve regrasyon denkleminin başarısının bir ölçütü olan R^2 değerinin 0,75 olduğunu ifade etmiştir. Benzer bir şekilde, diğer bir çalışmada nihai ürünün hacmi üzerinde sadece yapıya dahil edilen hava kabarcıkları miktarının değil, pişirme esnasında bu kabarcıkların stabiliteilerinin de önemli olduğu vurgulanmıştır (Rahmati ve Tehrani, 2014).

Peynir altı suyu protein izolatu kullanılarak yumurtanın 4 farklı oranda (%12,5, %25, %50, %100) ikame edildiği bir çalışmada, ikame oranlarına karşılık gelen spesifik hacim değerleri sırasıyla 4,16 cm³/g; 4,22 cm³/g; 3,61 cm³/g; 3,76 cm³/g olarak tayin edilmiştir. Buna göre, %50 ve %100 oranında ikame edilen kek örneklerine ait spesifik hacim değerleri kontrol grubu sonuçlarına göre daha düşükken %25 ve %50 ikame oranlarında bu değerin daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Bu durum hamur viskozitesiyle ilişkilendirilmiştir. Yumurta ikame oranı %25'in üzerine çıktığında hamur viskozitesinde meydana gelen azalmanın, çırpma esnasında yapıya dahil edilen gaz hücreleri hamurdan uzaklaştırdığı ve bunun sonucunda daha düşük hacimli nihai ürünler elde edildiği ifade edilmiştir (Diaz-Ramirez ve ark, 2016).

Soya protein izolatının (SPI) tek başına, ksantan gam ve/veya 2 farklı emülgatör (MDG, SSL) ile kombinasyonlar halinde kullanıldığı bu çalışmada, benzer bir biçimde spesifik hacim değeri hamur özgül ağırlığı ile ilişkilendirilmiştir. SPI kullanımının hamur özgül ağırlık değerini (1,13 cm³/g) kontrol örneği ile kıyaslandığında (1,03 cm³/g) arttırdığı ve buna bağlı olarak nihai

ürünün spesifik hacim değerinde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, en yüksek spesifik hacim değeri SPİ'nin %0,1 ksantan gam ve %1 SSL ile kombinasyon halinde kullanıldığı kek örneklerinde elde edilmiştir. Ayrıca kek hacminin, kek yapısını sağlayan güçlü bir termal jel oluşturan ve stabilizasyonu sağlayan proteinler sayesinde oluştuğu belirtilmiştir. Yüksek hacim değerlerinin, yumurta gibi iyi jel oluşturma özelliklerine sahip proteinlerin varlığının göstergesi olduğu ifade edilmiştir. Ancak SPİ'nin köpük stabilitesi ve jelleşme özellikleri açısından sınırlı olduğu ve bunun sonucunda yumurtasız keklerdeki düşük spesifik hacimden sorumlu olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Farklı hidrokolloid kullanımının yumurtasız kekleri üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada, kontrol keki ile karşılaştırıldığında guar gam ve karragenan kullanımının hacim üzerinde olumsuz etkileri belirlenirken; HPMC kullanımının hacim değerinde artış sağladığı saptanmıştır. Bu durum hidrokolloidlerin farklı dialektik özelliklere sahip olması ile açıklanmıştır (Ashwini ve ark, 2009).



Şekil 4.8. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Spesifik Hacim Değerlerinin Kıyaslanması

Düşük protein içerikli ticari karışım (İTK) kullanılarak üretilen kek numunelerine ait spesifik hacim değerinin istatistiksel olarak anlamlı ölçüde daha yüksek; yumurta, hidrokolloid ve emülgatör olmak üzere hiçbir köpürme ajanı ve katkı maddesinin kullanılmadığı kek örneklerinde (HDES) ise beklenildiği üzere daha düşük olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). İTK kullanılarak üretilen keklerden sonra en yüksek spesifik hacim değeri %2 HD17 kodlu örneğe ait olup ticari karışım ile spesifik hacim anlamında benzer sonuçlar elde edilebileceği şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca toplam hidrokolloid konsantrasyonu %2 olan HD17 kodlu örneğe ait spesifik hacim değerinin yumurta akı kullanılan keklerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.18). Bu durum, Jyotsna ve ark (2007) yaptıkları çalışmada peynir altı suyu konsantresinin yüksek köpük oluşturma ve emülsifikasyon özelliğine sahip olduğunu belirtmelerinden yola çıkarak çalışmamızda katkı maddeleri olarak kullanılan hidrokolloidlerin köpük oluşturma ve yüzey aktif maddenin emülsifikasyon özelliği ile açıklanabilir. Buna göre, YAK ile karşılaştırıldığında hidrokolloidlerin spesifik hacim değerlerinde artış sağladığı, emülgatörün ise yağ moleküllerinin çevresinde zar oluşturarak yüzey gerilimini azaltarak buna katkı sağladığı şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 4.18. Farklı Kek Örneklerine Ait Spesifik Hacim Değerleri (cm³/g)

Formül Kodu	Spesifik Hacim (cm ³ /g)
HDS	3,44 ^a
YAK	1,79 ^{bc}
İTK	3,27 ^a
YTK	1,61 ^c
HDES	1,17 ^d
%2 HD17	1,84 ^b

Acı bakla unu ve acı bakla protein izolatu kullanılarak yumurtanın kısmi olarak ikame edildiği (%25 ve %50) bir çalışmada spesifik hacim değerlerinin,

yumurta ikamesi ve türüne bağlı olarak 1,420-1,493 cm³/g aralığında değişkenlik gösterdiği bildirilmektedir. Ayrıca, ikame oranı ve yumurta ikame maddesi konsantrasyonu artışına bağlı olarak spesifik hacim değerlerinde artış gözlemlendiği ve bu değerleri yumurta kullanılarak üretilen kontrol örneğine göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, söz konusu artışın protein izolatu kullanılan örneklerde daha belirgin olduğu belirtilmiştir (Salem ve Hanan, 2012). Buna karşın, peynir altı suyu protein konsantresi (PSK) ve yağsız süt tozu (ST) karışımının yumurta ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada, bileşiminde yumurta içeren kontrol örneğinin spesifik hacim değerinin (1,52 cm³/g) PSK ve ST kombinasyonu kullanılarak üretilen kek örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu durum yumurtanın yüksek köpük oluşturma kapasitesi ve emülsifikasyon özelliğine atfedilmiştir (Singh ve ark, 2017). Benzer bir şekilde Kohrs ve ark (2010) yaptıkları çalışmada, yumurtanın tamamen ikame edildiği kek örneklerine ait hacim değerlerinin, yumurta tozu içeren kontrol örneklerinin hacim değerinden daha düşük olduğunu belirtmiştir.

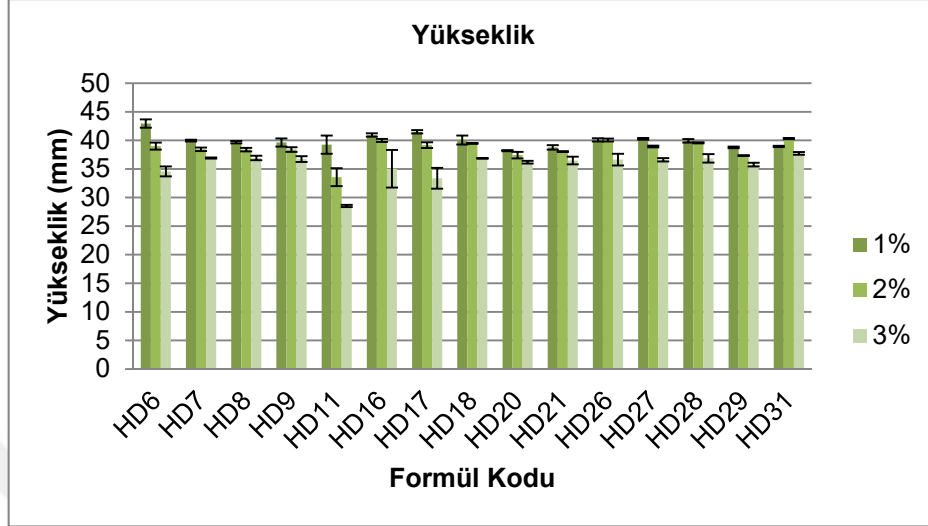
4.3.5. Yükseklik

Düşük protein içerikli kek örneklerine ait yükseklik değerleri Çizelge 4.19'da verilmiştir. Buna göre, yükseklik değerleri 28,53-42,94 mm aralığında değişkenlik göstermektedir. Kek örneklerine ait en düşük yükseklik değeri %3 oranında guar gam ve CMC kombinasyonundan oluşan HD11 kodlu örneğe aittir. Ayrıca HD11 kodlu örneğin %2 hidrokolloid konsantrasyonunda da en düşük yükseklik değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Formülasyonlar içerisinde yükseklik değeri en fazla olan keklerin %1 oranında ksantan gam ve guar gam içeriğine sahip HD6 kodlu örnekler olduğu belirlenmiştir. Bu durum ksantan gam ve guar gam arasındaki sinerjistik etki ile açıklanabilir (Geera ve ark, 2011).

Çizelge 4.19. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Yükseklik Değerleri (mm)

Formül Kodu	Hidrokolloid Konsantrasyonu		
	1%	2%	3%
HD6	42,94 ^a	39,00 ^{defgh}	34,56 ^{pr}
HD7	39,97 ^{cde}	38,43 ^{fghi}	36,90 ^{klmn}
HD8	39,68 ^{cdef}	38,38 ^{fghi}	36,92 ^{ijklmn}
HD9	39,63 ^{cdef}	38,40 ^{fghi}	36,73 ^{ijklmn}
HD11	39,24 ^{defg}	33,56 ^r	28,53 ^s
HD16	40,94 ^{bc}	39,99 ^{cde}	35,03 ^{op}
HD17	41,50 ^b	39,17 ^{defgh}	33,37 ^r
HD18	40,06 ^{cde}	39,48 ^{cdefg}	36,84 ^{klmn}
HD20	38,20 ^{fghij}	37,42 ^{ijklm}	36,18 ^{mno}
HD21	38,77 ^{efghi}	38,05 ^{ghijk}	36,47 ^{lmn}
HD26	40,09 ^{cde}	40,05 ^{cde}	36,63 ^{klmn}
HD27	40,27 ^{bcde}	38,93 ^{defgh}	36,60 ^{klmn}
HD28	39,93 ^{cde}	39,57 ^{cdef}	36,86 ^{ijklmn}
HD29	38,77 ^{efghi}	37,35 ^{ijklm}	35,76 ^{nop}
HD31	38,94 ^{defgh}	40,31 ^{bcd}	37,72 ^{hijkl}

Ayrıca, hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak, HD31 kodlu kek örneği hariç genel olarak yumurtasız keklere ait yükseklik değerlerinde düzenli bir azalma kaydedilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Yükseklik Değerlerinin Kıyaslanması

Araştırmanın ikinci aşamasında üretilen keklerin yükseklik değerleri Çizelge 4.20’de verilmiştir. Buna göre, yükseklik değerleri 26,73-70,17 mm aralığında değişmekte olup ve aralarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Yükseklik değeri yumurta akı kullanılan kek örneklerinde en fazla iken; yumurta ile hidrokolloid ve emülgatör olmak üzere herhangi bir katkı maddesinin kullanılmadığı HDES kodlu örneklerde ise beklenildiği üzere en düşüktür. Benzer bir şekilde, yapılan bir çalışmada yumurta tozu kullanılan kontrol örneklerine ait yükseklik değerinin, farklı yumurta ikameleri kullanılarak üretilen keklerden daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Geera ve ark, 2011).

Çizelge 4.20. Farklı Kek Örneklerine Ait Yükseklik Değerleri (mm)

Formül Kodu	Yükseklik (mm)
HDS	68,60 ^b
YAK	70,17 ^a
İTK	54,73 ^c
YTK	37,53 ^e
HDES	26,73 ^f
%2 HD17	39,17 ^d

Literatür araştırması sonucunda yumurta ikamesi kullanılan keklerin yükseklik değerlerinin 31,3-63,0 mm aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Singh ve ark, 2016; Jarpa-Parra ve ark, 2017; Puranik ve Gupta, 2017; Geera ve ark, 2011; Borneo ve ark, 2010).

Peynir altı suyu konsantresinin (PSK) 3 farklı oranda (%5, %7, %9) yumurta ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada, kek örneklerine ait yükseklik değerinin; PSK oranının %5'ten %7'ye yükseltilmesi ile artış gösterdiği ancak %9 oranında 62 mm olmak üzere sabit kaldığı belirlenmiştir (Puranik ve Gupta, 2017).

Chia jeli kullanılarak yumurtanın %25, %50, %75 olmak üzere 3 farklı oranda kısmi olarak ikame edildiği bir çalışmada, ikame oranlarına göre yükseklik değerleri sırasıyla 62 mm, 54 mm ve 49 mm olarak tespit edilmiştir. Kontrol grubu ve yumurtanın %25 oranında ikame edildiği keklere ait yükseklik değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmezken; bu orandan sonra kek örneklerine ait yükseklik değerlerinin düzenli bir biçimde azaldığı bildirilmiştir (Borneo ve ark, 2010).

Soya sütü ile birlikte farklı konsantrasyonda soya lesitini kullanılarak yumurta ikamesinin gerçekleştirildiği bir çalışmada, yükseklik değerleri 29,9-45,9 mm aralığında değişmektedir. Emülgatör konsantrasyonu artışına bağlı olarak yükseklik değerlerinde düzenli bir artış tespit edilmiş olup bu değerlerin

kontrol örneğinden (46,5 mm) daha düşük olduğu belirlenmiştir (Hedayati ve Tehrani, 2018).

4.3.6. Hacim İndeksi

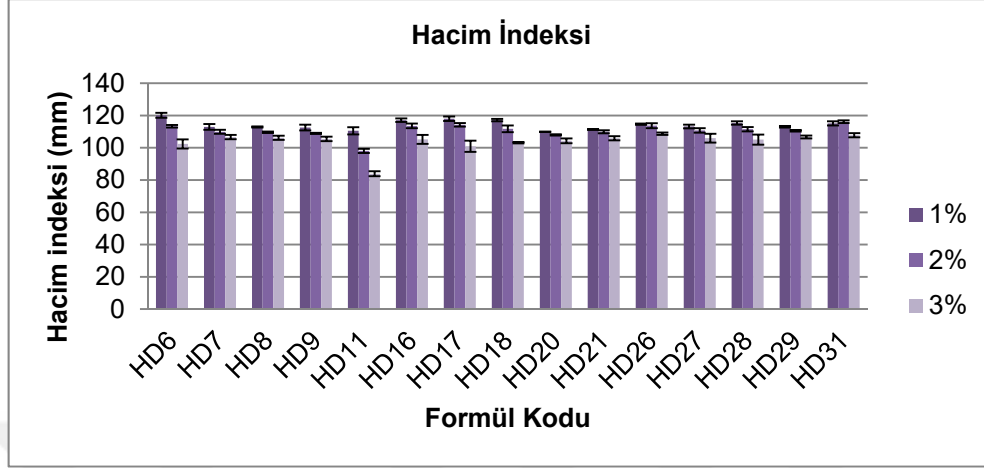
Hacim indeksi, kek örneklerinin hacmi hakkında fikir veren ve AACC, Metot 10-91 esas alınarak gerçekleştirilen yapısal özelliklerin belirlenmesinde kullanılan ölçütlerden biridir (Dizlek ve ark, 2008). Hacim indeksi değerinin, hamur yapısına dahil edilen hava kabarcıkları ile ilişkili olduğu belirtilmektedir. Ayrıca hacim indeksi değerinin yüksek olmasının her zaman arzu edilen kek nitelikleri ile bağdaşmayabileceği, düşük olmasının ise kek içi yapısının sıkı olduğu ve arzu edilmeyen nitelikte ürün olarak karakterize edildiği bildirilmektedir (Rahmati ve Tehrani, 2014).

Kek numunelerinin hacim indeksi değerleri Çizelge 4.21’de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, hacim indeksi değerlerinin 83,89-120,11 mm aralığında değiştiği saptanmıştır. En düşük hacim indeksi değeri, toplam %3 konsantrasyonda guar gam ve CMC içeren HD11 kodlu örneğe aitken; en yüksek hacim indeksi değeri %1 oranında ksantan gam ve guar gam içeriğine sahip HD6 kodlu kek örneklerinde saptanmıştır. Çizelge 4.19 incelendiğinde, benzer bir şekilde, yükseklik değeri en düşük ve en yüksek olan kek örneklerinin de sırasıyla HD11 ve HD6 kodlu örneklere ait olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 4.21. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Hacim İndeksi Değerleri (mm)

Hidrokolloid Konsantrasyonu			
Formül Kodu	%1	%2	%3
HD6	120,11 ^a	113,33 ^{defghi}	102,39 ^{uv}
HD7	112,94 ^{efghi}	109,89 ^{ijklmn}	106,61 ^{oprs}
HD8	112,89 ^{efghi}	109,61 ^{ijklmn}	106,17 ^{oprs}
HD9	112,50 ^{efghij}	108,89 ^{klmno}	105,44 ^{rst}
HD11	110,50 ^{ijklmn}	98,06 ^y	83,89 ^z
HD16	117,07 ^{bc}	113,56 ^{defgh}	105,19 ^{rst}
HD17	117,96 ^{ab}	114,17 ^{defg}	100,89 ^v
HD18	117,17 ^{bc}	111,72 ^{fghijk}	103,17 ^{tuv}
HD20	109,89 ^{ijklmn}	107,94 ^{mnoqr}	104,28 ^{stu}
HD21	111,33 ^{ghijkl}	109,92 ^{ijklmn}	105,89 ^{prst}
HD26	114,61 ^{cdef}	113,67 ^{defg}	108,72 ^{lmnop}
HD27	113,17 ^{efghi}	110,72 ^{hijklm}	105,94 ^{prst}
HD28	115,33 ^{bcde}	111,50 ^{ghijkl}	105,06 ^{rst}
HD29	113,00 ^{efghi}	110,50 ^{ijklmn}	106,67 ^{oprs}
HD31	115,06 ^{cde}	116,11 ^{bcd}	107,78 ^{nopr}

Tüm kek örneklerine ait hacim indeksi değerlerinde hidrokolloid konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak düzenli bir azalış tespit edilmiştir (Şekil 4.10). Analiz sonuçlarına göre, hidrokolloid oranındaki artışa bağlı olarak nihai ürünün hacim değerlerinin bir göstergesi olan spesifik hacim ve yükseklik değerlerinde de sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da görüldüğü üzere azalma kaydedilmiştir. Benzer şekilde, hacim indeksi değerlerinde meydana gelen azalma ile birlikte bu üç analizin birbirleri arasında pozitif yönde; hamur özgül ağırlık değerleri arasında ise negatif yönde bir ilişki olduğu şeklinde yorumlanabilir. Benzer bir şekilde, soya sütü kullanılarak yumurtanın tamamen ikame edildiği bir çalışmada hacim indeksi değerlerinde meydana gelen azalış hamur özgül ağırlığındaki artış ile açıklanmıştır (Rahmati ve Tehrani, 2015)



Şekil 4.10. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Hacim indeksi Değerlerinin Kıyaslanması

Literatürde yer alan benzer çalışmalar incelendiğinde; kek örneklerine ait hacim indeksi değerleri 105-145 mm (Kohrs ve ark, 2010); 95,5-116,25 mm (Rahmati ve Tehran, 2014); 80-110 mm (Rahmati ve ark, 2015) şeklindedir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen kek örneklerine ait ortalama hacim indeksi değeri 109,59 mm olup, kek üretiminde yumurta ikamesi kullanılan literatürdeki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Farklı baklagil, yalancı tahıl içeren tam buğday unu bazlı un karışımının hammadde olarak kullanıldığı bir çalışmada; muz, chia ve soya sütü tozu yumurta ikamesi olarak tercih edilmiştir. Buğday unu ve fonksiyonel un karışımının yumurta ile birlikte kullanılması ile üretilen kek örnekleri ise kontrol grubu olarak belirlenmiştir. Buna göre; kontrol grubu örneklerinin yumurta ikamesinin gerçekleştirildiği örneklere oranlara daha yüksek hacim indeksi (126,60 mm ve 133,19 mm) değerlerine sahip olduğu saptanmıştır. Yumurta ikamesi kullanılan örnekler içerisinde de soya sütü tozu kullanılan örneklerin 67,79 mm olmak üzere en düşük hacim indeksi değerine sahip olduğu bildirilmiştir (Agrahar-Murugkar ve ark, 2016).

Peynir altı suyu konsantresi (PSK) kullanılarak yumurtanın kısmen (%25, %50) ikame edildiği bir çalışmada, hacim indeksi değerleri 141-214 mm aralığında değişmektedir. En yüksek hacim indeksi değeri yumurta akı proteini kullanılan kontrol örneğine aitken (227 mm), %0,1 ksantan gam ve %0,2 MC olmak üzere 2 farklı hidrokolloidin ayrı ayrı kullanımının hacim indeksi değerlerini azalttığı kaydedilmiştir. Ayrıca ikame oranı artışına bağlı olarak hacim indeksi değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Bu durum, PSK'nın denatürasyon ve koagülasyon özelliklerini etkileyen yumurta akından farklı doğal bileşimine atfedilmiştir. Bunun sonucunda, pişirme sırasında PSK'nın genişmiş hava hücrelerini stabilize edemeyerek çöktüğü şeklinde açıklanmıştır (Arunepanlop ve ark, 1996).

4.3.7. Büzülme Değeri

Büzülme değeri, kek üretiminde kullanılan pişirme kalıplarına doldurulan hamurların pişirilmesinden sonra elde edilen keklerin çapında meydana gelen azalma olarak ifade edilmektedir. Hacim indeksi keklerin dikey, büzülme değeri ise yatay olarak gelişimini tanımlayan yapısal ölçütler olup bu iki ölçütün birlikte değerlendirilmesiyle keklerin hacmi konusunda daha sağlıklı fikirler edinilebilmektedir (Dizlek ve ark, 2008).

Benzer bir şekilde, Arozarena ve ark (2001) yaptıkları çalışmada büzülme değerini hem merkezi yükseklik hem de çevresel uzunluk ile ilişkilendirerek tanımlamıştır. Bu değerlerin birbirlerine oranlanması keklerin büzülmesini değerlendirmek için iyi bir değişken olabileceği ifade edilmiştir. Bu eşitliğin 1'e eşit ya da daha yüksek olması herhangi bir çökmenin meydana gelmediğinin, 1'in altındaki olması ise, kek yapısının belli bir dereceye kadar çöktüğü anlamına geldiğinin göstergesi olarak kabul edilmiştir.

Kek örneklerine ait büzülme değerleri Çizelge 4.22'de verilmiştir. Buna göre, örneklere ait büzülme değerleri 2,44-7,78 mm aralığında değişmekte olup ortalama büzülme değeri 5,19 mm olarak saptanmıştır. En düşük büzülme değeri %1 oranında guar gam ve CMC kombinasyonundan oluşan HD11 kodlu örneğe

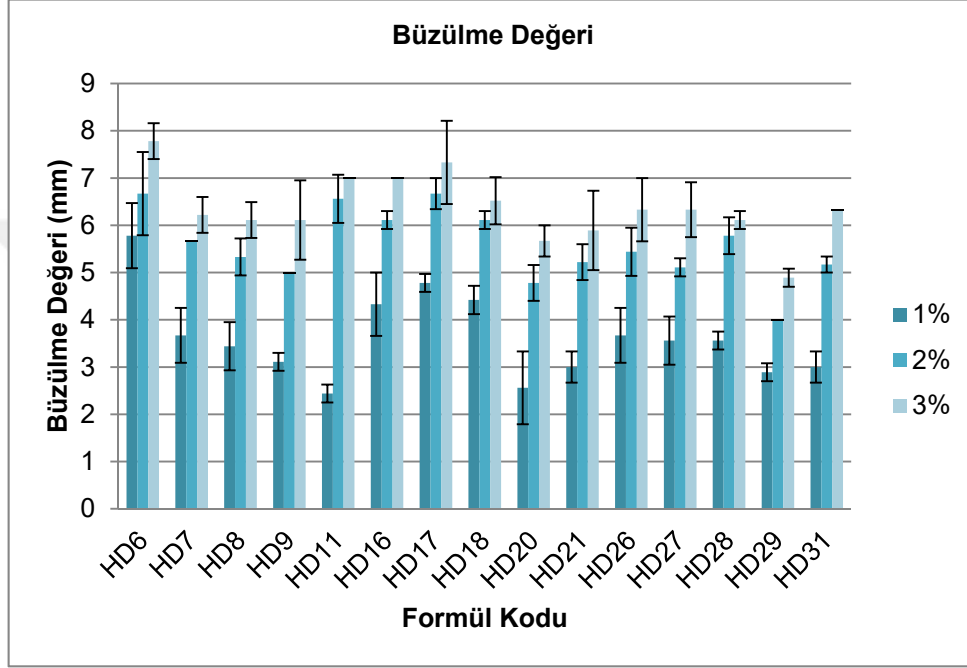
aitken; en yüksek büzülme değeri %3 oranında ksantan gam ve guar gam içeren HD6 kodlu kek örneklerinde tespit edilmiştir. Toplam hidrokolloid konsantrasyonunun %1 ve %2 olduğu kek örneklerinde de benzer şekilde en yüksek büzülme değerinin HD6 kodlu örneğe ait olduğu saptanmıştır. Ksantan gam, HPMC, CMC ve CMC kombinasyonundan oluşan HD29 kodlu örneğin ise hem %2 hem de %3 toplam hidrokolloid konsantrasyonuna sahip kek örnekleri içinde en düşük büzülme değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.22. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Büzülme Değerleri (mm)

Formül Kodu	Hidrokolloid Konsantrasyonu		
	%1	%2	%3
HD6	5,78 ^{efghij}	6,67 ^{bcd}	7,78 ^a
HD7	3,67 ^{prst}	5,67 ^{fghijk}	6,22 ^{cdefg}
HD8	3,44 st	5,33 ^{hijkl}	6,11 ^{defgh}
HD9	3,11 ^{tu}	5,00 ^{klmn}	6,11 ^{efgh}
HD11	2,44 ^u	6,56 ^{bcde}	7,00 ^{abc}
HD16	4,33 ^{nopr}	6,11 ^{defgh}	7,00 ^{abc}
HD17	4,78 ^{lmno}	6,67 ^{bcd}	7,33 ^{ab}
HD18	4,42 ^{mnp}	6,11 ^{defgh}	6,52 ^{bcdef}
HD20	2,56 ^u	4,78 ^{lmno}	5,67 ^{fghijk}
HD21	3,00 ^{tu}	5,22 ^{ijklm}	5,89 ^{defgh}
HD26	3,67 ^{prst}	5,44 ^{ghijkl}	6,33 ^{cdef}
HD27	3,56 ^{rst}	5,11 ^{ijklmn}	6,33 ^{cdef}
HD28	3,56 ^{rst}	5,78 ^{efghij}	6,11 ^{defgh}
HD29	2,89 ^{tu}	4,00 ^{oprs}	4,89 ^{klmn}
HD31	3,00 ^{tu}	5,17 ^{ijklmn}	6,33 ^{cdef}

Bunun yanı sıra hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak kek örneklerine ait büzülme değerlerinde düzenli bir artış tespit edilmiştir (Şekil 4.11). Bu durumun, hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak hamurların özgül ağırlık değerlerindeki artış ve pişme sırasında keklerin daha sıkı bir karakter kazanmaları ile ilişkilendirilebilir. Ancak buna karşıt olarak, Lin ve ark (2017a)

yaptıkları çalışmada, viskozitesi yüksek olan hamurlarda hava kabarcıklarının yapıdan uzaklaşmasının daha zor olduğu ve büzülme değerinin azalacağını belirtmiştir.



Şekil 4.11. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Büzülme Değerlerinin Kıyaslanması

Çizelge 4.23’de verildiği üzere yumurta akı kullanılarak üretilen kek örneklerine ait büzülme değerinin, istatistiksel olarak en fazla olduğu ve bunu HD17 kodlu örneğin takip ettiği; herhangi bir hidrokolloid ve/veya emülgatör kullanılmayan HDES kodlu örneklere ait büzülme değerinin ise en düşük olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$).

Çizelge 4.23. Farklı Kek Örneklerine Ait Büzülme Değerleri (mm)

Formül Kodu	Büzülme Değeri (mm)
HDS	5,20 ^d
YAK	6,87 ^a
İTK	5,70 ^{cd}
YTK	5,97 ^{bc}
HDES	3,13 ^e
%2 HD17	6,67 ^{ab}

Acı bakla proteinin yumurta ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada, ksantan gam kullanımının keklerin yükseklik ve hacim değerlerinde artış, büzülme değerinde ise azalma etkisi yarattığı bildirilmiştir (Arozarena ve ark, 2001).

4.3.8. Renk

Renk, gıda endüstrisinde hammadde ile işlenmiş nihai ürünlerin özellikleri, kalitesi hakkında fikir veren ve tüketici tercihlerinde önemli bir rolü olan kalite parametrelerinden biridir (Velioğlu, 1987). Gıdalarda renk tayininin subjektif değil objektif olarak gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir (Üren, 1999). Bu nedenle elektronik renk ölçüm cihazları kullanılarak farklı renk tanımlama modelleri üzerinden gıdalarda tekrarlanabilir ve güvenilir renk tayininin gerçekleştirilebilmektedir (Keskin ve ark, 2017).

Keklerin kabuk yapısında meydana gelen renk oluşumunda, genellikle indirgen şeker ve aminoasitler arasında gerçekleşen Maillard reaksiyonu, yüksek sıcaklıklarda meydana gelen karamelizasyon (Hedayati ve Tehrani, 2018), kimyasal veya enzimatik reaksiyonlar, kek üretiminde kullanılan hammaddelerin kendine özgü doğal renkleri (Matos ve ark, 2014) ve pişirme süresi ile pişirme sıcaklığının etkili olduğu bilinmektedir (Rahmati ve Tehrani, 2014).

Çalışmamızda renk analizi, Uluslararası Aydınlatma Kurumu (CIE) tarafından belirlenen renk tanımlama modellerinden biri olan CIE L*Ch* renk

sistemi baz alınarak gerçekleştirilmiştir. CIE $L^*C^*h^*$ renk sistem CIE $L^*a^*b^*$ farklı olarak silindirik bir koordinat sistemine sahip olup L değeri açıklık ve koyuluğun bir göstergesi iken ($L^*=0$ siyah ve $L^*=100$ beyaz); Chroma (C) değeri ise a^* ve b^* değerleri ile ilişkili olup renkteki yoğunluğu (doygunluk) ifade etmekte ve 0-60 değerleri arasında değişmektedir (Keskin ve ark, 2017).

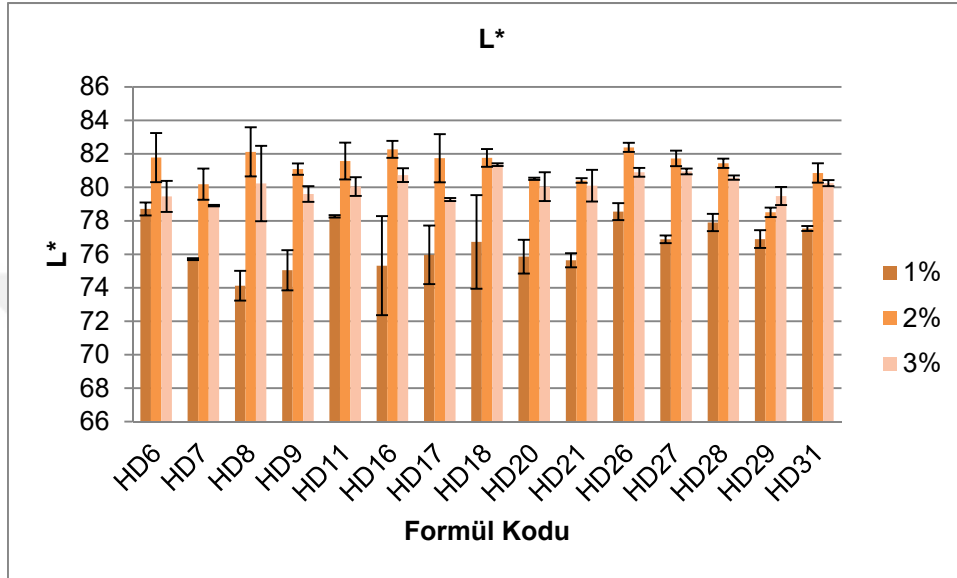
Yumurtasız kek örneklerinin kabuk yapısında gerçekleştirilen renk analizi sonuçları Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait L^* Değerleri

Formül Kodu	Hidrokolloid Konsantrasyonu		
	%1	%2	%3
HD6	78,71 ^{ijklmn}	81,78 ^{abcd}	79,46 ^{ghijkl}
HD7	75,71 ^{rst}	80,19 ^{cdefghij}	78,91 ^{hijklm}
HD8	74,12 ^t	82,12 ^{abc}	80,23 ^{cdefghij}
HD9	75,05 st	81,09 ^{abcdefg}	79,60 ^{efghijkl}
HD11	78,27 ^{klmno}	81,57 ^{abcd}	80,05 ^{defghijk}
HD16	75,32 ^{rst}	82,27 ^{ab}	80,73 ^{abcdefgh}
HD17	75,97 ^{prs}	81,74 ^{abcd}	79,27 ^{ghijklm}
HD18	76,74 ^{oprs}	81,76 ^{abcd}	81,36 ^{abcdef}
HD20	75,86 ^{prst}	80,51 ^{abcdefghi}	80,04 ^{defghijk}
HD21	75,64 ^{rst}	80,41 ^{bcdefghij}	80,10 ^{defghijk}
HD26	78,55 ^{ijklmno}	82,39 ^a	80,90 ^{abcdefg}
HD27	76,90 ^{nopr}	81,73 ^{abcd}	80,95 ^{abcdefg}
HD28	77,90 ^{lmno}	81,44 ^{abcde}	80,58 ^{abcdefghi}
HD29	76,91 ^{nopr}	78,51 ^{ijklmno}	79,48 ^{ghijkl}
HD31	77,54 ^{mnop}	80,86 ^{abcdefg}	80,25 ^{cdefghij}

Yumurtasız kek örneklerinin kabuk yapılarında tayin edilen L^* değerlerinin 74,12-82,39 aralığında değiştiği ve sırasıyla %1 toplam hidrokolloid oranına sahip, ksantan gam ve CMC kombinasyonundan oluşan HD8 kodlu ve

toplam hidrokolloid oranı %2 olan HD26 kodlu örneğe (ksantan gam, guar gam, HPMC, CMC) ait olduğu tespit edilmiştir. (Çizelge 4.24).



Şekil 4.12. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait L* Değerlerinin Kıyaslanması

Soya sütü ile birlikte farklı emülgatörler kullanılarak üretilen yumurtasız keklerde, emülgatörlerin tek başlarına veya kombine bir biçimde kullanımının L* değerini önemli düzeyde etkilemediği ve pişirme sıcaklığı ile pişirme süresinin kabuk renginin oluşumunda önemli faktörler olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yumurta içeren kontrol kekinin daha düşük L* içeriğine sahip olduğu bildirilmiş ve bu durum soya sütünün daha az protein içeriğine sahip olması ile açıklanmıştır (Rahmati ve ark, 2014). Rahmati ve ark (2015) yaptıkları diğer bir çalışmada, soya sütü kullanılarak yumurta kısmen veya tamamen ikame edilmiş ve yumurta ikame oranı artışına bağlı olarak kabuk L* değerinin arttığı bildirilmiştir.

Yumurta ikamesi olarak soya sütü ve farklı oranlarda lesitin birlikte kullanıldığı bir çalışmada, kontrol kekine ait L* değeri 45,67 olup lesitin varlığında kek örneklerine ait L* değerinin azaldığı kaydedilmiştir. Bu durumun, keklerin

kabuk renginin bileşiminde yer alan hammaddelerden kaynaklandığı ve düşük L^* değerinin soya lesitinin doğal rengi ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Hedayati ve Tehrani, 2018).

Ratnayake ve ark (2011) yaptıkları çalışmada soya unu, peynir altı suyu proteini konsantresi ve hidrokolloid bazlı 3 farklı ticari yumurta ikamesi kullanarak elde edilen keklerin birbirleri arasında ve yumurta tozu ile sıvı yumurta kullanılarak üretilen kontrol kekleri arasında L^* değerlerine ilişkin istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

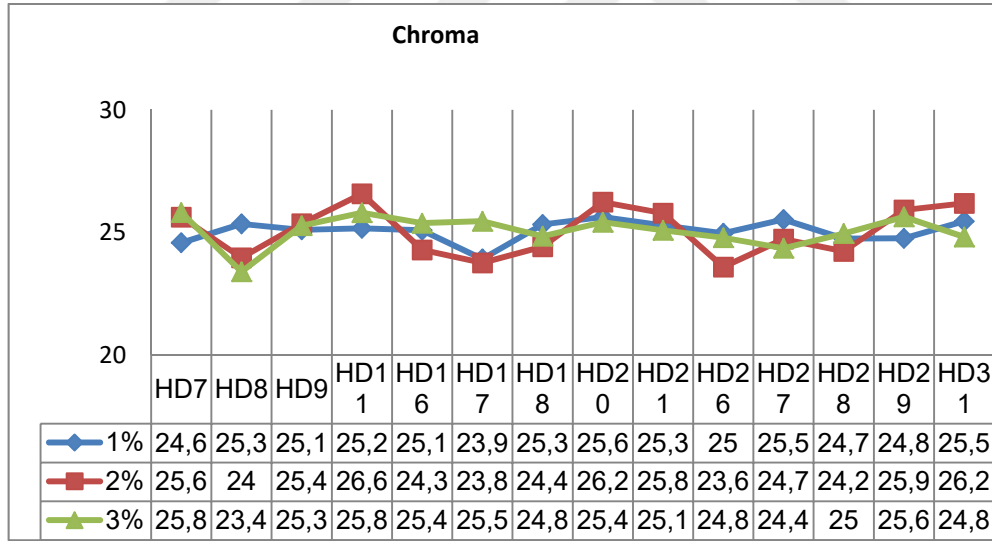
Araştırmanın ikinci aşamasında en yüksek L^* değeri ithal ticari un karışımı ile üretilen keklerde tespit edilmiş olup bunu yerli ticari un karışımı kullanılarak üretilen kekler takip etmiştir (Çizelge 4.23). Bu durum her iki un karışımının da nişasta bazlı olması ile ilişkilendirilmiş olup hem düşük protein içeriğine sahip olması nedeniyle maillard reaksiyonunun sınırlandırması hem de hammaddenin doğal rengi ile açıklanabilir. En düşük L^* değeri ise YAK kodlu kek örneklerinde saptanmış olup yumurta akı tozunun protein içeriği ile pişirme esnasında maillard reaksiyonunu desteklediği şeklinde yorumlanabilir.

Benzer bir şekilde peynir altı suyu protein izolatu ve buğday nişastasının tek başlarına ve/veya ksantan gam, guar gam ile kombine kullanarak yumurtanın ikame edildiği gerçekleştirildiği bir çalışmada yumurta tozu kullanılan kontrol grubuna ait keklerin L^* değerinin, diğer tüm yumurtasız keklerle kıyaslandığında daha düşük olduğu belirtilmiştir (Kohrs ve ark, 2010). Buna karşıt olarak, farklı protein kaynaklarının yumurta ikamesi olarak kullanıldığı diğer bir çalışmada herhangi bir protein kaynağı içermeyen kontrol kekine ait L^* değeri 78,13 olup, yumurta akı proteini içeren keklere ait L^* değerinin ise 86,40 olmak üzere diğer tüm pirinç unu bazlı kekler ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu saptanmıştır (Matos ve ark, 2014).

Çizelge 4.25. Farklı Kek Örneklerine Ait L* Değerleri

Formül Kodu	L*
HDS	69,24 ^e
YAK	67,14 ^f
İTK	89,33 ^a
YTK	86,86 ^b
HDES	73,44 ^d
%2 HD17	81,74 ^c

Kek örneklerine ait chroma değerleri ve aralarındaki ilişki Şekil 4.13'te verilmiştir. Buna göre chroma değerleri 23,91-29,91 aralığında değişmekte olup çoklu karşılaştırma testine tabi tutulan kek örneklerine ait chroma değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$).



Şekil 4.13. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Chroma Değerleri

Vital gluten, soya proteini izolatu, bezelye proteini izolatu, yumurta akı proteini ve kazein olmak üzere 5 farklı yumurta ikame maddesi kullanılarak

üretilen glutensiz keklerin chroma değerleri sırasıyla 20,4; 21,5; 26,6; 15,7 ve 17,2 olarak belirlenmiştir. Buna göre yumurta akı proteini hariç tüm yumurta ikamelerinin kontrol keki ile karşılaştırıldığında daha yüksek chroma değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (Matos ve ark, 2014).

Araştırmanın ikinci aşamasında üretilen kekler arasında, en düşük chroma değeri ithal ticari un karışımı ile üretilenlerde tespit edilmiş olup bunu yerli ticari un karışımı kullanılarak üretilen kekler takip etmiştir. En yüksek chroma değeri ise YAK kullanılan kek örneklerinde saptanmıştır (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26. Farklı Kek Örneklerine Ait Chroma Değerleri

Formül Kodu	Chroma
HDS	29,67 ^b
YAK	32,58 ^a
İTK	16,16 ^f
YTK	20,89 ^e
HDES	26,22 ^c
%2 HD17	23,75 ^d

4.3.9. Tekstür

Tekstür, gıdaların, mekanik, yapısal ve dokusal niteliklerinin; görsel, işitsel, dokunma duyusu ve kinestetik olarak belirlendiği bir kalite kriteridir. Gıdaların işlenme özellikleri, raf ömrü ve tüketici kabulü üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Ertaş ve Doğruer, 2010). Gıdaların tekstürel özellikleri, duyuşal (öznel) ve enstrümantal (objektif) olarak değerlendirilmektedir. Enstrümantal metotlardan biri olan tekstür profili analizi (TPA), gıdaların yapısal özelliklerini belirleyen hızlı ve basit bir analitik bir yöntemdir. Gıdaların ısırılmasının simüle edildiği ikili sıkıştırma testi olan bu yöntemde ürünün karakteristik yapısına göre sertlik, kırılabilirlik, yapışkanlık, elastikiyet ve çiğnenebilirlik gibi tekstürel özellikleri belirlenebilmektedir (Anonim, 2018c).

4.3.9.1. Sertlik

Birincil mekanik özelliklerden biri olan sertlik, gıdaya uygulanan herhangi bir kuvvete karşı koyma gücü olarak tanımlanmaktadır. Buna göre katı gıdaların öğütücü diş; yarı katı gıdaların ise dil ve damak arasındaki basınca karşı koyabilme gücü olarak ifade edilmektedir (Ertaş ve Doğruer, 2010).

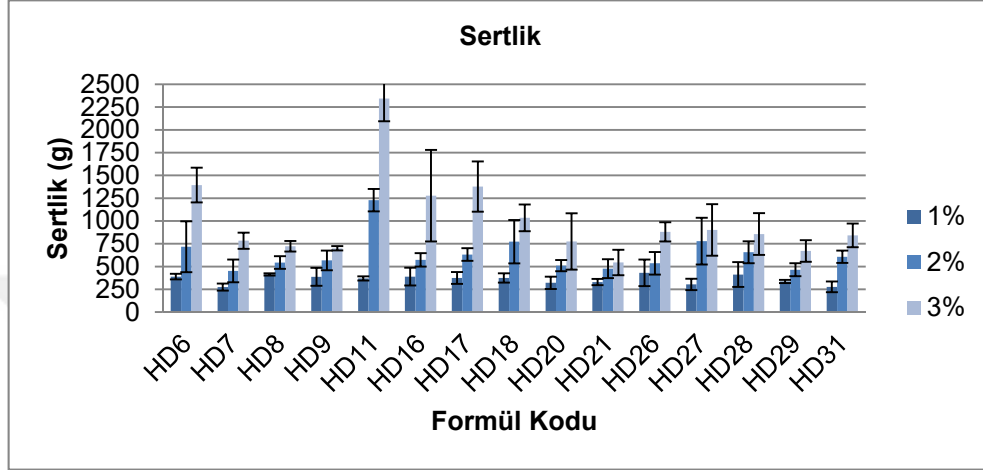
Tekstür analizi sonuçlarına göre kek örneklerine ait sertlik değerleri Çizelge 4.27’de verilmiştir. Buna göre, örneklerle ait sertlik değerleri 274,23-2343,93 g aralığında değişmekte olup ortalama sertlik değeri 666,48 g olarak saptanmıştır. En düşük sertlik değerine sahip diğer bir ifadeyle en yumuşak tekstürel yapıya sahip kekler, %1 oranında ksantan gam ve HPMC kombinasyonundan oluşan HD7 kodlu örnek iken; en yüksek sertlik değeri ise %3 oranında guar gam ve CMC kombinasyonundan oluşan HD11 kodlu kek örneklerinde tespit edilmiştir. Ayrıca %2 konsantrasyonda HD7 kodlu örnek en düşük; %2 ve %3 oranında da HD11 kodlu en yüksek sertlik değerlerine sahip olduğundan analiz sonuçları, konsantrasyon artışından bağımsız hidrokolloid özelliği olarak da tutarlılık göstermektedir. Bunun yanı sıra, hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak kek örneklerine ait sertlik değerlerinde düzenli bir artış tespit edilmiştir (Şekil 4.14).

Çizelge 4.27. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Sertlik Değerleri (g)

Hidrokolloid Konsantrasyonu			
Formül Kodu	%1	%2	%3
HD6	389,30 ^{lmnopr}	716,74 ^{efghijk}	1394,11 ^b
HD7	274,23 ^r	452,01 ^{klmnopr}	783,17 ^{defghi}
HD8	412,95 ^{klmnopr}	543,60 ^{ghijklmnopr}	722,29 ^{efghijk}
HD9	386,57 ^{lmnopr}	566,80 ^{efghijklmnopr}	699,78 ^{efghijkl}
HD11	369,72 ^{mnopr}	1227,78 ^{bc}	2343,93 ^a
HD16	389,00 ^{lmnopr}	572,55 ^{efghijklmnopr}	1276,86 ^{bc}
HD17	374,86 ^{mnopr}	631,40 ^{efghijklmno}	1377,54 ^b
HD18	374,11 ^{mnopr}	772,46 ^{defghij}	1034,21 ^{cd}
HD20	320,91 ^{opr}	509,59 ^{ijklmnopr}	775,05 ^{defghij}
HD21	328,90 ^{opr}	476,86 ^{ijklmnopr}	544,24 ^{ghijklmnopr}
HD26	430,41 ^{klmnopr}	535,43 ^{hijklmnopr}	880,44 ^{def}
HD27	303,42 ^{pr}	778,29 ^{defghij}	901,65 ^{de}
HD28	412,11 ^{klmnopr}	656,44 ^{efghijklmn}	856,20 ^{defg}
HD29	335,95 ^{mnopr}	464,57 ^{ijklmnopr}	670,68 ^{efghijklm}
HD31	276,67 ^r	607,04 ^{efghijklmnop}	841,07 ^{defgh}

Genellikle hacim değerleri yüksek olan keklerin sertlik değerlerinin daha düşük olduğu belirtilmiştir (Rahmati ve ark, 2014, Arozarena ve ark, 2001). Buna göre, Paraskevopoulou ve ark, (2015) yaptıkları bir çalışmada da, yumurta ikamesi oranı artışına bağlı olarak hacim değerlerinde azalma görülürken sertlik değerlerinde artış tespit edilmiştir. Bu durum, hamur yapısına dahil edilen hava kabarcıklarının azalması ve ısı etkisi ile protein koagülasyonunun gerçekleşmesiyle ilişkilendirilmiştir. Benzer bir şekilde, sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.14 incelendiğinde spesifik hacim ile sertlik değerleri arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Movahhed ve ark (2016) yaptıkları çalışmada, hacim ve sertlik parametreleri arasındaki negatif bir korelasyon olduğunu doğrulamış ve regresyon denkleminin başarısının bir ölçütü olan R^2 değerini 0,86 olarak belirlemiştir. Ancak Rahmati ve Tehrani (2014) yaptıkları çalışmada ise, hacim ve sertlik arasındaki negatif yöndeki korelasyona ilişkin R^2 değerinin 0,51 olmak üzere oldukça düşük

olduğunu belirtmiştir. Buna göre, yumurtasız keklerin sertlik değerlerinde meydana gelen azalma hem hacim artışına hem de emülgatör varlığına atfedilmiştir.



Şekil 4.14. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Sertlik Değerlerinin Kıyaslanması

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, yumurta ikamesi kullanılan kek örneklerine ilişkin sertlik değerleri; 940-1200 g (Jyotsna ve ark, 2007); 520-1180 g (Sahraian ve ark, 2015); 237,7-1118,1 g (Lin ve ark, 2017a); 252,3-1028,2 g (Lin ve ark, 2017b); 200,7-846,6 g (Arozarena ve ark, 2001); 230.43-720.9 g (Kohrs ve ark, 2010) olarak belirlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda peynir altı suyu proteini izolatının (PSİ) yumurta ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada, yumurta kullanılarak üretilen kontrol grubu keklerin diğer tüm keklere oranla daha düşük sertlik değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca PSİ konsantrasyonu azaldıkça, sertlik değerlerinin de istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı saptanmıştır ($p < 0.05$). Bu durum, PSİ konsantrasyonundaki dolayısıyla protein molekülleri miktarında meydana gelen artışın kek kabuk yapısını kuvvetlendirdiği şeklinde açıklanmıştır. Farklı konsantrasyonlarda PSİ kullanılarak üretilen keklere ait sertlik değerleri 3250-10.2000 g aralığında değişmekte olup çalışmamızda elde edilen değerlerle

karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Paraskevopoulou ve ark, 2015).

Bezelye protein izolatının (BPİ) yumurta ikamesi olarak kullanıldığı keklerin sertlik değeri 1118,1 g olup soya lesitini ve monodigliserit (MDG) olmak üzere emülgatör varlığında sertlik değerlerinin azaldığı belirlenmiştir (Lin ve ark, 2017a).

Lin ve ark (2017b) yapmış oldukları diğer bir çalışmada, kek üretiminde soya proteini izolatu (SPİ) kullanılarak yumurta ikame edilmiş ve sertlik değerinin 1028,2 g olduğu saptanmıştır. Bu değer BPİ ile üretilen keklerle ait sertlik değerinden daha düşük olmakla beraber SPİ kullanımının sertlik değerini arttırdığı belirtilmiştir. Ancak SPİ'nin MDG ve soya lesitini olmak üzere 2 farklı emülgatör ile kombine halinde kullanımı sonucu elde edilen sertlik değerlerinin sırasıyla 319,8 g ve 338,9 g olduğu; emülgatör varlığında ise bu sertlik değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Soya unu ile keten tohumunun birlikte kullanılarak yumurtasız kek üretiminin gerçekleştirildiği çalışmada, yumurta içeren, yumurtasız ve GMS ile SSL olmak üzere 2 farklı emülgatör içeren keklerle ait sertlik değerleri sırasıyla 26,01 N; 42,51 N; 30,22 N; 34,43 N olarak saptanmıştır. Buna göre, yumurtasız kontrol kekleri ile karşılaştırıldığında emülgatör kullanılan keklerin sertlik değerlerinin daha düşük olduğu bildirilmiştir (Kumar ve ark, 2017).

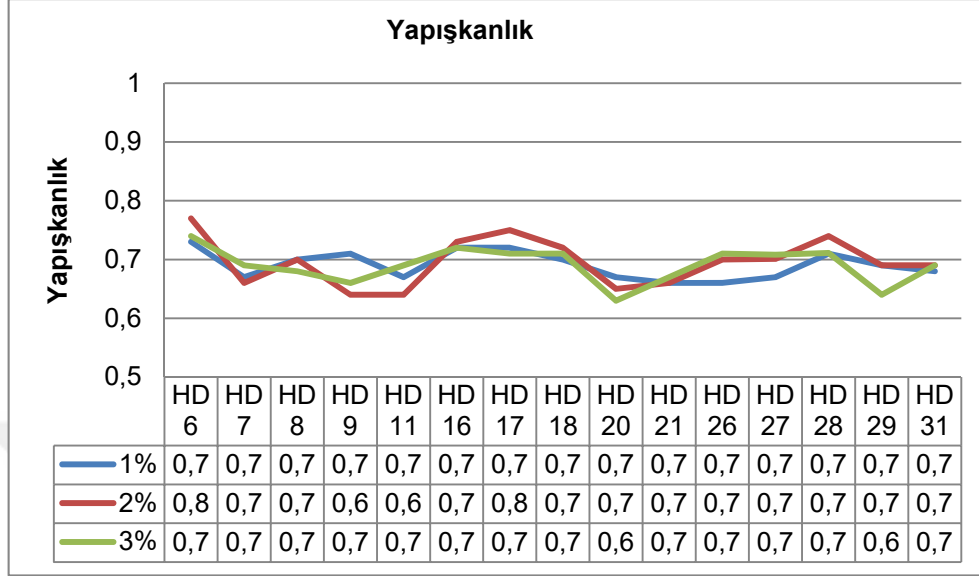
Yumurtasız kek üretiminde emülgatörlerin etkisinin incelendiği benzer bir çalışmada, poligliserol ester, monogliserit ve lesitin olmak üzere emülgatör kullanılarak üretilen keklerin sertlik değerlerinin kontrol örneklerine kıyasla daha düşük olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, lesitin bu etkiyi daha düşük konsantrasyonlarda ve daha fazla sağladığına dikkat çekilmiştir (Movahhed ve ark, 2016). Ancak, farklı emülgatörlerin tek başlarına veya kombine halinde kullanımının yumurtasız kekler üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada; lesitin ve gliserol monostearatın (GMS) tek başlarına veya kombine halinde kullanılması sonucu elde edilen keklerin sertlik değeri kontrol örneğinden daha

düşükken; sorbitan mono stearatın (SMS) tek başına veya diğer emülgatörlerle birlikte kullanımının daha yüksek olduğu saptanmıştır (Rahmati ve ark, 2014). Buna göre genel olarak emülgatör kullanımının nihai ürünün sertlik değerlerini azaltıcı yönde etki ettiği kanıtlanmıştır.

4.3.9.2. Yapışkanlık

Yapışkanlık, gıdaların ilişkide olduğu diş, damak ve dil olmak üzere ağız içi yüzeyler arasında oluşan çekim kuvvetine karşı koyabilmek için gerekli güç olarak ifade edilen diğer bir birincil mekanik tekstürel özelliktir. (Ertaş ve Doğruer, 2010). Yapışkanlık değeri, TPA analizinde uygulanan ikinci baskı sonucu elde edilen grafiğin altında kalan alanın, ilk baskı sonucu elde edilen grafiğin altında kalan alana oranlanması ile elde edilmektedir (Geera ve ark, 2011). Gıdaların işlenmesi, paketlenmesi, taşınması, depolanması gibi tüm üretim prosesi boyunca zarar görmesinin azaltılmasında yapışkanlık değerinin yüksek olmasının önemli olduğu belirtilmektedir (Geera ve ark, 2011). Dolayısıyla, yapışkanlık gıda yapısının iç direncinin bir göstergesi olup üç boyutlu protein ağının gelişimi ile ilişkilendirilmektedir (Paraskevopoulou ve ark, 2015). Bu durum özellikle hamurda gluten proteinlerin viskoelastik bir ağ yapı oluşturmaya atfedilmiş ve gluten miktar ile kalitesinin düşük olması durumunda daha düşük yapışkanlık değerlerine sahip ve daha az elastik ürünler elde edileceği belirtilmiştir. Ayrıca gluten proteinlerinin hidrate edilmesi ve yapısal ağın oluşması için gıdanın nem içeriğinin de önemli olduğu ifade edilmiştir (Jarpa-Parra ve ark, 2017). Bunun yanı sıra, kek hamurunda yapıya dahil eden hava miktarı ve difüzyon yollarındaki artış sonucu, elde edilen keklere ait yapışkanlık değerlerinde azalma görüldüğü ifade edilmektedir (Agrahar-Murugkar ve ark, 2016).

Araştırmamızda üretilen keklerin yapışkanlık değerleri 0,64-0,77 aralığında değişmekte olup (Şekil 4.15) istatistiksel olarak birbirleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$). Bu durum yumurtasız keklerin üretiminde kek formülasyonunun hidrokolloid içeriği hariç aynı olması ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4.15. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Yapışkanlık Değerleri

Benzer bir şekilde, soya sütü kullanılarak yumurtanın farklı oranlarda (%25, %50, %75, %100) ikame edilerek kek üretiminin gerçekleştirildiği bir çalışmada, yumurta kullanılarak elde edilen kontrol keki en yüksek yapışkanlık değerine sahip olup, farklı ikame oranlarında üretilen keklerin yapışkanlık değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Rahmati ve Tehrani, 2015).

Rahmati ve Tehrani (2014) yaptıkları diğer bir çalışmada 3 farklı emülgatörün (lesitin, GMS, SMS) yumurtasız kekler üzerindeki etkisi incelenmiş ve yumurtasız keklere ait yapışkanlık değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Soya sütü ile farklı oranlarda soya lesitini kullanılarak yumurtanın ikame edildiği bir çalışmada da bu keklere ait yapışkanlık değeri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir (Hedayati ve Tehrani, 2018).

Paraskevopoulou ve ark (2015) yaptıkları çalışmada, yumurta ikame maddesi olarak 3 farklı konsantrasyonda (%14, %17, %20 w/v) PSİ kullanılmıştır. %20 oranında PSİ kullanılan kek örneklerine ilişkin esneklik ve yapışkanlık

değerlerinin kontrol grubu ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Düşük konsantrasyonlarda PSİ ilavesinin esneklik ve yapışkanlık değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ölçüde fark oluşturmadığı bildirilmiştir ($p>0,05$).

Yumurta ikamesi olarak PSİ kullanıldığı benzer bir çalışmada ve yapışkanlık değerleri 0,65-0,75 aralığında değişmektedir. En düşük yapışkanlık değerleri, yumurtanın %100 oranında ikame edildiği keklerde tespit edilirken tüm ikame oranlarına ait yapışkanlık değerlerinin kontrol kekine kıyasla daha düşük olduğu bildirilmiştir. Elde edilen keklerin tekstürel özellikleri gözenek yapısı ile bağdaştırılmıştır. Buna göre, birim alandaki gözenek yoğunluğu azalışına bağlı olarak sertlik ve yapışkanlık değerlerinde de azalma tespit edilmiştir (Diaz-Ramirez ve ark, (2016).

4.3.9.3. Elastikiyet

Elastikiyet, gıdalar üzerinde herhangi bir etki sonrasında oluşan deformasyonun ilgili etki kaldırıldığında kaybolması ile ilişkilendirilen birincil mekanik tekstürel özelliklerden biridir (Ertaş ve Doğruer, 2010). Elastikiyet değeri TPA analizinde birinci ve ikinci baskı sonucu elde edilen pikler arasındaki süre ile ilişkili bir kavramdır. Bu sürenin kısa olması daha elastik nitelikte bir ürün ile karakterize edilmektedir (Geera ve ark, 2011). Ayrıca elastikiyet protein moleküllerin agregasyonu ile ilişkilendirilmektedir (Hedayati ve Tehrani, 2018).

Analiz sonuçlarına göre düşük protein içerikli keklerin elastikiyet değerleri 0,798-0,978 aralığında değişmekte olup Çizelge 4.28’de verilmiştir. En yüksek elastikiyet değeri %1 konsantrasyonda ksantan gam, guar gam ve MC kombinasyonundan oluşan HD18 kodlu örneğe aitken; %2 konsantrasyonda HD9 kodlu (ksantan gam ve MC) örneğin ise en düşük elastikiyet değerine sahip olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla guar gam kullanımının nihai ürünün elastikiyetini azalttığı şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 4.28. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Elastikiyet Değerleri

Hidrokolloid Konsantrasyonu			
Formül Kodu	%1	%2	%3
HD6	0,923 ^{abcd}	0,896 ^{abcde fgh}	0,815 ^{efgh}
HD7	0,922 ^{abcd}	0,809 ^{gh}	0,845 ^{cdefgh}
HD8	0,925 ^{abcd}	0,829 ^{cdefgh}	0,872 ^{bcdefgh}
HD9	0,907 ^{abcde fgh}	0,798 ^h	0,813 ^{fgh}
HD11	0,953 ^{ab}	0,859 ^{bcde fgh}	0,886 ^{abcde fgh}
HD16	0,925 ^{abcd}	0,906 ^{abcde fgh}	0,876 ^{abcde fgh}
HD17	0,925 ^{abcd}	0,923 ^{abcd}	0,854 ^{bcde fgh}
HD18	0,978 ^a	0,885 ^{abcde fgh}	0,822 ^{cdefgh}
HD20	0,953 ^{ab}	0,874 ^{abcde fgh}	0,856 ^{bcde fgh}
HD21	0,849 ^{bcde fgh}	0,824 ^{cdefgh}	0,863 ^{bcde fgh}
HD26	0,870 ^{bcde fgh}	0,892 ^{abcde fgh}	0,872 ^{bcde fgh}
HD27	0,917 ^{abcde f}	0,884 ^{abcde fgh}	0,870 ^{bcde fgh}
HD28	0,922 ^{abcd}	0,944 ^{abc}	0,903 ^{abcde fgh}
HD29	0,911 ^{abcde fgh}	0,921 ^{abcde}	0,878 ^{abcde fgh}
HD31	0,848 ^{bcde fgh}	0,907 ^{abcde fgh}	0,853 ^{bcde fgh}

Matos ve ark (2014) yaptıkları çalışmada, 5 farklı yumurta ikamesi kullanılarak elde edilen keklere ait elastikiyet değerleri 0,573-0,818 aralığında değişmektedir. İstatistiksel anlamda en yüksek elastikiyet değeri yumurta akı proteini izolatu kullanılan, en düşük elastikiyet değeri ise soya proteini kullanılan keklere ait olup herhangi bir protein kaynağı kullanılmayan kontrol keklerinden yüksek olduğu saptanmıştır. Kontrol kekine ait elastikiyet değeri 0,564 olup çalışmamızda elde edilen değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, Matos ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada kontrol keki formülasyonunun ksantan gam içermesi sebebiyle gerçekleştiği şeklinde yorumlanmıştır.

Peynir altı suyu protein izolatu kullanılarak yumurtanın farklı oranlarda kısmen (%12,5; %25; %50) ve tamamen (%100) ikame edildiği bir çalışmada,

elastikiyet değerleri 0,88-0,99 aralığında değişmekte olup tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. İkame oranı artışına bağlı olarak elastikiyet değerlerinde azalma kaydedilmiştir. Ayrıca, sadece yumurtanın tamamen ikame edildiği örneklerle ait elastikiyet değerlerinin istatistiksel anlamda kontrol örneğinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Diaz-Ramirez ve ark, 2016).

Kek üretiminde peynir altı suyu protein izolatı (PSİ), buğday nişastası (BN), ksantan gam veya guar gamın tek başlarına ve/veya birlikte kullanılarak kısmen veya tamamen yumurtanın ikame edildiği bir çalışmada, 1. ve 5. gün depolama sonucunda elastikiyet değerlerinde yaklaşık %1 oranında azalma kaydedilmiştir. Guar gam, PSİ ve BN kombinasyonundan oluşan yumurta ikamesi ile üretilen keklerin elastikiyet değerlerinin kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir. 5 günlük depolama sonucunda guar gam-PSİ ve ksantan gam-PSİ ikili kombinasyonları kullanılarak yumurtanın %50 oranında ikame edildiği örneklerle ait elastikiyet değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı ölçüde daha yüksek olduğu saptanmıştır (Kohrs ve ark, 2010).

Mercimek proteini kullanılarak yumurtanın kısmi olarak ikame edildiği keklerin elastikiyet değerleri arasında anlamlı farklılık olmadığı ve 3 günlük depolama sonunda önemli bir düzeyde değişmediği ($p>0,05$) bildirilmiştir.

4.3.9.4. Çiğnenebilirlik

Çiğnenebilirlik, yarı katı gıdaların parçalanması ve yutmaya hazır hale gelmesi için harcanan enerji ile ilişkili ikincil mekanik özelliklerden biridir (Diaz-Ramirez ve ark, 2016). Çizelge 4.29'da verildiği üzere, TPA analizi sonuçlarına göre çiğnenebilirlik değerleri 175,20-1394,64 aralığında değişmektedir. En düşük çiğnenebilirlik değeri %1 konsantrasyonda tüm hidrokolloidlerin birlikte kullanıldığı HD31 kodlu örneğe aittir. %2 ve %3 toplam hidrokolloid konsantrasyonunda ise çiğnenebilirlik değerlerinin, guar gam ve CMC

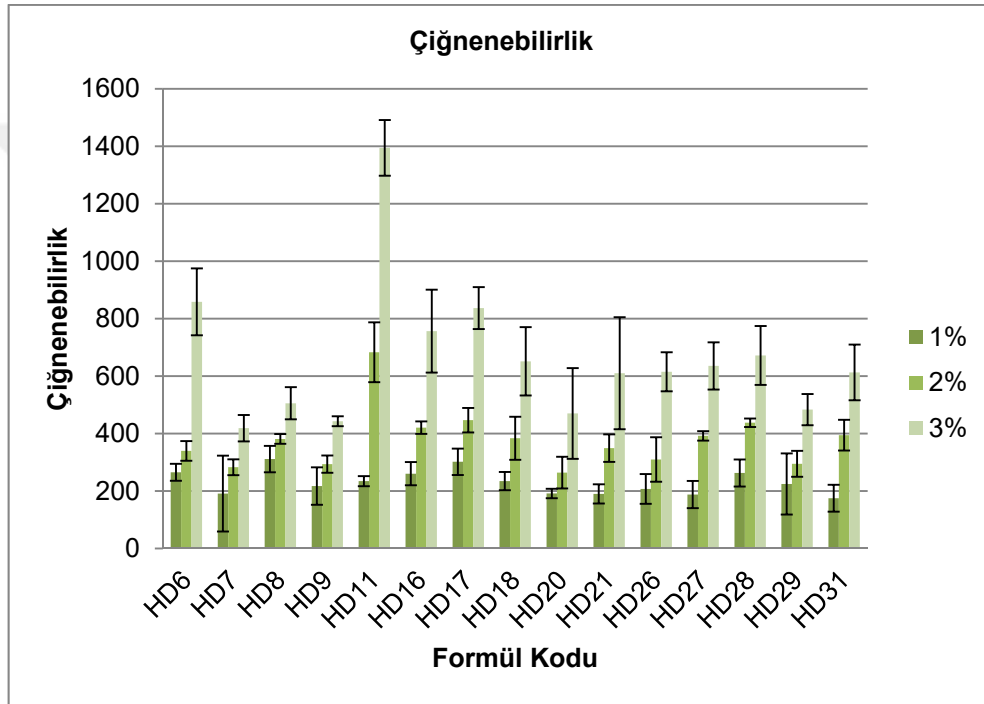
kombinasyonundan oluşan HD11 kodlu örneklerde en yüksek olduğu ve sırasıyla 682,99 ve 1394,64 olarak tayin edildiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.29. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına Ait Çiğnenebilirlik Değerleri

Hidrokolloid Konsantrasyonu			
Formül Kodu	%1	%2	%3
HD6	265,43 ^{lmno}	339,78 ^{ghijkl}	858,48 ^b
HD7	191,10 ^o	282,98 ^{klmno}	418,94 ^{ghijk}
HD8	311,50 ^{ijklmno}	381,36 ^{ghijklm}	505,55 ^{efg}
HD9	217,64 ^{no}	293,77 ^{ijklmno}	442,80 ^{ghi}
HD11	234,44 ^{mno}	682,99 ^{cd}	1394,64 ^a
HD16	260,58 ^{lmno}	420,75 ^{ghijk}	756,67 ^{bc}
HD17	301,99 ^{ijklmno}	446,83 ^{ghi}	836,84 ^b
HD18	234,52 ^{mno}	383,82 ^{ghijkl}	651,49 ^{cd}
HD20	191,58 ^o	264,01 ^{lmno}	470,05 ^{gh}
HD21	190,15 ^o	349,41 ^{hijklmn}	610,04 ^{def}
HD26	207,53 ^{no}	309,91 ^{ijklmno}	615,15 ^{def}
HD27	187,93 ^o	392,20 ^{ghijkl}	635,56 ^{cde}
HD28	262,95 ^{lmno}	437,73 ^{ghij}	671,89 ^{cd}
HD29	224,76 ^{no}	294,90 ^{ijklmno}	483,50 ^{fgh}
HD31	175,20 ^p	394,63 ^{ghijkl}	612,84 ^{def}

Şekil 4.16’da görüldüğü üzere hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak çiğnenebilirlik değerlerinde düzenli bir artış tespit edilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.14’de verildiği üzere sertlik değerleri toplam hidrokolloid oranı artışına bağlı olarak artış göstermiş olup; sertlik ve çiğnenebilirlik değerleri arasında pozitif bir ilişki olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde farklı çalışmalarda, tekstürel özelliklerden biri olan çiğnenebilirliğin yarı katı yiyecekleri çiğnemek için gerekli olan enerjinin bir göstergesi olduğu ve sertlik değeri ile arasında pozitif yönde bir bağlantı olduğu vurgulanmıştır (Hedayati ve Tehrani, 2018; Jarpa-Parra ve ark, 2017; Agrahar-Murugkar ve ark, 2016; Matos ve ark, 2014; Rahmati ve Tehrani, 2015). Rahmati ve Tehrani (2014) yaptıkları çalışmada nihai ürünün sertlik ve

çiğnenebilirlik parametreleri arasındaki pozitif korelasyon olduğunu, regresyon denkleminin başarısının ölçütü olan R^2 değerinin 0,98 olduğunu belirterek kanıtlamıştır. Bu durum, toplam hidrokolloid artışına bağlı olarak spesifik hacim değerlerinde meydana gelen azalmanın, kek yoğunluğunu arttırdığı ve buna bağlı olarak sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinde artış sağladığı şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.16. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Çiğnenebilirlik Değerlerinin Kıyaslanması

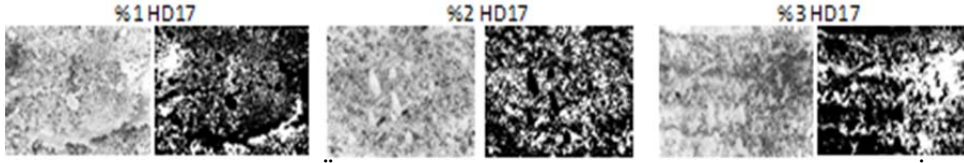
Yumurta ikamesi olarak farklı konsantrasyonlarda PSİ kullanılan bir çalışmada, çiğnenebilirlik değerleri 1185-4055 g aralığında değişmektedir. Yumurta kullanılarak üretilen kontrol grubu keklerin yumurta ikamesi kullanılan tüm keklere oranla daha düşük çiğnenebilirlik değerine sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca PSİ oranı artışına bağlı olarak çiğnenebilirlik değerinin azaldığı belirtilmiştir (Paraskevopoulou ve ark, 2015).

Benzer bir şekilde, farklı hayvansal ve bitkisel protein kaynaklarının yumurta ikamesi olarak kullanılarak kek üretiminin gerçekleştirildiği diğer bir çalışmada, çiğnenebilirlik değerleri 27-63 N aralığında değişmektedir. Herhangi bir protein kaynağı içermeyen kontrol kekine ait çiğnenebilirlik değeri 24 N olup bu değer, yumurta ikamesi kullanılan tüm keklerden daha düşük olduğu belirtilmiştir (Matos ve ark, 2014).

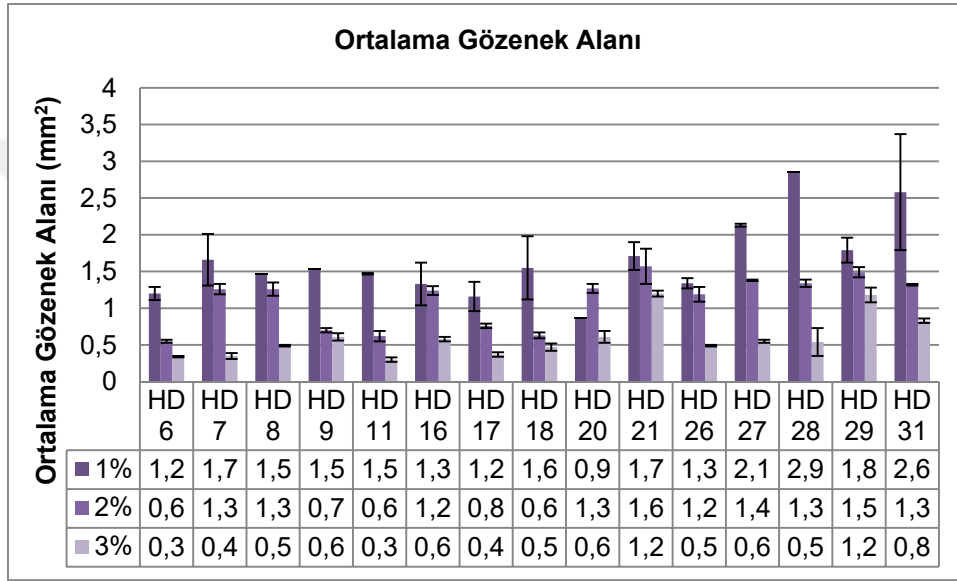
Soya sütü ile birlikte farklı oranlarda lesitin kullanılarak yumurtasız kek üretiminin gerçekleştirdiği çalışmada, kontrol kekine ait çiğnenebilirlik değeri 294 g olup soya sütü ilavesine bağlı olarak bu değer arttığı, emülgatör konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak ise azaldığı bildirilmiştir (Hedayati ve Tehrani, 2018).

4.3.10. Gözenek Boyut Dağılımı

Keklerin çırpılması esnasında yapıya dahil edilen hava kabarcıklarının miktar ve büyüklüğü, nihai ürün hacim ve tekstürel özelliklerini önemli düzeyde etkilemektedir (Kumar ve ark, 2017). Bu nedenle, nihai ürün olan keklerin gözenek yapısının; hamur çırpma süresi, çırpma hızı, yumurta miktarı, kabartma tozu gibi kimyasal kabartıcıların miktarı ve özellikleri, pişirme sırasında buharlaşan su miktarı, katkı maddelerinin tür ve miktarı gibi birçok faktöre bağlı olarak şekillendiği bilinmektedir (Rahmati ve Tehrani, 2014). Bu ilkedan yola çıkarak, Image J paket programı kullanılıp gözenek yapısı ile kek içi yapısı arasında kontrast farkı yaratıldıktan sonra kek örneklerinde ortalama gözenek alanı, gözenek yoğunluğu ve porozite değerleri belirlenmiştir (Rios ve ark, 2018). Araştırmanın ikinci aşamasında en beğenilen kek örneği olan HD17 kodlu örneğe ilişkin eşik değer belirleme algoritmasına (threshold) ait görsel Şekil 4.17’de verilmiştir. Farklı konsantrasyon ve kombinasyonlardan oluşan tüm kek örneklerine ilişkin eşik değer belirleme algoritmalarına ait tüm görseller ise Ek-7’de verilmiştir.

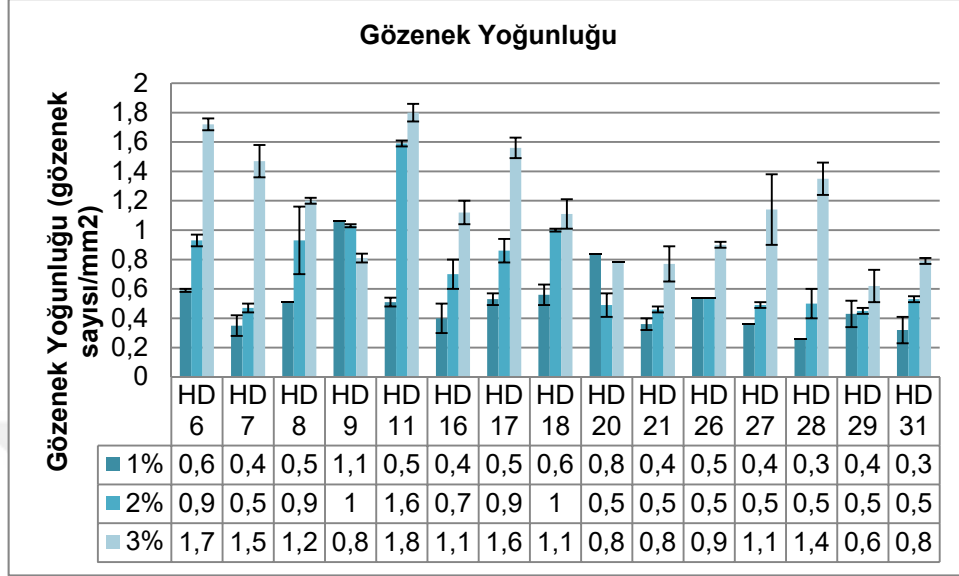


Şekil 4.17. HD17 Kodlu Örneğe Ait Eşik Değer Belirleme Algoritmasına İlişkin Görsel



Şekil 4.18. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Ortalama Gözenek Alanlarının Kıyaslanması

Analiz sonuçlarına göre hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağlı olarak ortalama gözenek alanı ve porozite değerlerinde azalma (Şekil 4.18 ve Şekil 4.20); gözenek yoğunluğu değerlerinde ise genel olarak artış tespit edilmiştir (Şekil 4.19). Buna göre, birim alandaki gözenek sayısı olarak ifade edilen gözenek yoğunluğu ile gözenek alanı arasında negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Toplam gözenek alanının, toplam alana oranlanması ile elde edilen porozite değerlerinin ise gözenek alanındaki azalmaya bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir.

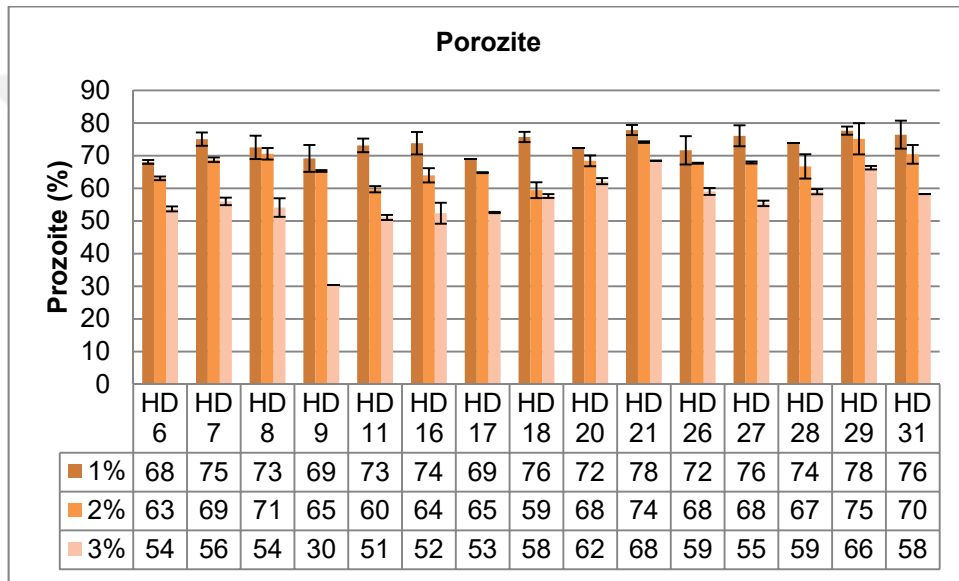


Şekil 4.19. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Gözenek Yoğunluğunun Kıyaslanması

Özellikle yumurta kullanılarak üretilen keklerde, yumurta akı proteinlerinin karakteristik köpük oluşturma yeteneği ve yumurta sarısı proteinlerinin emülsifikasyon özelliği ile pişirme esnasında meydana gelen buharlaşma sayesinde keklerin hacim, spesifik hacim ve hacim indeksi değerlerinde artış görülmektedir. Ancak birçok yumurta ikame maddesi yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğundan hamur viskozitesinde artışa neden olarak buharlaşma için gerekli olan serbest suyu bağlamakta ve gözenek yapısını oluşturacak gaz hücreleri sayısında azalma meydana geldiği belirtilmektedir (Agrahar-Murugkar ve ark, 2016).

Kek hamurunda bulunan hava kabarcıklarının miktar, büyüklük ve dağılımlarının hamur viskozitesi ile de ilişkili olduğu kaydedilmiştir. Buna göre, hava kabarcıklarında kaldırma kuvvetine bağlı olarak gerçekleşen yükselmenin viskozite ile ters orantılı olduğu belirtilmiştir (Kumar ve ark, 2017). Hedayati ve Tehrani (2018) ile Rahmati ve Tehrani (2015) de hamur viskozitesindeki artışın, yapıya dahil edilen hava kabarcıklarının genişlemesine olanak tanımadığı ve nihai ürünün hacim, yükseklik gibi değerlerinde azalmaya sebep olduğunu ifade etmiştir.

Çalışmamızla benzer bir şekilde; Şekil 4.2 incelendiğinde toplam hidrokolloid oranındaki artışa bağlı olarak hamur son özgül ağırlık değerlerinde düzenli bir artış olduğu gözlenmiştir. Buna bağlı olarak sırasıyla Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.14 incelendiğinde spesifik hacim ve yükseklik değerlerinde azalma; sertlik değerlerinde ise artış tespit edilmiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda; kek yapısının sıkılaştığı ve porozitenin azaldığı şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 4.20. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonlarına İlişkin Porozite Değerlerini Kıyaslanması

Benzer çalışmalarda gözenek yoğunluğuna ilişkin değerler 0,73-1,15 gözenek sayısı/mm² (Paraskevopoulou ve ark, 2015) ve 1,11-2,56 gözenek sayısı/mm² (Jarpa-Parra ve ark, 2017) porozite değerleri ise %24,70-42,54 (Movahhed ve ark, 2016) olarak kaydedilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, yumurta ikame maddesi olarak kullanılan ve bitkisel bir protein kaynağı olan mercimek proteini kullanımının kontrol örneği ile kıyaslandığında, ortalama gözenek alanını azaltırken; gözenek yoğunluğunu ise arttırdığı bildirilmiştir. Buna durum, elde edilen kek örneklerinin daha sıkı yapı

kazandıkları şekilde ifade edilmiştir (Jarpa-Parra ve ark, 2017). Diğer bir çalışmada kontrol örneklerine ait gözenek yoğunluğunun yumurtanın ikame edildiği keklere kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Paraskevopoulou ve ark, 2015).

Yumurtasız kek üretiminde farklı emülgatörlerin etkisinin incelendiği bir çalışmada; herhangi bir emülgatörün kullanılmadığı yumurtasız keklerin porozite değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, emülgatör içermeyen yumurtasız keklerin daha sıkı bir tekstürel yapıya sahip olması ile açıklanmıştır. Emülgatör kullanımının porozite değerlerini arttırdığı ve bu artışın hamur örneklerinde daha az sayıda hava kabarcığı içermesine rağmen lesitin kullanılan keklerde daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum, lesitin hamur viskozitesini arttırması ile ilişkilendirilmiştir. Ancak, lesitin içeren keklerin porozite değerlerinde artış gözlenmesine rağmen homojen bir dağılım göstermediği de belirtilmiştir. Buna göre monodigliserit (MDG) kullanılan yumurtasız kek örneklerine ait gözenek dağılımının poligliserol ester (PGE) ve lesitin kullanılanlara kıyasla daha homojen olduğu vurgulanmıştır (Movahhed ve ark, 2016).

4.3.11. Duyusal Analiz

Gıdaların duyusal nitelikleri, tüketicinin bir gıdayı kabul etmesine ya da reddetmesine neden olan en önemli kalite kriteridir. Duyusal özellikler, genellikle görünüm özellikleri, kinestetik (yapısal) özellikler ve aroma olmak üzere 3 ana başlık altında toplanmaktadır. Gıdaların kalite değerlendirilmesinde ilk aşama olan görünüm özellikleri; kendi içinde fiziksel özellikler, optik özellikler gibi gruplara ayrılmaktadır. Bu bağlamda irilik-şekil alt başlığında hacim olmak üzere fiziksel özellikler; renk ve homojenlik alt başlıklarında optik özellikler; sertlik, yumuşaklık, çiğnenebilirlik, yapışkanlık gibi parametrelerin oluşturduğu kinestetik özellikler başlığı altında tekstür ve aroma başlığı altında tat gibi kalite parametreleri, kek örneklerinde gerçekleştirilen duyusal analizin temelini

oluşturmaktadır (Anonim, 2012b). Buna göre, panelistler tarafından duyusal analize tabi tutulan düşük protein içerikli kek örnekleri, tüm bu parametreler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir (Ek-5).

Araştırmanın birinci aşamasının gerçekleştirilmesinden sonra, 3 farklı hidrokoloid konsantrasyonu (%1, %2, %3) ve 15 farklı kombinasyondan oluşan toplam 45 farklı kek formülasyonu içerisinde duyusal analize tabi tutulacak kek örnekleri alanında uzman bir ekip tarafından belirlenmiştir. Öncelikle, hacim ve tekstürel özelliklerden sertlik değerleri göz önünde bulundurulduğunda, genel olarak %2 oranında toplam hidrokoloid içeriğine sahip formülasyonlar ile üretilen düşük protein içerikli keklerin kalite niteliklerinin daha iyi olduğu saptanmıştır.

Ksantan gam kullanımının pişirme sürecinde su tutma kapasitesi ve köpük tutma stabilitesini artırarak; nihai ürünün hacminde artış, büzülme değerinde azalma ve gözenek dağılımında homojenlik sağladığı bilinmektedir (Arunepanlop ve ark, 1996), Ayrıca çalışmamızda gerçekleştirdiğimiz analitik sonuçlar ve gözlemlere dayanarak, ksantan gam kullanılan keklerin kabul edilebilirliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda, hidrokoloid oranının belirlenmesinin ardından ksantan gamın diğer hidrokoloidlerle ikili ve üçlü kombinasyonlar halinde kullanıldığı formülasyonlar ile elde edilen keklerin duyusal analize tabi tutulması gerektiğinde karar kılınmıştır. Benzer bir biçimde, araştırmamızdaki gözlemler literatürde yer alan veriler ile desteklenmiştir. Buna göre, %2 toplam hidrokoloid konsantrasyonunda HD7, HD8, HD9, HD16, HD17 ve HD18 kodlu toplam 6 farklı düşük protein içerikli kek örneğinin duyusal analize tabi tutulmuştur. Hedonik test uygulanarak gerçekleştirilen duyusal analiz sonucu elde edilen verilere göre (Çizelge 4.30) örümcek ağı diyagramı oluşturulmuş ve duyusal analiz profili Şekil 4.21’de verilmiştir.

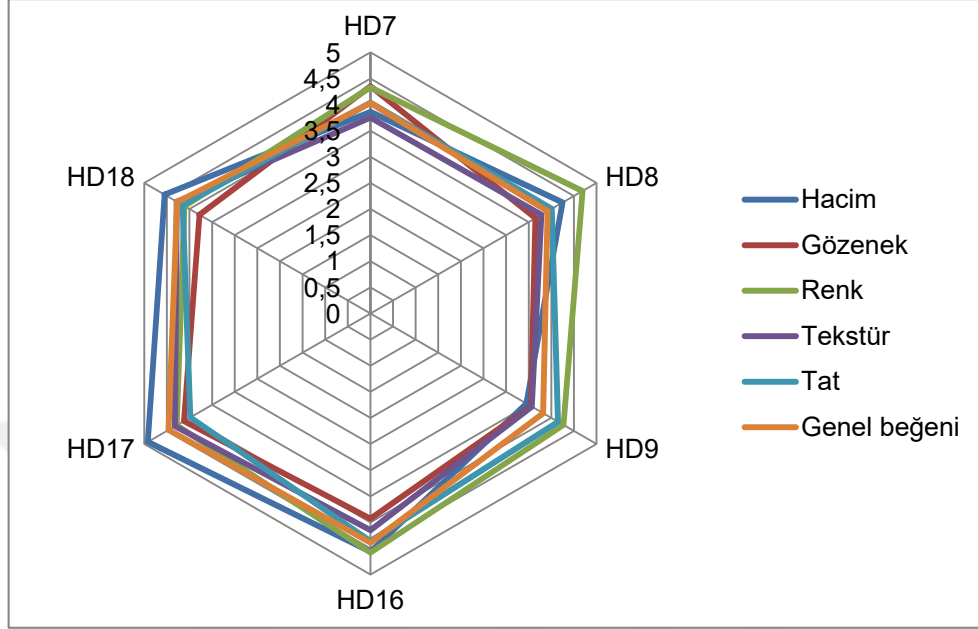
Gözenek, renk, tekstür, tat ve genel kabul edilebilirlik olmak üzere hacim hariç tüm duyusal analiz parametrelerinde örnekler arası istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0.05$).

Duyusal analize tabi tutulan kek örnekleri, görünüm özelliklerinden biri olan hacim üzerinden değerlendirildiğinde HD17 kodlu örneğin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde en yüksek değere ($p<0,05$) sahip olduğu Çizelge 4.30 ve Şekil 4.21’de verilen örümcek ağı diyagramında açıkça görülmektedir. Buna göre, ksantan gam ve guar gamın hacim niteliği üzerindeki sinerjistik etkisi duyusal olarak da belirlenmiştir. HD9 kodlu örneğin ise; 3,45 olmak üzere hacim parametresi üzerinden diğer kek örnekleri arasında en düşük puana sahip olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Çizelge 4.30. Farklı Kek Örneklerine Ait Duyusal Analiz Değerleri

Formül Kodu	Hacim	Gözenek	Renk	Tekstür	Tat	Genel beğeni
%2 HD7	3,86 ^{cd}	4,35 ^a	4,33 ^a	3,75 ^a	4,04 ^a	4,03 ^a
%2 HD8	4,25 ^{bc}	3,65 ^a	4,69 ^a	3,78 ^a	4,01 ^a	3,92 ^a
%2 HD9	3,45 ^d	3,55 ^a	4,27 ^a	3,57 ^a	4,15 ^a	3,82 ^a
%2 HD16	4,56 ^{ab}	3,93 ^a	4,58 ^a	4,15 ^a	4,36 ^a	4,39 ^a
%2 HD17	4,92 ^a	4,12 ^a	4,28 ^a	4,32 ^a	3,98 ^a	4,46 ^a
%2 HD18	4,55 ^{ab}	3,78 ^a	4,11 ^a	4,28 ^a	4,15 ^a	4,27 ^a

İstatistiksel açıdan aralarında anlamlı bir fark olmamasına rağmen gözenek, renk, tekstür, tat ve genel beğeni kalite kriterleri açısından sırasıyla HD7, HD8, HD17, HD16, HD17 kodlu kek örneklerine panelistler tarafından en yüksek puanlar verilmiştir (Çizelge 4.30). Ayrıca, panelistler tarafından hacim, gözenek, tekstür ve genel beğenilirlik açısından en düşük; tat kriteri açısından ise en yüksek puan HD9 kodlu örneğe verilmiştir.



Şekil 4.21. Duyusal Analiz Örümcek Ağı Diyagramı

Sonuç olarak, genel beğeni ve kabul edilebilirlik açısından değerlerinde %2 konsantrasyonda toplam hidrokolloid içeriğine sahip ksantan gam, guar gam ve CMC kombinasyonundan oluşan HD17 kodlu örneğin, tüm duyusal kalite kriterleri açısından değerlendirildiğinde ise genel olarak HD9 (ksantan gam ve MC kombinasyonu) kodlu örneğin ise panelistler tarafından en az tercih edilen kek örneği olduğu belirlenmiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, fenilketonüri hastalarının tüketimine yönelik protein içeriği azaltılmış, sürdürülebilir yumurtasız kek üretiminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda; %1, %2, %3 olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda, 5 farklı hidrokolloidin (ksantan gam, guar gam, hidroksipropil metil selüloz, karboksimetil selüloz, metil selüloz) tek başlarına ve birbirleriyle kombinasyonlar halinde kullanımının, keklerin bazı kalite nitelikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Kalite nitelikleri açısından değerlendirildiğinde, keklerin genel olarak yüksek hacimli, simetrik, yumuşak olması, parlak kahverengi renkte kabuk yapısı ve kek içi homojen gözenek dağılımı ile arzu edilen tekstürel ve duyuşal niteliklere sahip olması beklenmektedir. Bu ilkedan yola çıkılarak, protein içeriği azaltılmış yumurtasız kekler; nem, pişme kaybı, spesifik hacim, yükseklik, yapısal özellikler, renk, tekstür, gözenek boyut dağılımı ve duyuşal anlamda değerlendirilmiştir.

Toplam hidrokolloid konsantrasyonu artışına bağılı olarak kek örneklerinin nem, büzölme değeri, sertlik, çiğnenebilirlik, gözenek yoğunluğu değerlerinde genel olarak artış; spesifik hacim, hacim indeksi, yükseklik, pişme kaybı, ortalama gözenek alanı ve porozite değerlerinde ise genel olarak düzenli bir azalma tespit edilmiştir.

Hidrokolloidler arasında hidroksipropil metil selüloz (HPMC), karboskimetil selüloz (CMC) ve metil selülozun (MC) tek başlarına ve birbirleriyle veya guar gam ile kombinasyonlar halinde kullanımının; spesifik hacim, yapısal özellikler ve tekstür başta olmak üzere analizlere tabi tutulamayacak düzeyde, düşük kalite niteliklerine sahip kek örnekleri elde edilmesine neden olduğıu saptanmıştır. Bu doğrultuda, yumurta ikamesi olarak kombinasyonlar halinde hidrokolloid kullanımında, ksantan gam kullanımının oldukça önemli olduğıu tespit edilmiştir. Ayrıca tüm kalite nitelikleri göz önünde bulundurulduğunda %2

oranında toplam hidrokolloid konsantrasyonuna sahip kek örneklerinin daha arzu edilebilir nitelikte kek elde edilmesine neden olduğu belirlenmiştir.

Guar gam ve CMC kombinasyonundan oluşan HD11 kodlu örneğin; en yüksek nem, pişme kaybı, sertlik ve çiğnenebilirlik; en düşük spesifik hacim, yükseklik ve hacim indeksi değerlerine sahip olmasından yola çıkılarak tüm hidrokolloid kombinasyonları içerisinde en az arzu edilen niteliklerine sahip yumurtasız kek örneği olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, guar gam ve ksantan gam içeriğinden oluşan HD6 kodlu kek örneğinin en yüksek spesifik hacim, yükseklik ve hacim indeksi değerlerine sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda, ksantan gam ve guar gamın birlikte kullanımının sinerjistik bir etki yarattığı kanıtlanmıştır.

Duyusal analiz sonuçlarına göre, farklı konsantrasyon ve kombinasyonlarda hidrokolloid içeriğine sahip yumurtasız kekler içerisinde, %2 toplam hidrokolloid konsantrasyonunda ksantan gam, guar gam ve CMC içeriğine sahip HD17 kodlu örnek, tüm kalite nitelikleri göz önüne alındığında en beğenilen kek örneği olarak belirlenmiştir.

FKÜ hastalarının tüketimine yönelik kek üretiminin amacını oluşturan düşük protein içerikli ürün eldesi açısından değerlendirildiğinde; yumurta akı kullanılan kek örneklerinden %1 oranında daha düşük protein içeriğine sahip kek üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, çalışmada kullanılan hidrokolloid kombinasyonlarının protein içeriği azaltılmış kek üretiminde, yumurta ikamesi olarak kullanımı umut vadetmektedir. Ancak düşük protein içerikli ticari un karışımı kullanılarak hazırlanan kek örneklerine kıyasla, çalışmamızda elde edilen keklerin protein içeriğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu ticari karışımların buğday nişastası bazlı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, farklı kaynaklardan elde edilen nişastaların (buğday nişastası, mısır nişastası, patates nişastası vb.), pirinç unu ve hidrokolloidlerle kombinasyon halinde kullanılarak protein içeriği azaltılmış ve arzu edilen kalite niteliklerine sahip ürün geliştirilmesine yönelik çalışmaların devam etmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak;

- Fenilketonüri hastalarının tüketemediği gıdaların başında gelen ve kek üretiminde birçok fonksiyonu bulunan yumurta, %100 oranında ikame edilmiştir.
- Elde edilen ürünler, yumurta akı kullanılan kek örneklerine kıyasla daha düşük protein ve dolayısıyla daha az fenilalanin içeriğine sahip olduğundan fenilketonüri hastalarının tüketimine yönelik protein içeriği azaltılmış ürün gelişiminde önemli bir adım atılmıştır.
- Ülkemizde, fenilketonüri hastalarının tüketimine yönelik sadece 2 adet firma ticari un karışımı üretmekte olup; piyasada endüstriyel olarak benzer bir kek ürünü bulunmamaktadır. Önemli kısmı yurt dışından ithal edilen hazır karışımlar yerine, ihraç potansiyeli olan ve katma değeri yüksek ürünler elde edilmesine öncülük edilip katkı sağlanmıştır. Böylece, ülkemizde henüz çok yeni olan ve giderek tüm dünyada büyük bir hızla gelişen özel amaçlı tüketime yönelik ürünler pazarı konusunda ilerleme kaydedilecek ve ülke ekonomisine katkıda bulunulacağı düşünülmektedir.
- Çoğunlukla ithal olarak temin edilen bu ürünler, hem pahalı hem de tüketicilerin tarafından temin edebilmesi oldukça güçtür. Tüm bunlardan yola çıkarak, özel amaçlı tüketime yönelik nihai ürün veya ticari un karışımı şeklinde raflarda yerini alabilecek, kolaylıkla temin edilebilen, ucuz alternatif yerli bir ürün geliştirilmiştir.
- Buğday ununun pirinç ununa kıyasla daha yüksek fenilalanin içeriğine sahip olmasından yola çıkılarak kek üretiminde hammadde olarak gluten içermeyen bir kaynak kullanılmıştır. Bu doğrultuda elde edilen ürünün, çölyak hastası veya glutene duyarlılığı olan hastalar tarafından da tüketilebilecek, diyet tedavisinin tekdüzeliğini azaltacak ve enerji

ihtiyaçlarını kısmen karşılayacak özel amaçlı tüketime uygun bir ürün elde edilmiştir.

- Kek üretiminde yumurta ve süt başta olmak üzere herhangi bir hayvansal protein kaynağı kullanılmadığından; yumurta alerjisi, laktoz intoleransı veya yüksek kolesterolü olan ya da lakto-vejetaryen, vegan gibi farklı beslenme tercihi bulunan tüketicilere yönelik çok amaçlı bir ürün geliştirilmiştir. Bu doğrultuda sürdürülebilir sağlıklı gıda üretimine katkıda bulunulmuştur.
- Bugüne kadar ülkemizde fenilketonüri hastalarına yönelik kek üretimi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu nedenle çalışmanın ortaya koyduğu sonuçların konu ile ilgili ileride yapılabilecek ulusal ve uluslararası bilimsel araştırmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AACC, 2010. International Approved Methods of Analysis, American Association of Cereal Chemists, 11th Edition, St. Paul, MN., USA.
- Abeyrathne, E. D. N. S., Lee, H. Y., and Ahn, D. U., 2013. Egg White Proteins and Their Potential Use in Food Processing or As Nutraceutical and Pharmaceutical Agents-A Review. *Poultry Science*, 92(12): 3292-3299.
- Agrahar-Murugkar, D., Zaidi, A., Kotwaliwale, N., and Gupta, C., 2016. Effect of Egg-Replacer and Composite Flour on Physical Properties, Color, Texture and Rheology, Nutritional and Sensory Profile of Cakes. *Journal of Food Quality*, 39(5):425–435.
- Ahlborn, G. J., Pike, O. A., Hendrix, S. B., Hess, W. M., and Huber, C. S., 2005. Sensory, Mechanical, and Microscopic Evaluation of Staling in Low-Protein and Gluten-Free Breads. *Cereal Chemistry*, 82(3):328–335.
- Al-Assaf, S., and Phillips, G. O., 2009. Hydrocolloids: Structure-Function Relationships. *Food Science and Technology*, 23(3):17–20.
- Alben, E., and İbanoğlu, E., 2006. Hidrokolloidlerin Peynir Altı Suyu Protein İzolatı ve Yumurta Beyazının Köpük Oluşturma Özelliğine Etkisi. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, Bolu, 357–360.
- Allais, I., Edoura-Gaena, R. B., Gros, J. B., and Trystram, G., 2006. Influence of Egg Type, Pressure and Mode of Incorporation on Density and Bubble Distribution of A Lady Finger Batter. *Journal of Food Engineering*, 74(2):198–210.
- Anonim, 2018a. Türk Standartları Enstitüsü, Pirinç Unu Standardı, TS 2639. <http://www.kib.org.tr/files/downloads/sirkuler/2017242ek2.pdf> [Son erişim tarihi: 21.09.2018].
- Anonim, 2018b. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Ulusal Gıda Kompozisyonu Veritabanı (Türkomp). <http://www.turkomp.gov.tr/main> [Son erişim tarihi: 10.11.2018].

- Anonim, 2018c. Overview of Texture Profile Analysis, Texture Technologies (TTC), Stable Micro System Ltd. <http://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis> [Son erişim tarihi: 17.08.2018].
- Anonim, 2013. Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği, Tebliğ No:2013/9. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/04/20130402-7.htm>
- Anonim, 2012a, World Health Organization (WHO), Bulk Density and Tapped Density of Powders, 1-6. https://www.who.int/medicines/publications/pharmacopoeia/Bulk-tapped-densityQAS11_450FINAL_MODIFIEDMarch2012.pdf [Son erişim tarihi: 22.08.2018].
- Anonim, 2012b. Mesleki Eğitim ve Öğretim Programı (Megep), Gıda Teknolojisi, Duyusal Kontrolleri Yapma, 1-79.
- Anonim, 2008. Türk Standartları Enstitüsü, Hazır kekler –Sade, Çeşnili ve Dolgulu Kekler Standardı, TS 13375.
- Anonim. 2006. T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu. “Neonatal Tarama Programı Genelgesi 2006/130. <https://www.saglik.gov.tr/TR,11079/neonatal-tarama-programi-genelgesi-2006--130.html> [Son erişim tarihi: 16.09.2018].
- Anton, M., 2009. Egg Proteins (Edited by G. O. Phillips and P. A. Williams). Handbook of Hydrocolloids, CRC Press, Woodhead Publishing Limited, Washington, s.359-376.
- AOAC, 2000. Official Methods for Analysis, Association of Official Analytical Chemists, 17th Edition, Arlington, VA.
- Arozarena, I., Bertholo, H., Empis, J., Bunge, A., and de Sousa, I., 2001. Study of the Total Replacement of Egg by White Lupine Protein, Emulsifiers and Xanthan Gum in Yellow Cakes. European Food Research and Technology, 213:312–316.

- Arunepanlop, B., Morr, C. V., Karleskind, D., and Laye, I., 1996. Partial Replacement of Egg White Proteins with Whey Proteins in Angel Food Cakes. *Journal of Food Science*, 61(5):1085–1093.
- Ashwini, A., Jyotsna, R., and Indrani, D., 2009. Effect of Hydrocolloids and Emulsifiers on the Rheological, Microstructural and Quality Characteristics of Eggless Cake. *Food Hydrocolloids*, 23:700–707.
- Ayman, E. M., Zahran, G. A., and Rajab, O. S., 2009. Evaluation of Bread Free of Phenylalanine for Phenylketonuria Patients. *Annals of Agricultural Science*, 54(2):349–358.
- Azabağaoğlu, Ö., and Demiraslan, V., 2012. Türkiye’deki Un ve Unlu Mamul İşletmelerinin Pazarlama Yönetimleri Açısından İncelenmesi: Edirne İli Örneği. *Namık Kemal Üniversitesi Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(2):1-14.
- Baldwin, R. E., 1986. *Functional Properties of Eggs in Food* (Edited by W. J. Stadelman, J. O. Cotterill). *Egg Science And Technology*, 3rd Edition, The AVI Publishing Company, Westport, s. 345-377.
- Başıyigit, B., and Çam, M., 2017. Püskürtmeli Kurutucu ile Nane (*Mentha piperita* ve *Mentha spicata*) Esansiyel Yağı Mikroenkapsülasyonu. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(1):24–34.
- Bélangier-Quintana, A., Burlina, A., Harding, C. O., and Muntau, A. C., 2011. Up to Date Knowledge on Different Treatment Strategies for Phenylketonuria. *Molecular Genetics and Metabolism*, 104:S19–S25.
- Bennion, E. B., and Bamford, G. S. T., 1997. *Flour specification* (Edited by A. J. Bent) *The Technology of Cake Making*, Aspen Publishers, s.5-18.
- Berry, S. A., Markowitz, D., and Leslie, N. D., 2017. *Phenylketonuria and Maternal Phenylketonuria* (Edited by. S. V. Ekvall, V. K. Ekvall). *Pediatric and Adult Nutrition in Chronic Diseases, Developmental Disabilities, and Hereditary Metabolic Disorders*. Oxford University Press, New York, s.283-289.

- Blau, N., 2016, Genetics of Phenylketonuria: Then and Now. *Human Mutation*, 37(6):508–515.
- Blau, N., Shen, N., and Carducci, C., 2014. Molecular Genetics and Diagnosis of Phenylketonuria: State of The Art. *Expert Review of Molecular Diagnostics*, 14(6):655–671.
- Blau, N., Van Spronsen, F. J., and Levy, H. L., 2010. Phenylketonuria. *The Lancet Seminar*, 376.
- Borneo, R., Aguirre, A., and León, A. E., 2010. Chia (*Salvia hispanica L*) Gel Can Be Used as Egg or Oil Replacer in Cake Formulations. *Journal of the American Dietetic Association*, 110(6):946–949.
- Boyer, S. W., Barclay, L. J., and Burrage, L. C., 2015. Inherited Metabolic Disorders: Aspects of Chronic Nutrition Management. *Nutrition in Clinical Practice*, 30(4):502–510.
- Brown, C. S., and Lichter-Konecki, U., 2016. Phenylketonuria (PKU): A Problem Solved? *Molecular Genetics and Metabolism Reports*, 6:8–12.
- Burgard, P., Lachmann, R. H., Walter, J., 2016. *Hyperphenylalaninaemia* (Edited by J-M. Saudubray, M. R. Baumgartner, J. Walter. Springer Publishing, Berlin, s.251-265.
- Büyükkurt, Ö. K., 2017. Fenilketonüri Hastalarına Yönelik Fenilalanin İçeriği Azaltılmış Bir Un Geliştirilmesi. *Yüksel Lisans Tezi*, Akdeniz Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. Antalya.
- Camp, K. M., Parisi, M. A., Acosta, P. B., Berry, G. T., Bilder, D. A., Blau, N., Bodamer, O. A., Brosco, J. P., Brown, C. S., Burlina, A. B., Burton, B. K., Chang, C. S., and Young, J. M., 2014. Phenylketonuria Scientific Review Conference: State of the Science and Future Research Needs. *Molecular Genetics and Metabolism*, 112(2):87–122.
- Campbell, L., Raikos, V., and Euston, S. R., 2003. Modification of Functional Properties of Egg-White Proteins. *Nahrung-Food*, 47(6):369–376.

- Cauvain S.P. and Young L.S., 2006. Baked Products Science, Technology And Practice. Blackwell Publishing, UK. s.113-114.
- Chandra, S., Singh, S., and Kumari, D., 2015. Evaluation of Functional Properties of Composite Flours and Sensorial Attributes of Composite Flour Biscuits. Journal of Food Science and Technology, 52(6):3681–3688.
- Cleary, M. A., 2010, Phenylketonuria. Paediatrics and Child Health, 21(2):61–64.
- Cumhur, Ö., 2008. Peynir Benzeri Bir Üründe Farklı Protein Kaynaklarının Yapısal Özelliklere Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul.
- Cunningham, A., Bausell, H., Brown, M., Chapman, M., DeFouw, K., Ernst, S., McClure, J., McCune, H., O'Steen, D., Pender, A., Skrabal, J., Wessel, A., Jurecki, E., Shediach, R., Prasad., Gillis, J., and Cederbaum, S., 2012. Recommendations for The Use of Sapropterin in Phenylketonuria. Molecular Genetics and Metabolism, 106:269–276.
- Çelebi, Ş., Karaca, H., 2006. Yumurtanın Besin Değeri, Kolesterol İçeriği ve Yumurtayı n-3 Yağ Asitleri Bakımından Zenginleştirmeye Yönelik Çalışmalar. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 37(2):257–265.
- Deleu, L. J., Melis, S., Wilderjans, E., van Haesendonck, I., Brijis, K., and Delcour, J. A., 2017. Protein Network Formation During Pound Cake Baking: The Role Of Egg Yolk and Its Fractions. Food Hydrocolloids, 63:226-232.
- Demirci, A. Ş., Arıcı, M., 2008. Mikrobiyal Yolla Üretilen Gamlar ve Gıda Sanayinde Kullanımı, Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum, 897-900.
- Demirkol, M., Gizewska, M., Giovannini, M., and Walter, J., 2011. Follow Up of Phenylketonuria Patients. Molecular Genetics and Metabolism, 104:S31–S39.

- Díaz-Ramírez, M., Calderón-Domínguez, G., García-Garibay, M., Jiménez-Guzmán, J., Villanueva-Carvajal, A., Salgado-Cruz, M. de la Paz Salgado-Cruz, M., Arizmendi-Cotero, D., and Del Moral-Ramírez, E., 2016. Effect Of Whey Protein İsolate Addition On Physical, Structural and Sensory Properties of Sponge Cake. *Food Hydrocolloids*, 61:633–639.
- Dizlek, H., 2013. Kremalı Kek (Yaş Pasta) Bileşenleri ve Üretimi. *Dünya Gıda*, 6:77–86.
- Dizlek, H., and Gül, H., 2009. Kabartma Tozları ve Unlu Mamullerde Kullanımları. *Gıda*, 34(6):403–410.
- Dizlek, H., 2002. Farklı Kabartma Tozlarının Değişik Oranlarda Kullanılmasının ve Kek Hamurunun Pişirme Öncesinde Bekletilmesinin Pandispanya Nitelikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- do Prado, D. Z., Capoville, B. L., Delgado, C. H. O., Heliodoro, J. C. A., Pivetta, M. R., Pereira, M. S., Zanutto, M. R., Novelli, P. K., Francisco, V. C. B., and Fleuri, L. F., 2018. Nutraceutical Food: Composition, Biosynthesis, Therapeutic Properties, and Applications (Edited by A. M. Holban, A. M. Grumezescu). *Alternative and Replacement Foods*, Academic Press Books, Massachusetts, s.95–140.
- Ertaş, N., and Doğruer, Y., 2010. Besinlerde Tekstür. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 7(1):35–42.
- Frampton, C., 1997. Eggs and Egg Products (Edited by A. J. Walter) .*The Technology of Cake Making*, 6th Edition, Springer Publishing, s.18-25.
- Gallagher, E., Gormley, T. R., and Arendt, E. K., 2004. Recent Advances in The Formulation of Gluten-Free Cereal-Based Products. *Trends in Food Science and Technology*, 15:143–152.
- Geera, B., Reiling, J. A., Hutchison, M. A., Rybak, D., Santha, B., and Ratnayake, W. S., 2011. A Comprehensive Evaluation of Egg and Egg Replacers on the Product Quality of Muffins. *Journal of Food Quality*, 34:333–342.

- Goldstein, A., and Vockley, J., 2017. Clinical Trials Examining Treatments for Inborn Errors of Amino Acid Metabolism. *Expert Opinion on Orphan Drugs*, 5(2):153–164.
- Gómez, M., Doyagüe, M. J., and de la Hera, E., 2012. Addition of Pin-Milled Pea Flour and Air-Classified Fractions in Layer and Sponge Cakes. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1):142–147.
- Günel, V. E., Tipi, T., Özsayın, D., 2002. Türkiye’de Un ve Unlu Mamüller Sanayinin Yeri ve Önemi. *Türkiye V. Tarım Ekonomisi Kongresi*, Erzurum, 70–76.
- Gür, F., Güzel, M., Öncül, N., Yıldırım, Z., and Yıldırım, M., 2010. Süt Serum Proteinleri ve Türevlerinin Biyolojik ve Fizyolojik Aktiviteleri. *Akademik Gıda*, 8(1):23–31.
- Hafid, N. Al, and Christodoulou, J. 2015. Phenylketonuria: A Review of Current and Future Treatments. *Translational Pediatrics*, 4(4):304–317.
- Hanley, W., 2013. Phenylketonuria (PKU)-What Next. *Journal of Genetic Disorders & Genetic Reports*, 2(2):1–6.
- He, Yaqiang., Wang, L., and Lu, Q., 2015. Property Assessment of Sponge Cake Added with Egg Replacer. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 9(5):342–345.
- Hedayati, S., and Tehrani, M. M., 2018. Effect of Total Replacement of Egg by Soymilk and Lecithin on Physical Properties of Batter and Cake. *Food Science and Nutrition*, 6(4):1154–1161.
- Ho, G., Ueda, K., Houben, R. F. A., Joa, J., Giezen, A., Cheng, B., and van Karnebeek, C. D. M., 2016. Metabolic Diet App Suite for Inborn Errors of Amino Acid Metabolism. *Molecular Genetics and Metabolism*, 117:322–327.
- Hussain, S. S. A., and Al-Oulabi, R. A., 2009. Studying The Possibility Of Preparing An Egg-Free or Egg-Less Cake, *International Journal of Engineering and Technology*. 1(4):324–329.

- Indrani, D., and Rao, G. V., 2008. Functions of Ingredients in the Baking of Sweet Goods (Edited by S. G. Sumnu, S. Sahin). Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, s. 31-49.
- İlter, I., Akyıl, S., Koç, M., and Kaymak-Ertekin, F., 2016. Alglerden Elde Edilen Stabilize Edici Maddeler Stabilizing Agents from Marine Algae. Akademik Gıda, 14(3):315–321.
- Jarpa-Parra, M., Wong, L., Wismer, W., Temelli, F., Han, J., Huang, W., Eckhart, E., Tian, Z., Shi, K., Sun, T., and Chen, L., 2017. Quality Characteristics of Angel Food Cake and Muffin Using Lentil Protein as Egg/Milk Replacer. International Journal of Food Science and Technology, 52(7):1604–1613.
- Johnson, T. M., and Zabik, M. E., 1981. Egg Albumen Protein Interactions in an Angel Food Cake System. Journal of Food Science, 46:1230-1236.
- Julianti, E., Rusmarilin, H., Ridwansyah and Yusraini, E., 2016. Effect of Gluten Free Composite Flour and Egg Replacer on Physicochemical and Sensory Properties of Cakes. International Food Research Journal, 23 (6):2413-2418.
- Jyotsna, R., Manohar, R. S., Indrani, D., and Rao, G. V., 2007. Effect of Whey Protein Concentrate on the Rheological and Baking Properties of Eggless Cake. International Journal of Food Properties, 10:599–606.
- Kamat, V.B., Lawrence, G. A., Hart, J. C., and Yoell, R., 1973. Contribution of Egg Yolk Lipoproteins to Cake Structure. Journal of The Science of Food and Agriculture, 24:77-88.
- Kandil, M., Yilmaz-Ersan, L., Özcan, T., and Akpınar-Bayızıt, A., 2017. Gamların Prebiyotik Özellikleri, Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi. 26:18–26.
- Kannan, A., Hettiarachchy, N., Aato, K., and Marshall, M., 2012. (Edited by N. S. Hettiarachchy), Food Proteins and Peptides Chemistry, Functionality, Interactions, and Commercialization, CRC Press Taylor and Francis Group, New York, s.74-77.

- Karakaya, M., Bayrak, R., Sarıçoban, C., 1999. NaCl ve K₂HPO₄ İlavesinin Yumurta (*Gallus domesticus*) ve Yumurta Kısımlarının Bazı Emülsiyon Karakteristikleri Üzerine Etkisi, Gıda, 24(5):337-341.
- Keskin, M., Setlek, P., and Demir, S., 2017. Renk Ölçüm Sistemlerinin Gıda Bilimleri ve Tarımda Kullanım Alanları, International Advanced Researches and Engineering Congress, Osmaniye, 2350-2359.
- Kim, M. H., 2013. Review on Rice Flour Manufacturing and Utilization. Journal of Biosystems Engineering, 38(2):103–112.
- Knerr, I., 2016. Amino Acid Related Disease (Edited by D. Dardevet), The Molecular Nutrition of Aminoacids and Proteins, Academic Press, London, s.305-313.
- Kochhar, J. S., Chan, S. Y., Ong, P. S., and Kang, L., 2012. Clinical therapeutics for phenylketonuria. Drug Delivery and Translational Research, 2(4):223–237.
- Koçer, D., 1999. Use of Polydextrose as a Sugar- and Fat-Replacer in High-Ratio Cakes, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Kohajdová, Z., Karovičová, J., and Schmidt, Š., 2009. Significance of Emulsifiers and Hydrocolloids in Bakery Industry. Acta Chimica Slovaca, 2(1):46–61.
- Kohrs, D., Herald, T. J., Aramouni, F. M., and Abughoush, M., 2010. Evaluation of Egg Replacers in A Yellow Cake System. Emirates Journal of Food and Agriculture, 22(5):340–352.
- Köklü, G., Özer, M. S., 2008. Pandispanya Yapımında Bazı Yüzey Aktif Maddelerin Kek Nitelikleri Üzerindeki Etkileri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2):78–87.
- Köklü, G., 2007 Pandispanya Yapımında Bazı Yüzey Aktif Maddelerin Kek Nitelikleri Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

- Kumar, N. A., Prasada Rao, U. J. S., Jeyarani, T., and Indrani, D., 2017. Effect of Ingredients on Rheological, Physico-Sensory And Nutritional Characteristics of Omega-3-Fatty Acid Enriched Eggless Cake. *Journal of Texture Studies*, 48(5):439–449.
- Lechevalier, V., Croguennec, T., Anton, M., and Nau, F., 2011. Processed Egg Products (Edited by Y. Nys, M. Bain, F.V. Immerseel). Improving The Safety and Quality of Eggs and Egg Products, Woodhead Publishing, s.538-570.
- Li, J. M., and Nie, S. P., 2016. The Functional A-and Nutritional Aspects of Hydrocolloids in Foods. *Food Hydrocolloids*, 53:46–61.
- Lim, K., van Calcar, S. C., Nelson, K. L., Gleason, S. T., and Ney, D. M., 2007. Acceptable Low-Phenylalanine Foods and Beverages Can Be Made With Glycomacropeptide From Cheese Whey for Individuals with PKU. *Molecular Genetics and Metabolism*, 92:176–178.
- Lin, M., Tay, S. H., Yang, H., Yang, B., and Li, H., 2017a. Development of Eggless Cakes Suitable for Lacto-Vegetarians Using Isolated Pea Proteins. *Food Hydrocolloids*, 69:440–449.
- Lin, M., Tay, S. H., Yang, H., Yang, B., and Li, H., 2017b. Replacement of Eggs with Soybean Protein Isolates and Polysaccharides to Prepare Yellow Cakes Suitable for Vegetarians. *Food Chemistry*, 229:663–673.
- Lomakina, K., and Mikova, K., 2005. A Study of the Factors Affecting the Foaming Properties of Egg White. *Czech Journal of Food Sciences*, 24(3):110–118.
- Mane, K. A., and Khandekar, V. B., 2017. Preparation of Cupcake Using Whey Powder as Egg Replacer, *International Journal of Science, Engineering and Management*. 2(10):21–25.
- Marcason, W., 2013. Is There a Standard Meal Plan for Phenylketonuria (PKU). *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 113(8):1124.

- Martínez-Cervera, S., de la Hera, E., Sanz, T., Gómez, M., and Salvador, A., 2012. Effect of Using Erythritol as a Sucrose Replacer in Making Spanish Muffins Incorporating Xanthan Gum. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8):3203–3216.
- Matalon, R., Michals-Matalon, K., Bhatia, G., Grechanina, E., Novikov, P., McDonald, J. D., Grady, J., Tying, S.K., and Guttler, F., 2006. Large Neutral Amino Acids in The Treatment of Phenylketonuria (PKU). *Journal of Inherited Metabolic Disease*, 29:732–738.
- Matos, M. E., Sanz, T., and Rosell, C. M., 2014. Establishing the Function of Proteins on the Rheological and Quality Properties of Rice Based Gluten Free Muffins. *Food Hydrocolloids*, 35:150–158.
- Mercan, N., 1998. Kek Kalitesi Üzerine Bazı Emülgatörlerin Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı İstanbul.
- Mine, Y., 2015. Egg Proteins (Edited by Z. Üstünol). *Applied Food Protein Chemistry*, John Wiley & Sons, Ltd, s.459-490.
- Mine, Y., 1995. Recent Advances in The Understanding of Egg White Protein Functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 6:225–232.
- Miranda, J. M., Anton, X., Redondo-valbuena, C., Roca-saavedra, P., Rodriguez, J. A., Lamas, A., Franco, C. M., and Cepeda, A., 2015. Egg and Egg-Derived Foods: Effects on Human Health and Use as Functional Foods. *Nutrients*, 7:706–729.
- Mohsen, S. M. ., Yaseen, A. A., Ammar, A. M., and Mohammad, A. A., 2010. Quality Characteristics Improvement of Low-Phenylalanine Toast Bread. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(10):2042–2051.
- Movahhed, K. M., Mohebbi, M., Koocheki, A., and Milani, E., 2016. The Effect of Different Emulsifiers on The Eggless Cake Properties Containing WPC. *Journal of Food Science and Technology*, 53(11):3894–3903.

- Murray, J. C. F., 2009 Handbook of Hydrocolloids (Edited by G. O. Phillips, P. A. Williams). Egg Proteins, CRC Press Woodhead Publishing Limited, Washington, s.710-722.
- Müngen, A. A., and Karaağaçlı, E. S., 2015. Çölyak ve Fenilketonüri Hastaları için Barkod Destekli Ürün Mobil Satın Alma Rehberi, 10. Türkiye’de İnternet Konferansı, İstanbul, s.67–70.
- Müslümanoğlu, M. H., Çine, N., Özdemir, M., Çilingir, O., Başaran, N., Durak, B., Solak, M., and Artan, S., 2004. Fenilketonüri Hastalığında Prenatal-Postnatal Tanıda VNTR ve Bağlantısı ve Direkt Mutasyon Analizleri Birlikteliğinin Avantajları. Kocatepe Tıp Dergisi, 5:19–23.
- Ney, D. M., and Etzel, M. R., 2017. Designing Medical Foods For Inherited Metabolic Disorders: Why Intact Protein is Superior to Amino Acids. Current Opinion in Biotechnology, 44:39–45.
- Nyhan, W. L., Barshop, B. A., and Al-Aqeel, A. I., 2011. Phenylketonuria. Atlas of Inherited Metabolic Diseases. CRC Press, Taylor and Francis Group, s.112-123.
- Ozboy, O., 2002. Development of Corn Starch-Gum Bread for Phenylketonuria Patients. Nahrung-Food, 46(2):87–91.
- Özalp, I., Coskun, T., Tokol, S., Demircin, G., and Mönch, E., 1990. Inherited Metabolic Disorders in Turkey. Journal of Inherited Metabolic Disease, 13:732–738.
- Özcan, T., Kurtuldu, O., and Delikanli, B., 2013. Tahıl İçerikli Süt Ürünlerinin Geliştirilmesinde B- Glukan Kullanımı, U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(1):87–96.
- Özer, M., and Tuncel, N. B., 2016. Pirinç ve Pirinç Yan Ürünlerinin Glutensiz Tahıl Ürünlerinde Kullanımı. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2:29–44.
- Özer, E. A., İbanoğlu, Ş., and İbanoğlu, E., 2008. Fenilketonüri Hastalığı ve Fenilalanin Kısıtlı Diyet, Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum, 1139-1140.

- Özer, M. S., Dizlek, H., Kola, O., and Altan, A., 2004. Değişik Gaz Salınımı Hızlarına Sahip Kabartma Tozlarının Pandispanya Tipi Keklerin Nitelikleri Üzerindeki Etkileri. *Gıda*, 29(1):43–50.
- Özer, I., 2004. Fenilketonüri Örneğinde Doğumsal Metabolik Hastalıklarda Genel Tedavi Yaklaşımı. *Klinik Pediatri*, 3(1): 26-30.
- Özüğür, G., and Hayta, M., 2011. Tahıl Esaslı Glutensiz Ürünlerin Besinsel ve Teknolojik Özelliklerinin İyileştirilmesi. *Gıda*, 36(5):287–294.
- Paraskevopoulou, A., Donsouzi, S., Nikiforidis, C. V., and Kiosseoglou, V., 2015. Quality Characteristics of Egg-Reduced Pound Cakes Following WPI and Emulsifier Incorporation. *Food Research International*, 69:72–79.
- Prasad, C., Dalton, L., and Levy, H., 1998. Role of Diet Therapy In Management of Hereditary Metabolic Diseases. *Nutrition Research*, 18(2):391–402.
- Puranik, D. B., and Gupta, S. K., 2017. Development of Egg-Less Cake Using Whey Protein Concentrate As Egg Substitute, *International Journal of Science, Environment and Technology*. 6(4):2343–2352.
- Pyler, E. J., 1988. *Baking Science and Technology*, 3rd edition, Sosland Publishing Company, U.S.A., s.1345.
- Rahmati, N. F., and Tehrani, M. M., 2015. Replacement of Egg in Cake: Effect of Soy Milk on Quality and Sensory Characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6):574–582.
- Rahmati, N. F., and Tehrani, M. M., 2014. Influence of Different Emulsifiers on Characteristics of Eggless Cake Containing Soy Milk: Modeling of Physical and Sensory Properties by Mixture Experimental Design. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9):1697–1710.
- Ratnayake, W. S., Geera, B., and Rybak, D. A., 2011. Effects of Egg and Egg Replacers on Yellow Cake Product Quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(1):21–29.

- Ratnayake, W. S., and Hutchison, M. A., 2010. An Industry-Relevant Analysis of Differences Between Products Made with Eggs and Those Made With Egg Content Reduced by Egg Replacers. The Food Processing Center. 1-115.
- Rios, R. V., Garzón, R., Lannes, S. C. S., and Rosell, C. M., 2018. Use of Succinyl Chitosan As Fat Replacer on Cake Formulations. *Lwt-Food Science and Technology*, 96:260–265.
- Rocha, J. C., and Martel, F., 2009. Large Neutral Amino Acids Supplementation in Phenylketonuric Patients. *Journal of Inherited Metabolic Disease*, 32, 472–480.
- Rodríguez-García, J., Puig, A., Salvador, A., and Hernando, I., 2012. Optimization of a Sponge Cake Formulation with Inulin as Fat Replacer: Structure, Physicochemical, and Sensory Properties. *Journal of Food Science*, 77(2):189–197.
- Sahraiyani, B., Naghipoor, F., Bagher, M., Najaf, H., Karimi, M., Khodaparast, M. H. H., Davoodi, M. G., 2015. Production of Eggless Cake,
- Salem, E. M., and Hanan, F. A., 2012. Partial Substitution of Eggs by Lupin Flour and Its Protein Isolates in Cakes Manufacturing, *Journal of Applied Sciences Research*, 8(7):3717–3723.
- Sanford, M., and Keating, G. M., 2009. Sapropterin: A Review of its Use in the Treatment of Primary Hyperphenylalaninaemia. *Drugs*, 69(4):461–476.
- Sara, G.-L., Alejandra, L.-M. L., Isabel, I.-G., and Marcela, V.-A., 2016. Conventional Phenylketonuria Treatment. *Journal of Inborn Errors of Metabolism and Screening*, 4:1-7.
- Shao, Y., Lin, K., and Chen, Y., 2015. Batter And Product Quality of Eggless Cakes Made of Different Types Of Flours And Gums. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39:2959–2968.
- Shevkani, K., Kaur, A., Kumar, S., and Singh, N., 2015. Cowpea Protein Isolates: Functional Properties and Application in Gluten-Free Rice Muffins. *LWT - Food Science and Technology*, 63:927–933.

- Singh, B., Singh, A. K., Raju, P. N., Rani, R., 2017. Nutritional Value and Physical Properties of Eggless Muffin. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 6(2):1309–1314.
- Singh, J. P., Kaur, A., Shevkani, K., and Singh, N., 2015. Influence of Jambolan (*Syzygium Cumini*) and Xanthan Gum Incorporation on the Physicochemical, Antioxidant And Sensory Properties of Gluten-Free Eggless Rice Muffins. *International Journal Of Food Science And Technology*, 50(5):1190–1197.
- Soltanizadeh, N., and Mirmoghtadaie, L., 2014. Strategies Used in Production of Phenylalanine-Free Foods for PKU Management. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(3):287–299.
- Staudigl, M., Dokoupil, K., and Maier, E. M., 2003. New Treatment Options in PKU and Future Role of Dietary Treatment. *Dr Schar Medical Nutrition*. 1-8.
- Strisciuglio, P., and Concolino, D., 2014. New Strategies for the Treatment of Phenylketonuria (PKU). *Metabolites*, 4:1007–1017.
- Sumaily, K. M., and Mujamammi, A. H., 2017. Phenylketonuria: A New Look at an Old Topic, *Advances in Laboratory Diagnosis, and Therapeutic Strategies*. *International Journal of Health Sciences*, 11(5):63–70.
- Sungur, B., 2018. Ekmek Yapımında Hidrokolloidlerin Kullanılması. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 6(1):41–53.
- Tan, M. C., Chin, N. L., Yusof, Y. A., and Taip, F. S., 2015. Improvement of Eggless Cake Structure Using Ultrasonically Treated Whey Protein. *Food and Bioprocess Technology*, 8:605–614.
- Taş, A., and Salan, A., 2017. Un ve Unlu Mamuller Sektör Raporu. Çerkezköy Ticaret ve Sanayi Odası, 1–44.
- Thompson, S., and Rohr, F. J., 2009. Alternative Therapies in Phenylketonuria. *Topics in Clinical Nutrition*, 24(4):322–332.

- Top, F. Ü., and Alemdar, D. K., 2015. Fenilketonürlü Çocuğu Olan Ailelerinin Yaşadıkları Güçlükler: Niteliksel Bir Çalışma. *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*, 12(1):62–68.
- Trayter, S. R., 2017. Effects of Egg and Egg Replacers on Consumer Acceptability of Chocolate Cake. Honors Research Projects. The University of Akron.
- Trisnawati, C. Y., Sutedja, Kaniawati, S., Sutanto, J., 2016. Effect Of Egg Reduction and Xanthan Gum Concentration on the Physicochemical Properties of Reduced Fat Rice Cake. *International Food Conference*, Surabaya, 91–98.
- Tuncel, B., and Demirci, M., 2006. Farklı Sıcaklık Derecelerinde Depolanan Hamurların Kek Kalitesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, Bolu, 521–524.
- Ülker, İ., and Şanlıer, N., 2018. Fenilketonürde Beslenme ve Yeni Tedavi Yaklaşımları. *Güncel Pediatri*, 16(2):187–198.
- Üren, A., 1999. Üç Boyutlu Renk Ölçme Yöntemleri, *Gıda*, 24(3):193-200.
- van Calcar, S. C., and Ney, D. M., 2012. Food Products Made with Glycomacropeptide, a Low-Phenylalanine Whey Protein, Provide a New Alternative to Amino Acid-Based Medical Foods for Nutrition Management of Phenylketonuria. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 112(8):1201–1210.
- van Spronsen, F. J., 2010. Phenylketonuria: A 21st Century Perspective. *Nature Reviews Endocrinology*, 6:509–514.
- van Spronsen, F. J., and Enns, G. M., 2010. Future Treatment Strategies in Phenylketonuria. *Molecular Genetics and Metabolism*, 99:S90–S95.
- van Spronsen, F. J., de Groot, M. J., Hoeksma, M., Reijngoud, D-J., and van Rijn, M.(2010). Large neutral amino acids in the treatment of PKU: From Theory to Practice. *Journal of Inherited Metabolic Disease*, 33, 671–676.
- Velioğlu, S., 1987. Gıdalarda Renk Ölçme İlke ve Sistemleri, *Gıda*, 12(6):409-416.

- Vernon, H. J., Koerner, C. B., Johnson, M. R., Bergner, A., and Hamosh, A., 2010. Introduction of Sapropterin Dihydrochloride as Standard of Care in Patients with Phenylketonuria. *Molecular Genetics and Metabolism*, 100:229–233.
- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., and Delcour, J. A., 2013. Ingredient Functionality in Batter Type Cake Making. *Trends in Food Science and Technology*, 30:6–15.
- Wilderjans, E., Pareyt, B., Goesaert, H., Brijs, K., and Delcour, J. A., 2008. The Role of Gluten In A Pound Cake System: A Model Approach Based on Gluten-Starch Blends. *Food Chemistry*, 110:909–915.
- Wilkinson, H. C., and Champagne, E. T., 2004. Value-Added Rice Products. *Rice: Chemistry and Technology*, 3rd edition, American Association of Cereal Chemists, s.473-490.
- Williams, R., Mamotte, C. D., and Burnett, J., 2008. Phenylketonuria: An Inborn Error of Phenylalanine Metabolism. *The Clinical Biochemistry Reviews*, 29:31–41.
- Wu, J., 2014. Eggs and Egg Products Processing. *Food Processing. Principles and Applications* (Edited by S. Clark, S. Jung, B. Lamsal), John Wiley & Sons, Ltd, s.437-455.
- Wüstenberg, T. 2014. General Overview of Food Hydrocolloids, Cellulose and Cellulose Derivatives in the Food Industry: Fundamentals and Applications, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., Weinheim Germany, s.1-68.
- Yalvaç, S., Aydın, A., Altay, İ. S., Kavunoğlu, G., 2001. Düşük Proteinli, Glütensiz “Özel Diyet Nişasta Ekmeği”: Araştırmadan Uygulamaya. *Türk Pediatri Arşivi*, 36:193–198.
- Yaseen, A. A., Shouk, A. A., El-Hamzy, E. M. A., and Ashour, M. M. S., 2012. Production and Evaluation of Low Phenylalanine Pan Bread. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(12):5799–5805.

- Yaseen, A. A., and Shouk, A-E-H., 2011. Low Phenylalanine Egyptian Shamy Bread. *Polish Journal of Food And Nutrition Sciences*, 61(4):257–262.
- Yıldız, Y. (2014). Hiperfenilalaninemili Hastaların Gebelik Sonuçlarının İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi. Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı, 98, Ankara.
- Yıldız, S., Balcı, S., and Görak, G., 2006. Guthrie Tarama Testi İçin Örnek Alma Uygulamalarının ve Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Hemşirelik Yüksekokulu Dergisi*, 9(1):17–28.
- Zannini, E., Kingston, W., Arendt, E. K., and Waters, D. M., 2013. Technological Challenges and Strategies for Developing Low-Protein/Protein-Free Cereal Foods for Specific Dietary Management. *Food Research International*, 54(1):935–950.
- Zeybek, Ç. A. (2004). Doğumsal Metabolik Hastalıklarda Beslenme. *Sağlıkta ve Hastalıkta Beslenme Sempozyumu Dizisi*, 41:217-232.
- Zhang, Y. Y., Song, Y., Hu, X. S., Liao, X. J., Ni, Y. Y., and Li, Q. H., 2012. Effects of Sugars in Batter Formula and Baking Conditions on 5-Hydroxymethylfurfural And Furfural Formation in Sponge Cake Models. *Food Research International*, 49(1):439–445.
- Zorba, M., 2009. *Gamlar* (T. Altuğ editör). Gıda Katkı Maddeleri, 3. Baskı, Sidas Yayınları, İzmir, s.77-103.

ÖZGEÇMİŞ

07.07.1990 yılında Malatya’da doğdu. İlk, orta öğrenimini Ağrı ve Balıkesir, lise öğrenimini ise Ankara’da Fethiye kemal Mumcu Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2014 yılında Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimine Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda devam etmektedir. Nisan 2017’den beri Çukurova Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.



EKLER



EK 1



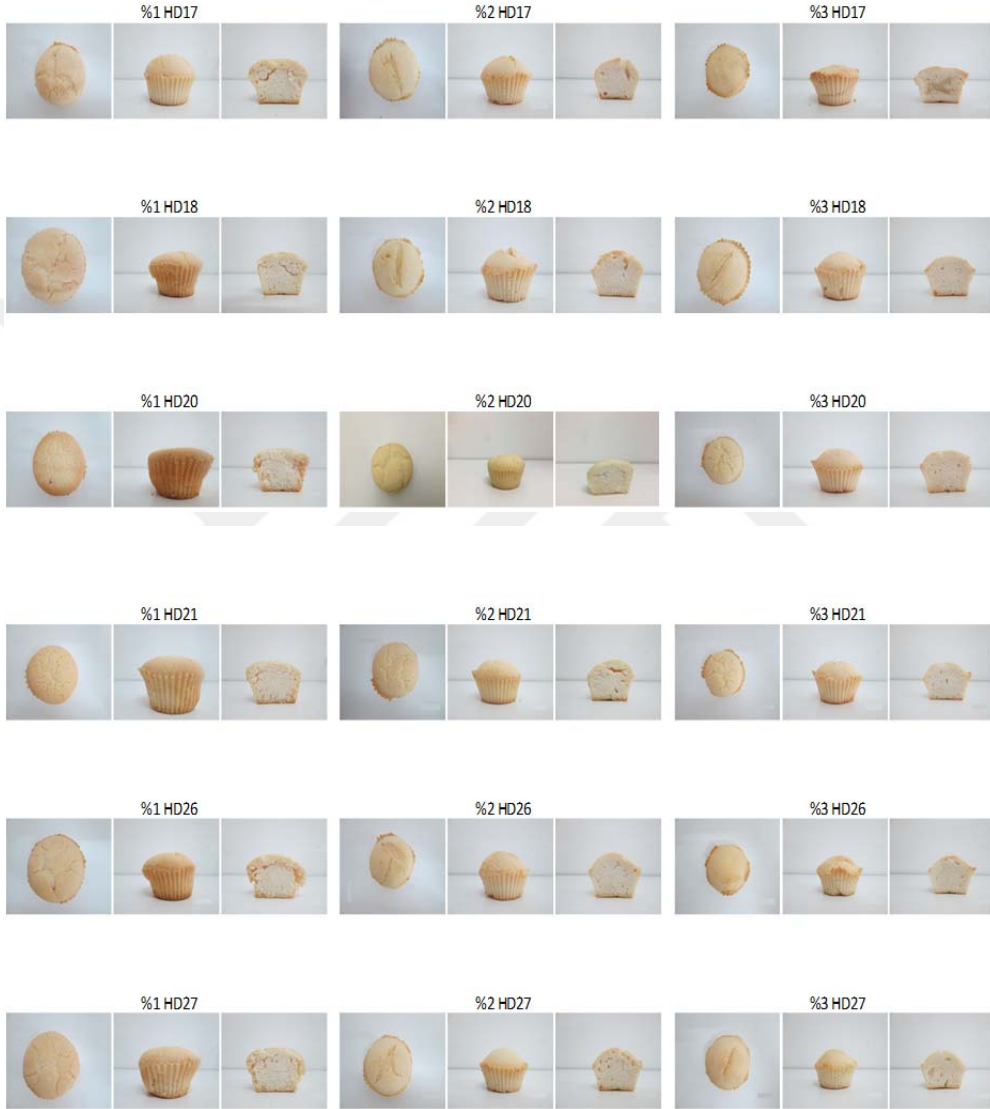
EK 1. Deneme Deseninden Çıkarılan Kek Örnekleri

EK 2



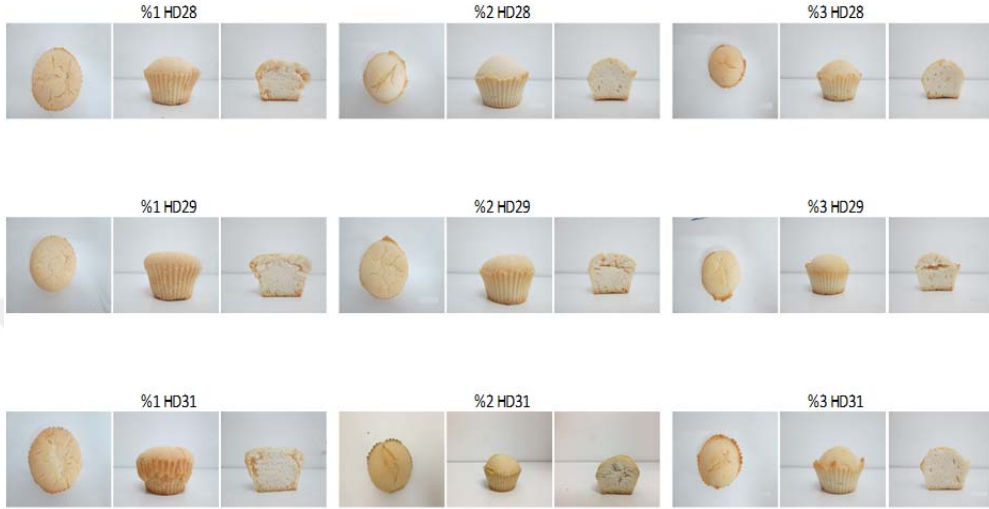
EK 2. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonları Kullanılarak Üretilen Düşük Protein İçerikli Kek Örnekleri

EK 2'nin devamı



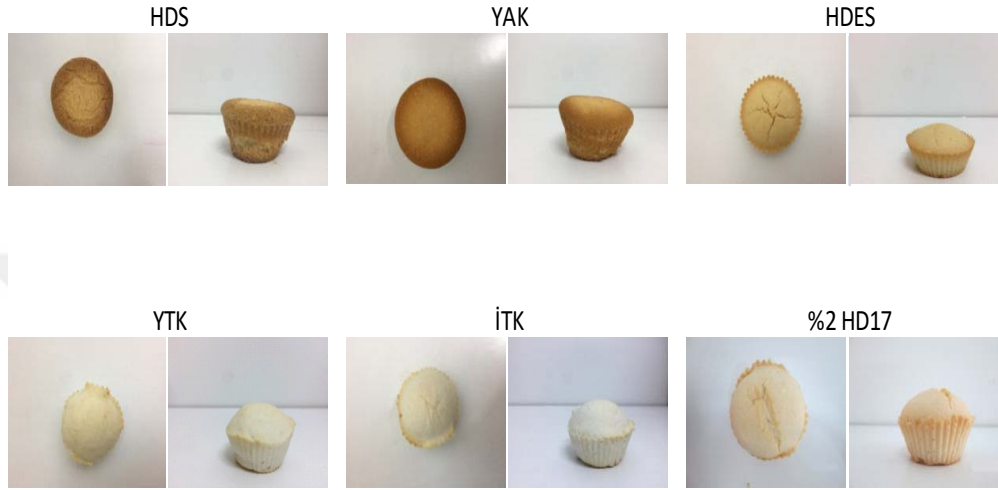
EK 2. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonları Kullanılarak Üretilen Düşük Protein İçerikli Kek Örnekleri

EK 2'nin devamı



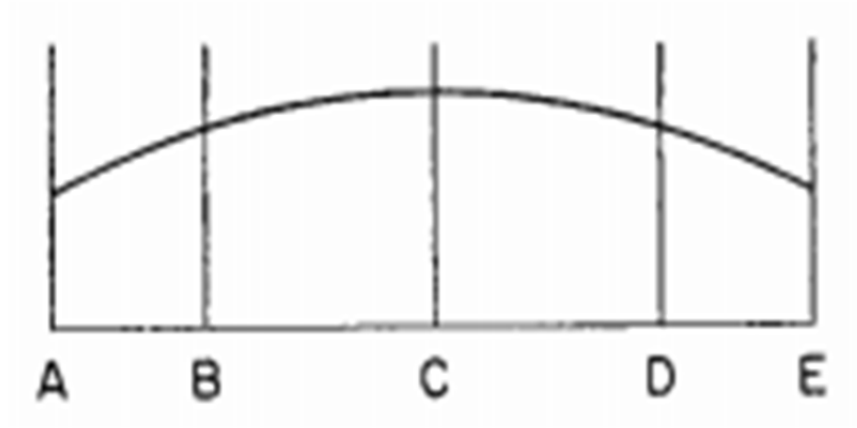
EK 2. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonları Kullanılarak Üretilen Düşük Protein İçerikli Kek Örnekleri

EK 3



EK 3. Çalışmanın İkinci Aşamasında Üretilen Kek Örnekleri

EK 4



EK 4. Keklerin Yapısal Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Ölçüm Şablonu (AACC 10-91.01).

EK 5

DUYUSAL ANALİZ FORMU HEDONİK TEST

Panelistin Adı-Soyadı:

Tarih:..../..../.....

Açıklama: Size verilmiş olan 718, 342, 136, 493, 572, 613 numune kodlu 6 adet, yumurtasız kek örneğini, aşağıda verilen kriterler doğrultusunda, en az 1 ve en yüksek 5 puan olmak üzere 1 ile 5 arasında puan vererek kalite kriterleri açısından değerlendiriniz. Belirlenen parametreler aşağıdaki puanlama testine göre değerlendirilecektir.

Örnekler arasında ağızınızı su ile çalkalayınız.

Teşekkür ederiz.

Kriterler:

Görünüm: Homojen, düzgün ve sık gözenek yapısı ile yüksek hacimli olmasına göre değerlendirilmelidir.

Renk: Parlak, açık kahverengi kabuk renk ve beyaz kek içi rengine sahip olmasına göre değerlendirilmelidir. Kabuk rengi dağılımı homojen olmalıdır.

Tekstür: Dokunma duyusu ile geometrik (yumuşaklık); ağızda ise kinestetik olarak mekanik özelliklerine (sertlik, yapışkanlık, esneklik) göre değerlendirilmelidir. Yumuşak, kolay çiğnenebilir nitelikte olmalıdır.

Tat: Arzu edilen ve kekin kendine özgü tat niteliğine göre değerlendirilmelidir.

Puan Değeri ile İlgili Açıklamalar:

1 = Çok Kötü; 2 = Kötü; 3= Orta; 4 = İyi; 5 = Çok İyi

EK 5. Duyusal Analiz Formu

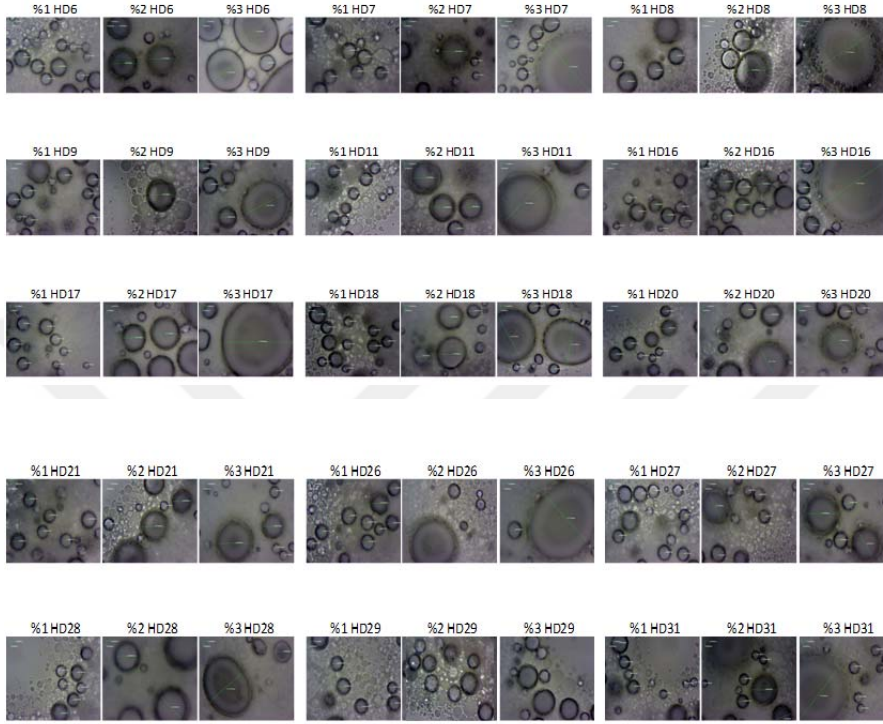
Ek 5'in devamı

ÖRNEK KODU	KEK KALİTE KRİTERLERİ					
	GÖRÜNÜM		RENK	TEKSTÜR	TAT	GENEL BEĞENİ
	Hacim	Kek İçi Gözenek Yapısı				

Örneklerle ilgili belirtmek istediğiniz husus ve düşünceleriniz:

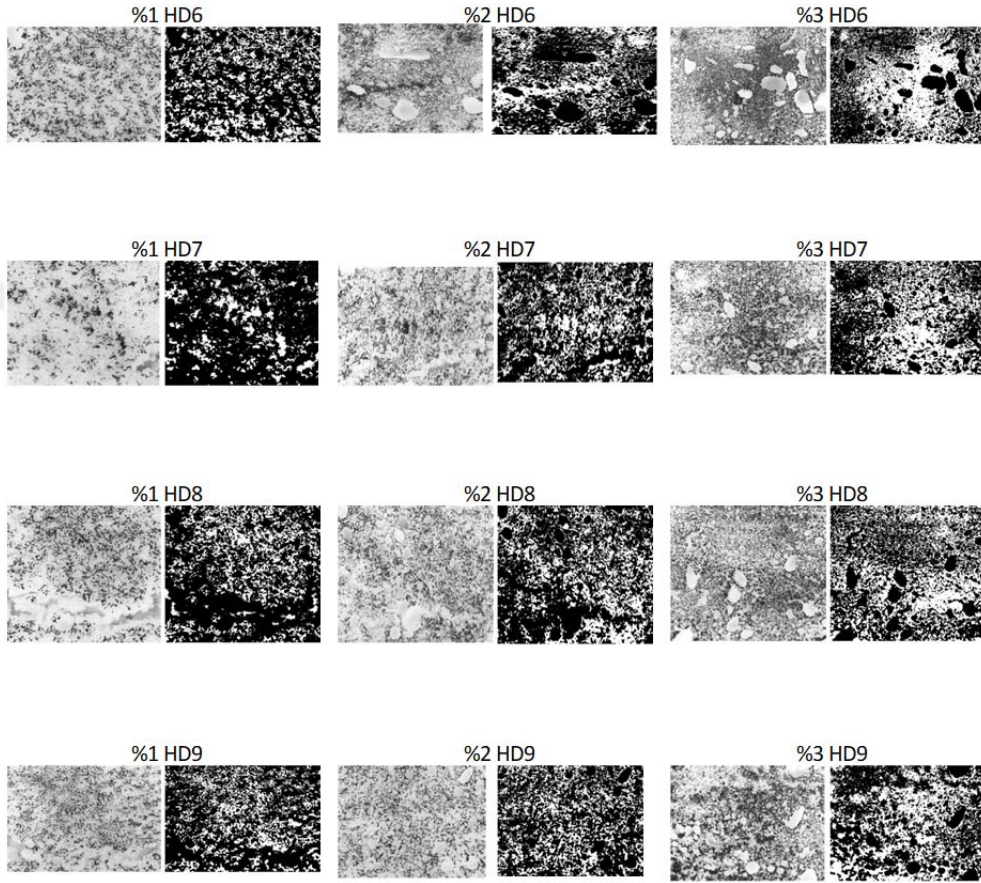
EK 5. Duyusal Analiz Formu

EK 6



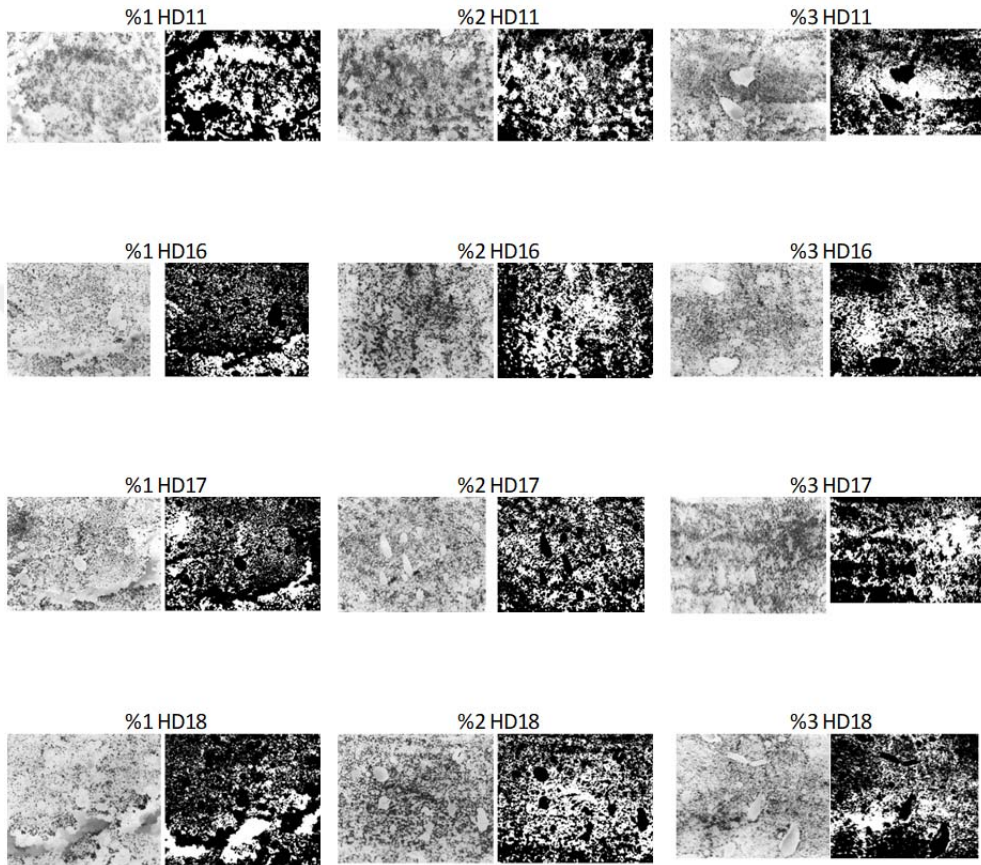
EK 6. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonları Kullanılarak Üretilen Hamurların Hava Kabarcığı Dağılımı

EK 7



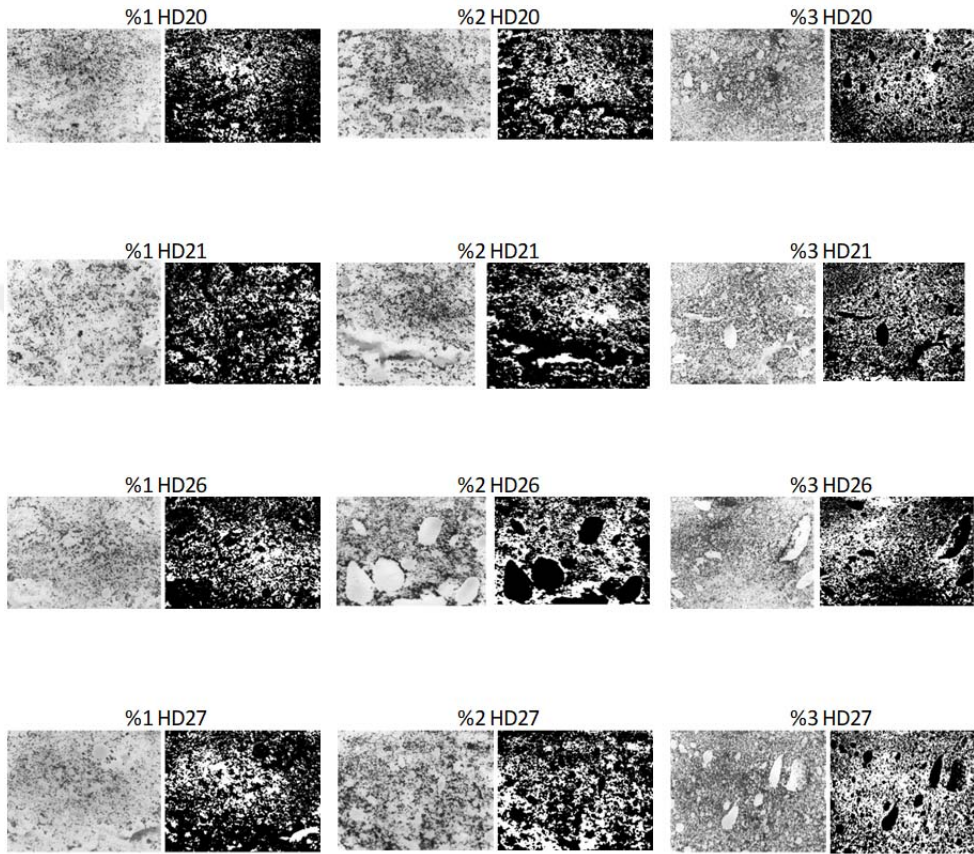
EK 7. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonları Kullanılarak Üretilen Keklerin Eşik Değer Belirleme Algoritmasına İlişkin Görseller

EK 7'nin devamı



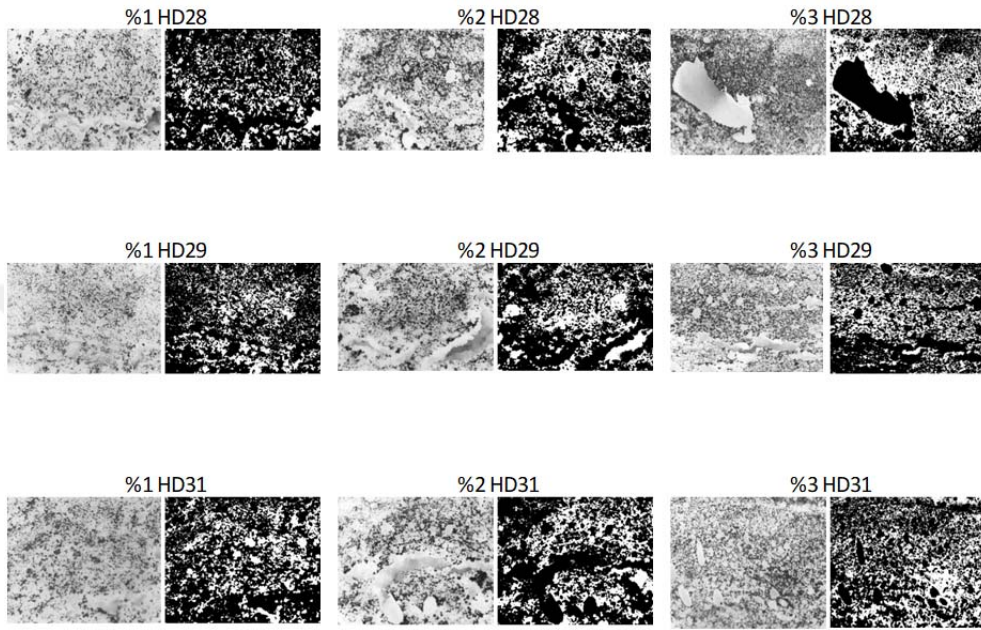
EK 7. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonları Kullanılarak Üretilen Keklerin Eşik Değer Belirleme Algoritmasına İlişkin Görseller

EK 7'nin devamı



EK 7. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonları Kullanılarak Üretilen Keklerin Eşik Değer Belirleme Algoritmasına İlişkin Görseller

EK 7'nin devamı



EK 7. Farklı Hidrokolloid Kombinasyonu ve Konsantrasyonları Kullanılarak Üretilen Keklerin Eşik Değer Belirleme Algoritmasına İlişkin Görseller