



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



FARKLI ŞEKER İKAMELERİNİN KEKLERİN KALİTE ÖZELLİKLERİ VE HİDROKSİMETİL FURFURAL (HMF) DÜZEYLERİNE ETKİSİ

Rana Nagihan AKDER

**BESLENME ve DİYETETİK ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

DANIŞMAN

Prof. Dr. Funda Pınar ÇAKIROĞLU

ANKARA

2023

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI ŞEKER İKAMELERİNİN KEKLERİN KALİTE
ÖZELLİKLERİ VE HİDROKSİMETİL FURFURAL (HMF)
DÜZEYLERİNE ETKİSİ

Rana Nagihan AKDER

BESLENME ve DİYETETİK ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Funda Pınar ÇAKIROĞLU

İKİNCİ DANIŞMAN

Doç. Dr. Özlem ÇAĞINDI

ANKARA

2023

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Doktora tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Farklı Şeker İkamelerinin Keklerin Kalite Özellikleri ve Hidroksimetil Furfural (HMF) Düzeylerine Etkisi” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Rana Nagihan AKDER
Tarih: 30.10.2023
İmza:

KABUL ve ONAY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalında
Rana Nagihan AKDER tarafından hazırlanan
“Farklı Şeker İkamelerinin Keklerin Kalite Özellikleri ve
Hidroksimetil Furfural (HMF) Düzeylerine Etkisi” adlı
tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından DOKTORA TEZİ olarak OY BİRLİĞİ ile
kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 30.10.2023

Prof. Dr. Funda Pınar ÇAKIROĞLU
Ankara Üniversitesi
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Alev KESER
Ankara Üniversitesi
Üye

Doç. Dr. Recı MESERİ
Ege Üniversitesi
Üye

Doç. Dr. Nural ERZURUM ALİM
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Volkan YILMAZ
Ankara Üniversitesi
Üye

Tez hakkında alınan jüri kararı, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu tarafından onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fügen AKTAN
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Farklı Şeker İkamelerinin Keklerin Kalite Özellikleri ve Hidroksimetil Furfural (HMF) Düzeylerine Etkisi

Artmış şeker tüketiminin obezite ve tip 2 diyabet, metabolik sendrom, kardiyovasküler hastalıklar gibi birçok sağlık sorunu ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Günümüzde insanların sağlıkları hakkında daha fazla endişe duymaya başlamaları gıdalarda arzulan tatlı tadı oluşturacak daha sağlıklı alternatifleri araştırarak çalışmaların hız kazanmasına neden olmuştur. Özellikle biyoaktif bileşenler bakımından zengin geleneksel tatlandırıcı kategorisinde yer alan bitki şurupları, suları, özleri, konsantreleri gıda sanayisinde ve evlerimizde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Şeker ikamesi olarak kullanılan bazı geleneksel tatlandırıcıların (sıvı stevia, agave şurubu, hurma suyu, elma suyu konsantresi) keklerde kullanım olanaklarını fiziksel (renk, tekstür, yapısal özellikler, pişme kaybı ve verim), kimyasal (pH, aw, genel kimyasal bileşim, HMF), duyu analiziyle araştırmak ve unlu mamullerdeki en önemli kimyasal kirleticilerden biri olarak kabul edilen HMF üzerine etkisini incelemek bu çalışmanın amacını oluşturmuştur. Standart reçetenin belirlenmesinin ardından kullanılan geleneksel tatlandırıcıların sükroza ikame edilecek miktarlarının belirlenmesinde ürün bilgisinde yer alan kullanım önerileri dikkate alınmıştır. Tüm kimyasal, fiziksel ve duyu analizler için ortalamalar ‘One Way ANOVA’ testi ile değerlendirilmiş; Tukey/Tamhane çoklu karşılaştırma testleri uygulanmıştır. HMF ile kahverengileşme indeksi ve L^* arasındaki ilişki Spearman korelasyon testi ile değerlendirilmiştir. p değerinin 0,05’ten küçük olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Çalışma sonucunda ikame kullanılan bütün keklerin kontrol grubuna (sükroz) göre hesaplanan iç ve kabuk rengi toplam renk değişimleri gözle fark edilebilir düzeydedir ($\Delta E > 3$). İkame kullanılan bütün keklerin kontrol grubuna kıyasla anlamlı olarak sertlik değeri, pişme kaybı, su aktivitesi ortalamaları yüksek; hacim ve simetri indeksi ortalamaları düşüktür ($p < 0,05$). Sükrozun geleneksel tatlandırıcılarla %100 oranında ikame edilmesi keklerin enerji ve karbonhidrat içeriklerini anlamlı olarak düşürmüştür ($p < 0,05$). Şeker ikameleri arasında en düşük HMF düzeyine sahip sıvı stevia ($2,87 \pm 0,21$ mg/kg) ile tatlandırılan kek ($16,70 \pm 4,18$ mg/kg) en düşük HMF düzeyine, en yüksek HMF düzeyine sahip hurma suyu ($3457,00 \pm 49,69$ mg/kg) ile tatlandırılan kek ($405,55 \pm 29,70$ mg/kg) en yüksek HMF düzeyine sahiptir. Yalnızca sıvı stevia ile tatlandırılan kekin HMF içeriği kontrol grubundan ($61,48 \pm 11,78$ mg/kg) düşüktür ve bu düşüş istatistiksel olarak da anlamlıdır ($p < 0,05$). HMF düzeyi ile kahverengileşme indeksi ve L^* değeri arasında istatistiksel olarak anlamlı (sırasıyla $p = 0,009$, $p = 0,002$) orta düzeyli (sırasıyla $r = 0,420$, $r = (-0,493)$) bir ilişki bulunmuştur. Kontrol grubu duyu analizinde her parametre için en yüksek puana sahiptir. Kontrol grubuna en yakın duyu analiz puanları ise stevia ile tatlandırılan keke aittir. Çalışmamızda agave şurubu, hurma suyu ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan keklerin tüm parametreler için duyu analiz puanı benzer ($p > 0,05$) ve diğer gruplardan düşüktür ($p < 0,05$). Bütün analizler değerlendirildiğinde stevia ile tatlandırılan kek düşük HMF içeriği ve diğer ikamelere kıyasla yüksek duyu analiz puanları ile en iyi alternatif olarak görünmektedir. Şeker ikamelerinin tatlılık oranlarının belirlenmesi, unlu mamullerde kullanım olanaklarının araştırılması, kalite ve duyu özelliklerinde iyileşme gösterecek şekilde yeni formülasyonların geliştirilmesi amacıyla yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Sözcükler: duyu analiz, hidroksimetil furfural, kek kalitesi, şeker ikamesi

SUMMARY

The Effect of Different Sugar Substitutes on Quality Characteristics and Hydroxymethyl Furfural (HMF) Levels of Cakes

Increased sugar consumption is known to be associated with obesity and many health problems such as type 2 diabetes, metabolic syndrome, cardiovascular diseases. Nowadays, people are becoming more concerned about their health, which has led to the acceleration of studies investigating healthier alternatives that will create the desired sweet taste in foods. Especially plant syrups, juices, extracts, concentrates, which are in the category of traditional sweeteners rich in bioactive components, have started to be used frequently in the food industry and in our homes. The aim of this study was to investigate the usage possibilities of some traditional sweeteners (liquid stevia, agave syrup, date juice, apple juice concentrate) used as sugar substitutes in cakes by physical (colour, texture, structural properties, baking loss and yield), chemical (pH, aw, general chemical composition, HMF) and sensory analyses and to investigate their effect on HMF which is considered as one of the most important chemical contaminants in bakery products. After determining the standard recipe, the usage recommendations in the product information were taken into consideration in determining the amounts of traditional sweeteners to be substituted for sucrose. Means for all chemical, physical and sensory analyses were evaluated by 'One Way ANOVA' test and Tukey/Tamhane multiple comparison tests were applied. The relationship between HMF and browning index and L^* was evaluated by Spearman correlation test. p value less than 0,05 was considered statistically significant. As a result of the study, the total colour changes of the inner and crust colour of all substituted cakes compared to the control group (sucrose) were visually noticeable ($\Delta E > 3$). Hardness value, baking loss, water activity means of all substituted cakes were significantly higher and volume and symmetry index means were lower ($p < 0,05$) compared to the control group. The 100% substitution of sucrose with conventional sweeteners significantly decreased the energy and carbohydrate contents of the cakes ($p < 0,05$). Among the sugar substitutes, the cake sweetened with liquid stevia ($2,87 \pm 0,21$ mg/kg) (which has the lowest HMF level) had the lowest HMF level ($16,70 \pm 4,18$ mg/kg) and the cake sweetened with date juice ($3457,00 \pm 49,69$ mg/kg) (which has the highest HMF level) had the highest HMF level ($405,55 \pm 29,70$ mg/kg). The HMF content of the cake sweetened only with liquid stevia was lower than the control group ($61,48 \pm 11,78$ mg/kg) and this was statistically significant ($p < 0,05$). A statistically significant ($p = 0,009$, $p = 0,002$ respectively) and moderate ($r = 0,420$, $r = (-0,493)$, respectively) correlation was found between HMF level, browning index and L^* value. The control group had the highest score for each parameter in sensory analysis. The closest sensory analysis scores to the control group belong to the cake substituted with stevia. In our study, the sensory analysis scores of the cakes sweetened with agave syrup, date juice and apple juice concentrate were similar for all parameters ($p > 0,05$) and lower than the other groups ($p < 0,05$). When all analyses were evaluated, the cake sweetened with stevia seems to be the best alternative with low HMF content and high sensory analysis scores compared to other substitutes. Further studies are needed to determine the sweetness ratios of sugar substitutes, to investigate the possibilities of their use in bakery products and to develop new formulations to improve quality and sensory properties.

Keywords: cake quality, hydroxymethyl furfural, sensory analysis, sugar substitutes

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
Özet	iv
Summary	v
İçindekiler	vi
Önsöz	viii
Simgeler ve Kısaltmalar	ix
Şekiller	xi
Çizelgeler	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Keklerin Temel Bileşenleri	2
1.1.1. Yumurta	4
1.1.2. Un	5
1.1.3. Yağ	5
1.1.4. Şeker	5
1.2. Şeker İkameleri, Tatlandırıcılar ve Unlu Mamuller	6
1.2.1. Şeker İkameleri ve Tatlandırıcılar	6
1.2.2. Şeker İkamelerinin Unlu Mamullerde Kullanımı	9
1.3. 5-Hidroksimetil Furfural (HMF)	11
1.3.1. HMF'nin Yapısı, Özellikleri ve Sağlık Etkileri	12
1.3.2. HMF'nin Oluşum Mekanizmaları	14
1.3.3. HMF Oluşumunu Etkileyen Etmenler	16
1.4. Unlu Mamullerde Farklı Şeker İkamelerinin Keklerin Kalite Özelliklerine ve HMF Miktarına Etkisine Yönelik Yapılan Çalışmalar	17
2. GEREÇ ve YÖNTEM	21
2.1. Yöntem	21
2.1.1. Kek Hamurunun Hazırlanışı	21
2.1.2. Kek Hamurunun Pişirilmesi	23
2.2. Analizler	25
2.2.1. Renk Analizi	26
2.2.2. Tekstür Profil Analizi	26
2.2.3. Yapısal Özellikler	27
2.2.4. Pişme Kaybı ve Kek Verimi	28
2.2.5. pH Tayini	28
2.2.6. Su Aktivitesi (aw) Tayini	28
2.2.7. Nem Tayini	29
2.2.8. Kül Analizi	29
2.2.9. Karbonhidrat Tayini	29
2.2.10. Lif Tayini	29
2.2.11. Protein Tayini	29
2.2.12. Ham Yağ Tayini	30
2.2.13. Enerji Değeri	30
2.2.14. HMF Tayini	30
2.2.15. Duyusal Analiz	32
2.2.16. İstatistiksel Analiz	33

3. BULGULAR	34
3.1. Keklerin Fiziksel Analizleri	34
3.1.1. Renk Analizi Sonuçları	34
3.1.2. Keklerin Sertlik Değerleri	37
3.1.3. Keklerin Yapısal Özellikleri (Hacim, Simetri ve Tekdüzelik İndeksleri)	37
3.1.4. Pişme Kaybı ve Kek Verimi	38
3.2. Keklerin Kimyasal Analizleri	39
3.2.1. Keklerin pH Analizi Sonuçları	39
3.2.2. Keklerin Su Aktivitesi (aw) Analizi Sonuçları	39
3.2.3. Keklerin Nem, Kül, Makro Besin Ögesi ve Enerji Analizi Sonuçları	40
3.2.4. Keklerin ve Kullanılan Şeker İkamelerinin HMF Analizi Sonuçları	42
3.3. Keklerin Duyusal Analiz Sonuçları	48
4. TARTIŞMA	50
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	68
EKLER	85
Ek-1 Şekil Kullanım İzni	85
Ek-2 Etik Kurul Onayı	87
Ek-3 Duyusal Analiz Formu	89
Ek-4 Gönüllü Olur Formu	90
ÖZGEÇMİŞ	93

ÖNSÖZ

Aşırı basit şeker tüketimi ile birçok kronik hastalık arasındaki yakın ilişkinin açığa çıkarılmasıyla şeker ikameleri merak edilen bir konu haline gelmiştir. Özellikle daha düşük enerji değerine sahip olmaları, kolay erişilebilmeleri ve daha sağlıklı olduğu düşüncesi bitki özlerinden elde edilen şurup vb. şeker ikamelerinin geleneksel tarifelerde de sıklıkla yer almasına neden olmuştur. Bu ürünlerin keklerde kullanım olanaklarını ve kullanımlarının zararlı olduğu bilinen 5-hidroksimetil furfural miktarına etkisini araştırmak bu tezin amacını oluşturmuştur.

Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca hem manevi hem akademik anlamda bana destek olan, danışman hocam olmasından her zaman gurur duyduğum Prof. Dr. Funda Pınar ÇAKIROĞLU'na ve onun nezdinde üzerimde büyük emekleri olan Ankara Üniversitesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü öğretim elemanlarına teşekkürlerimi sunarım. Eş danışmanım olmayı kabul edip gıda kimyası alanında bütün bilgi ve tecrübesini esirgemeyerek kendimi geliştirmeme olanak sağlayan Doç. Dr. Özlem ÇAĞINDI'ya ve onun nezdinde tezimin verilerinin analizi sırasında her türlü yardım talebimi güler yüzle karşılayan Arş. Gör. Emine ERDAĞ AKCA ve Arş. Gör. Dilay YILDIZ başta olmak üzere Manisa Celal Bayar Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına teşekkür ederim.

Bilgi ve tecrübeleriyle yoluma her daim ışık tutan Doç. Dr. Recı MESERİ, Doç. Dr. Özge KÜÇÜKÖRDÖNMEZ ve Dr. Öğr. Üyesi Murat URHAN hocalarıma, tezimin her aşamasında bana motivasyon sağlayan sevgili arkadaşlarım Öğr. Gör. Dr. Ezgi KARATAŞ ve Arş. Gör. Ceren AKANALCI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora eğitimimim boyunca maddi açıdan '2211-E Doğrudan Yurt İçi Doktora Burs Programı' kapsamında beni destekleyen bilim ve bilim insanının destekçisi TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Son olarak; her zaman arkamda olduklarından emin olduğum canım aileme, doktora eğitimim boyunca bana evini açan SERT ailesine, hiçbir fedakarlıktan kaçınmayarak akademik anlamda gelişime yardımcı olan eşim Orhan AKDER'e ve varlığıyla en büyük desteği sunan canım oğlum Atahan AKDER'e teşekkürlerimi sunarım.

SİMGELER ve KISALTMALAR

%	Yüzde
°C	Santigrat Derece
a^*	Yeşillik-Kırmızılık
BI	Browning Index (Kahverengileşme İndeksi)
AACC	American Association for Cereal Chemistry (Amerikan Tahıl Kimyagerleri Birliği)
ADI	Acceptable Daily Intake (Kabul Edilebilir Günlük Alım Düzeyi)
AGE	İleri Glikasyon Son Ürünleri
AOAC	The Association of Official Analytical Chemists (Resmi Analitik Kimyacılar Birliği)
a_w	Water activity (Su aktivitesi)
b^*	Mavilik-Sarılık
C^*	Chroma
CIE	International Commission on Illumination (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
cm	Santimetre
ΔE	Renk Değişimi
dk	Dakika
DNA	Deoksiribonükleik Asit
EFSA	The European Food Safety Authority (Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi)
FDA	Food and Drug Administration (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi)
g	Gram
HMF	5-Hidroksi Metil Furfural
h°	Hue Açısı
kg	Kilogram

kkal	Kilokalori
L	Litre
L^*	Siyahlık-Beyazlık
mg	Miligram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
Ort	Ortalama
pH	Power of Hidrojen (Hidrojen Gücü)
s	Saniye
SMF	5 Sülfoksi Metil Furfural
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı)
SS	Standard Sapma
TDI	Tolerable Daily Intake (Tolere Edilebilir Günlük Alım Düzeyi)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
3-DG	3-deoksiglukozon
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

ŞEKİLLER

Şekil 1.1.	HMF'nin kimyasal yapısı	12
Şekil 1.2.	Maillard reaksiyonu ile glikoz (a) ve fruktozdan (b), karamelizasyon yoluyla fruktofuronozil katyonundan (c) HMF oluşumunun reaksiyon şemaları	15
Şekil 2.1.	Şeker ikamesi olarak kullanılan ürünler	23
Şekil 2.2.	İki tekerrür üretilen keklerin dış görünüşleri	24
Şekil 2.3.	İki tekerrür üretilen keklerin iç görünüşleri	25
Şekil 2.4.	Çalışmada kullanılan kek kalıplarına göre modifiye edilmiş kek ölçüm şablonu	27
Şekil 2.5.	Standart HPLC kromatogramı	31
Şekil 2.6.	HMF standardının kalibrasyon grafiği	31
Şekil 2.7.	Duyusal analiz tabak örneği	32
Şekil 3.1.	Sıvı stevia örneğine ait HMF kromatogramı	43
Şekil 3.2.	Agave şurubu örneğine ait HMF kromatogramı	44
Şekil 3.3.	Hurma suyu örneğine ait HMF kromatogramı	44
Şekil 3.4.	Elma suyu konsantresi örneğine ait HMF kromatogramı	45
Şekil 3.5.	Sükroz ile tatlandırılmış kek (SKR) örneğine ait HMF kromatogramı	45
Şekil 3.6.	Sıvı stevia ile tatlandırılmış kek (STV) örneğine ait HMF kromatogramı	46
Şekil 3.7.	Agave şurubu ile tatlandırılmış kek (AGV) örneğine ait HMF kromatogramı	46
Şekil 3.8.	Hurma suyu ile tatlandırılmış kek (HRM) örneğine ait HMF kromatogramı	47
Şekil 3.9.	Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek (ELM) örneğine ait HMF kromatogramı	47
Şekil 3.10.	Keklere ait duyusal analiz sonuçları	49

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1.	Tatlandırıcıların sınıflandırılması	8
Çizelge 2.1.	Çalışmada üretilen keklerin formülasyonları	22
Çizelge 2.2.	Şeker ikamesi olarak kullanılan ürünlerin etiket bilgileri	22
Çizelge 2.3.	HMF analizi için HPLC cihazının kromatografik şartları	30
Çizelge 3.1.	Keklerin iç renk analizi değerleri	36
Çizelge 3.2.	Keklerin kabuk rengi analizi değerleri	36
Çizelge 3.3.	Keklerin sertlik analizi sonuçları	37
Çizelge 3.4.	Keklerin hacim, simetri ve tekdüzelik indeks değerleri	38
Çizelge 3.5.	Keklerin pişme kaybı (%) ve kek verimi (%) analizleri	39
Çizelge 3.6.	Keklerin pH analizi sonuçları	39
Çizelge 3.7.	Keklerin su aktivitesi analizi sonuçları	40
Çizelge 3.8.	Keklerin temel kimyasal bileşimi	42
Çizelge 3.9.	Şeker ikamelerinin ve keklerin HMF içerikleri	43
Çizelge 3.10.	Kek kabuğunun kahverengileşme indeksi ile HMF arasındaki korelasyon	48
Çizelge 3.11.	Keklerin duyu analizi sonuçları	49

1. GİRİŞ

Rafine şeker, şeker kamışından veya şeker pancarından elde edilen ve %99,0 oranında süktroz içeren işlenmiş bir üründür. Modern toplumlarda şeker, yalnızca aroması ve tatlandırıcı özelliğiyle değil; aynı zamanda koruyucu, hacim arttırıcı, tekstüre edici, nemlendirici rolüyle de tanınan önemli bir maddedir (Arshad vd., 2022; Manickvasagan vd., 2017). Gıdalardaki önemli rolleri yanı sıra aşırı basit şeker tüketimi obezite, metabolik sendrom, tip 2 diyabet, kanser gibi sağlık sorunlarıyla ilişkili bulunmuştur (Arshad vd., 2022). Günümüzde tüketiciler sağlıkları hakkında daha fazla endişe duymaya ve dolayısıyla sağlıklı yiyecek ve/veya içeceklerle daha fazla ilgi duymaya başlamıştır. Bu amaçla birçok gıdada şeker miktarının düşürülmesi öncelikli hedefler arasında yerini almıştır (Arshad vd., 2022; Curi vd., 2017). Süktrozun yerini alacak, tatlı tada sahip daha doğal ve daha sağlıklı alternatif bulma çalışmaları da hız kazanmıştır (Curi vd., 2017).

İnsan sağlığı açısından güvenli kabul görülmeleri, birçok koşulda stabil olmaları ve düşük enerji içerikleri (ya da enerji içermemeleri) sayesinde şeker ikameleri, yiyecek ve içecek endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Xu vd., 2022). Doğal kaynaklardan elde edilen şekerler (rafine edilmemiş şeker) çeşitli biyoaktif bileşikler, mineraller, lifler, antioksidanlar ve fitokimyasalları da yapılarında içerir. Bu moleküller sayesinde rafine edilmemiş şekerlerin rafine şekerler ile ikame edilmesinin sağlık üzerinde olumlu etkilerinin olabileceği düşünülmüş ve doğal şeker ikamelerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlayan çalışmalar da hız kazanmıştır (Lee vd., 2018; Mora ve Dando, 2021). Bu tip şeker ikameleri katı, sıvı veya yarı sıvı formda bulunabilmektedir (Arshad vd., 2022).

5-hidroksimetil furfural (HMF), gıdaların ısıtılma işlemleri sırasında Maillard reaksiyonunun ara maddesi olarak veya asidik koşullar altında şeker dehidrasyon reaksiyonu sonucunda oluşan furanik bir bileşiktir (Capuano ve Fogliano, 2011). Furan ve furan türevi bileşikler, gıdalarda çoğunlukla 150 °C ile 200 °C'de konserve etme, pişirme, fırınlama ve kavurma gibi ısıtılma işlemleri sırasında oluşmaktadır. Bu nedenle kahve, bebek mamaları, konserve, unlu mamuller gibi çeşitli gıda maddelerinde bulunmaktadır (Cincotta vd., 2021; Crews ve Castle, 2007). Bu bileşikler mutajenik, karsinojenik ve sitotoksik etki göstermektedir (Teng vd., 2021). İşlenmiş gıdalarda depolama süresini tayin etmek, uygulanan ısıtılma işleminin standartlara uyumunu belirlemek amacıyla kullanılır ve bu nedenle kalite parametresi olarak da kabul görmektedir (Cincotta vd., 2021).

Bisküvi, kurabiye ve kek gibi unlu mamuller dünyada en çok tüketilen besinlerin başında gelmektedir (Zhang vd., 2012). Bu nedenledir ki basit şeker tüketimini arttıran yiyecek ve içeceklere bakıldığında şekerli içeceklerden hemen sonra %10,0-45,0 şeker içerikleri ile bisküvi, kek gibi unlu mamullerin geldiği belirtilmiştir (Guallar-Castillón vd., 2013; Sahin vd., 2019; Wilderjans vd., 2013). Şeker tüketimini azaltmak için unlu mamullerdeki şeker miktarının azaltılması ilk başta akla gelmektedir. Fakat; unlu mamullerde şekerin tatlılık ve aroma sağlamak haricinde birçok işlevi bulunması dolayısıyla şekerin azaltılması oldukça zordur (Clemens vd., 2016).

Keklerde şeker/şeker ikamesi türü, pH, pişirme sıcaklığı ve süresi gibi faktörler HMF oluşumunu etkilemektedir (Zhang vd., 2012). HMF'nin gıda güvenliği ve insan sağlığını olumsuz etkilediği bir gerçektir. Bu nedenle gıdalarda üretim ve depolama sırasında oluşan HMF miktarının belirlenmesi ve azaltılmasına yönelik çalışmaların yapılması bir gereklilik halini almıştır (Batu vd., 2014). Literatürde bitki özlerinin (hurma suyu, elma suyu konsantresi, agave şurubu, sıvı stevia) şeker ikamesi olarak unlu mamullerde kullanımının en önemli kimyasal kirleticilerden biri olarak kabul edilen HMF'ye (Petisca vd., 2014) olan etkisini karşılaştıran herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Marketlere ve çevrim içi alışveriş sitelerine bakıldığında günümüzde kolaylıkla bu tip şeker ikamelerine erişilebildiği görülmektedir. Buradan sanayide kullanımlarının yanı sıra evlerimizdeki tarifelerde de yaygın olarak kullanılmaya başlandığı yorumu çıkarılabilmektedir. Özellikle pankek, kek, kurabiye gibi unlu mamullerde basit şekerin yerine çeşitli bitki özlerinin veya onların kullanımının günden güne arttığı gözlenmektedir. Buradan hareketle çeşitli bitki özlerinin şeker ikamesi olarak kek formülasyonlarında kullanımının keklerin HMF düzeyine ve kalite özelliklerine olan etkisini incelemek bu çalışmanın özgünlüğünü oluşturmuştur.

1.1. Keklerin Temel Bileşenleri

Unlu mamuller tüm dünyada en fazla tüketilen gıdaların başında gelmektedir. Unlu mamuller arasında yer alan kek türleri kolay hazırlanabilmeleri, organoleptik özellikleri, yumuşak dokusu ve erişilebilirliğinin kolay olması sayesinde her yaş grubunda oldukça popülerdir (de Borba vd., 2023; Kaur ve Kaur, 2018; Matsakidou vd., 2010). Global kek pazarının yıllık %3,33'lük büyüme payıyla 2028 senesinde 94,70 milyar dolarlık yere sahip olacağı belirtilmiştir (Mordor Intelligence, 2023).

Çok çeşitli kek formülasyonlarının bulunması veya farklı kültürlerde farklı tanımlara yer verilmesi standart bir kek tanımı oluşturmayı zorlaştırmıştır (Demir, 2020; Wilderjans vd., 2013). Kekler temelde yumurta, şeker, yağ, un ve kabartıcı maddelerden oluşan bir çeşit unlu mamuldür. Nem içerikleri %18,0 ile %28,0 arasındadır ve bu nedenle kekler ekmeğinkinden daha düşük, kurabiyeninkinden daha yüksek nem içeriğine sahiptir (Bennion ve Bamford, 1997; Rodríguez García vd., 2013; Wilderjans vd., 2013). Başka bir tanımlamaya göre kek; %8,0 - %9,0 protein içeriğine sahip ince çekilmiş yumuşak buğday ununa yağ, süt, şeker ve yumurta ilavesi ile elde edilen hamurun uygun yöntemle pişirilmesi sonucu oluşan gıda maddesidir (Ertugay, 1992; Rodríguez García vd., 2013). Türk Standartları Enstitüsü'ne (TSE) göre kek; un (buğday veya diğer tahıllardan elde edilen) ve/veya karışımları, beyaz şeker, yemeklik bitkisel yağ, yumurta, tuz, kabarma sağlayıcı maddeler, çeşni maddeleri, dolgu maddeleri ve diğer katkı maddelerinin, su eklenerek karıştırıldıktan sonra tekniğine uygun biçimde işlenerek şekil verilmesi ve pişirilmesi suretiyle hazırlanan ürünler olarak tanımlanmaktadır (Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2008).

Kek yapımı genel olarak 4 aşamadan oluşmaktadır: 1) Malzeme miktarlarının ayarlanması ve hazırlık 2) Karıştırma 3) Pişirme 4) Soğutma. (Pycarelle ve Delcour, 2021; Wilderjans vd., 2013). Pişirme kendi içerisinde erken ve geç pişme olarak gruplandırılmaktadır. Erken pişme sırasında sıcaklık yükselmekte, nem kaybolmakta, gaz hücreleri genişlemekte ve hamurun viskozitesi düşmektedir. Geç pişme sırasında ise nişasta jelatinizasyonu ile protein polimerizasyonunun sonucu olarak sıvı köpük yapı katılaşmakta, süngerimsi bir hal almaktadır (Pycarelle ve Delcour, 2021). Soğutma aşamasında gazlar daha az hacim kaplar, nem kaybolur, kek büzülür ve amiloz kristalleşir. Soğuma esnasında kek matrisinin gücü, jelatinize olmuş nişastaya ve çapraz bağlı proteinlere bağlıdır (Pycarelle ve Delcour, 2021).

Kekler yapım şekline göre köpük (foam type) veya hamur temelli (batter type) olarak gruplandırılabilir. İki türün arasında yer alan şifon tür (chiffon type) her iki türün de özelliklerini taşımaktadır. Köpük tipindeki keklerin yağ oranı toplam ağırlığın %0,1-%10,0'u kadardır. Hamur temelli keklerin yağ içerikleri (%10,0-%30,0) yüksektir ve hem yağ-sıvı hem de hava-sıvı fazlarını içermektedirler. Bileşenlerin miktarına göre ise kekler yüksek (high-ratio) ve düşük oranlı (low-ratio) kekler olarak gruplandırılmaktadır. Yüksek oranlı kekler undan daha fazla şeker içerirken; düşük oranlı kekler, undan daha az veya aynı miktarda şeker içermektedir (Godefroidt vd., 2019; Pycarelle ve Delcour, 2021; Wilderjans vd., 2013).

Kekin fizikokimyasal özellikleri hamur bileşenlerine bağlı olduğu için bu bileşenlerin fonksiyonlarının anlaşılması büyük önem taşımaktadır (Rodríguez García vd., 2013). Kek bileşenleri temelde yapıyı yumuşatan ve protein ağının oluşumuna katkıda bulunarak yapıyı sertleştiren maddeler olarak ikiye ayrılmaktadır. Un, yumurta akı, süt kuru maddeleri (kazein proteinleri) gibi bileşenler yapıya sertlik sağlarken; şeker, yağ ve yumurta sarısı gibi bileşenler yapıya yumuşaklık kazandırmaktadır (Van der Sman ve Renzetti, 2021).

Kaliteli bir kek homojen, yumuşak, gözenekli ve nemli bir yapı ile yüksek hacme sahip olmalıdır (Al-Dmoor, 2013; Chaiya ve Pongsawatmanit, 2011; Goh vd., 2019). Özellikle kullanılan hammaddelerin kalitesi ve bileşenlerin birbiri ile etkileşimi kekin kalitesini etkilemektedir (Chaiya ve Pongsawatmanit, 2011). Bileşenlerin birbiri ile sürekli etkileşim halinde olması kekteki bileşenlerin işlevselliğinin tek tek değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır (Heenan vd., 2010). Bu nedenle kek bileşenlerinin fonksiyonlarının henüz tam anlamıyla anlaşılamadığı ifade edilmiştir (Godefroidt vd., 2019).

1.1.1. Yumurta

Yumurta hamurda temel olarak kurutma, kabarma ve emülsifiye edici bileşen olarak görev almaktadır (Al-Dmoor, 2013). Elastikiyete, stabiliyeye, sıkı jellerin oluşumuna katkıda bulunduğu için tekstürel açıdan büyük önem taşımaktadır. Ayrıca kekin rengine katkıda bulunabilecek farklı besin öğelerini (protein, yağ, kolesterol, karotenoid dahil birçok vitamin ve mineral) içerdiği için renk oluşumunda da etkilidir (Ansorena vd., 2022; Koç vd., 2011; Saraç vd., 2022).

Yumurta beyazı proteinleri köpük oluşumu ve köpüğün stabilitesinden sorumludur. Globulin fraksiyonu köpük oluşumuna yardımcı iken, ovomüsün köpük devamlılığında görev almaktadır (Mine, 1995). Ovotransferrin-ovalbümin veya lizozim-ovomüsün etkileşimleri de köpük stabilitesinde etkili diğer protein türleridir (Hedayati,Jafari, vd., 2022). Hamurun ısıtılması ile yumurta proteinlerinin koagülasyonu ve nişastanın jelatinizasyonu hamurun katılıp kek halini almasını sağlamaktadır. Ovalbümin moleküller arası disülfid bağları oluşturabilen ve kek yapısını güçlendiren serbest tiyol grupları (-SH) bulundurmaktadır. Yumurta sarısı proteinleri ise -SH'nin disülfid (SS) bağlarına dönüşmesi sayesinde pıhtılaşma potansiyeline sahiptir (Doi ve Kitabatake, 2017; Hedayati,Jafari, vd., 2022; Hesso vd., 2015).

1.1.2. Un

Yumuşak dokulu istenilen özellikte bir kek eldesi için düşük proteinli (%7-9), düşük kül içeriğine sahip, yalnızca endospermden oluşan, partikül boyutu küçük ve nişasta zedelenmesi az olan yumuşak unlar tercih edilmelidir (Al-Dmoor, 2013; Van der Sman ve Renzetti, 2021).

Gluten proteinleri keklerde ekmekte olduğu gibi yapısal bir öge olarak yer almak yerine bağlayıcılık görevi görmektedir (Hesso vd., 2015). Gaz tutma, kırıntı yapısı ve kek hacmi büyük ölçüde undaki gluten proteininin kalitesine, miktarına ve karıştırma sırasında glutende meydana gelen değişimlere bağlıdır (Al-Dmoor, 2013). Gluten yumurta proteinleri ile çapraz bağ oluşumuna, hidrofobik veya elektrostatik etkileşimler yoluyla protein ağı oluşumuna katkı sağlamaktadır (Hedayati,Jafari, vd., 2022).

1.1.3. Yağ

Yağ; yağ-su emülsiyonuna havanın hapsedilmesinde, pişirme sırasında ısı transferinin sağlanmasında görev almaktadır. Nihai üründe ağızda nemli ve yumuşak bir his oluşmasına katkı sağlamaktadır (Al-Dmoor, 2013; Hesso vd., 2015). Hamurdaki gaz kabarcıklarının birleştirilmesine ve stabilize edilmesine yardımcı olarak hacmi olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca kekin yapısal ve dolayısıyla duyuşal özelliklerinin iyileşmesinde etkilidir (Ansorena vd., 2022).

1.1.4. Şeker

Şeker, keklere hoşş giden tatlı tadı vermenin yanı sıra arzu edilen duyuşal ve kalite ile ilgili özelliklerden de sorumludur. Koruyucu özelliğı sayesinde raf ömrünü uzatmaktadır. Kekin genel olarak yumuşak dokusu, tadı, rengi ve raf ömrü şekerin varlığıyla ilişkili özelliklerdir ve bu nedenle yerine başşka ikamelerin kullanılması büyük bir zorluk oluşturmaktadır (Beraldo vd., 2023; Dizlek vd., 2008; Gökçe vd., 2023).

Nişasta jelatinizasyonu ve proteinlerde meydana gelen değişimler nihai ürünün yapısını ve kalitesini tanımlamada önemli bir rol oynamaktadır. Şeker; protein denatürasyonunu ve nişasta jelatinizasyonunu ortamdaki erişilebilir su miktarını sınırlayarak etkileyebilme potansiyeline sahiptir (Hesso vd., 2015). Şekerin su tutma kapasitesi sayesinde gevşek ve viskozitesi artmış bir hamur elde edilir. Böylelikle gluten optimum elastikiyetine ulaşmaktadır

ve üretilen gazlar hamur içinde tutularak kabarma işlemi gerçekleşmektedir (Mariotti ve Lucisano, 2014).

Şeker kristal yapıda olması dolayısıyla hamurun hava hapsedme kapasitesini arttırarak hacme katkıda bulunmaktadır. Dağılmış damlacıklar arasındaki ara yüzey yoğunluğunu arttırarak kek hamurundaki emülsiyon ve köpük sistemini stabilize etmektedir. Viskozite artışı daha stabil köpük oluşmasını sağlamaktadır (Ansorena vd., 2022; Mariotti ve Lucisano, 2014; Van der Sman ve Renzetti, 2021). Düşük viskoziteli bir hamur, kabarmayı sağlayacak hava hücrelerini tutmakta yetersiz kalarak düşük hacimli bir kek oluşmasına neden olacaktır (Al-Dmoor, 2013). Köpüğün stabil olması sayesinde daha iyi gözenek yapısı oluşacak ve tesktürel özellikler olumlu yönde etkilenecektir. Ayrıca şeker, Maillard tepkimesi ve karamelizasyonda görev alarak tüketicinin unlu mamullere yönelik tercihini etkileyen kabuk rengi ve lezzet gibi temel duyuşal özelliklerin oluşmasına da katkı sunmaktadır (Petisca vd., 2014; Van der Sman ve Renzetti, 2021).

1.2. Şeker İkameleri, Tatlandırıcılar ve Unlu Mamuller

‘Şeker’ terimi birçok ifadeyi kapsayan genel bir terimdir. Örneğin; sofr şekerı büyük oranda şükroz iken; meyve suyu, bal ve tatlandırıcı şuruplar genellikle şükroz, glikoz, fruktoz ve farklı oligosakkaritleri içermektedir (Bayram ve Ozturkcan, 2022). Gıdalarda yapısı gereği doğal olarak bulunan şekerler sağlıklı ve dengeli beslenmenin temel bir bileşenidir. Eklenmiş şeker tanımı Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi’ne (FDA) göre ‘Gıdaların işlenmesi sırasında eklenen ya da bu şekilde paketlenen monosakkarit ve disakkaritleri, şurup veya bal veya konsantre meyve/sebze sularından gelen şekerleri’ içermektedir (US Food Drug Administration, 2023). Eklenmiş şeker, yiyecek ve içeceklerin duyuşal özelliklerini geliştirip tüketicilerin genel beğeni düzeyini arttırmaktadır. Bununla birlikte sağlık ve beslenme için tüketilmesi elzem olan besin öğeleri arasında yer almamaktadır (Bayram ve Ozturkcan, 2022; Fidler Mis vd., 2017).

1.2.1. Şeker İkameleri ve Tatlandırıcılar

Son yıllarda aşırı şeker tüketimi ve bunun sağlık üzerindeki etkileri hakkında ciddi endişeler dile getirilmiştir (Lustig vd., 2012). Bu endişeler arasında aşırı ağırlık kazanımı (obezite) yanı sıra bulaşıcı olmayan hastalıklar (kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, metabolik sendrom vb.), diş çürüğü ve çocuklarda nörogelişimsel bozukluklar gibi birçok

sağlık sorunu yer almaktadır (Arshad vd., 2022; de Lourdes Samaniego-Vaesken vd., 2019). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) yetişkin ve çocuklar için basit şeker tüketiminin toplam enerji alımının %10,0'undan daha az olması gerektiğini bildirmiştir. Hatta basit şekerden sağlanan enerjinin toplam enerjideki oranının %5,0'in altında tutulmasının ek sağlık yararları sağlayacağı da eklenmiştir (World Health Organization, 2015). Türkiye'deki öneriler de WHO'nun önerileri ile örtüşmektedir (Sağlık Bakanlığı, 2022). Bununla birlikte dünyanın farklı yerlerinde yalnızca eklenmiş şekerden sağlanan enerjinin günde 500 kilokaloriyi (kcal) aşabildiği bildirilmiştir (Lustig vd., 2012).

Artan dünya nüfusuna paralel olarak sağlıklı beslenmenin sürdürülebilirliğinin amaçlanması ve aşırı şeker, enerji tüketimiyle ilişkili patolojilerin yaygınlığı şeker ikamelerinin gıda araştırmalarında en ilgi çekici konular arasında yer almasına neden olmuştur (Renzetti vd., 2020). Özellikle gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde bireylerin sağlıklı beslenme farkındalığının artması tüketicilerin gıda alışkanlıklarının değişmesine ve şeker ikamelerine yönelimini arttırmıştır (Singh vd., 2020). Şekerin tatlı tadını kopyalaması nedeniyle şeker yerine kullanılabilen ve genellikle sükroza kıyasla gram başına enerji değerlerinin daha düşük olduğu gıda katkı maddelerine şeker ikameleri denilmektedir (Sharma vd., 2016). Şeker ikameleri terimi hem Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), FDA gibi kuruluşların tatlandırıcı tanımını içerirken hem de kullanımı yaygınlaşan geleneksel (rafine edilmemiş) tatlandırıcıları da içermektedir (Saraiva vd., 2020). Dolayısıyla kaynaklarda sıklıkla şeker ikamesi ve tatlandırıcı terimlerinin birbiri yerine kullanıldığı da görülmektedir (Castro-Muñoz vd., 2022; Fatima ve Ladislav, 2014).

Tatlandırıcılar üretildiği kaynağa (bitkisel kaynaklardan elde edilenler doğal/diğerleri yapay), kıvama (katı – toz olanlar/sıvı - şurup olanlar), enerji değerine (enerji içeren veya içermeyen) ve teknolojik özelliklerine göre (tatlandırıcı veya hacim arttırıcı) gruplandırılabilir (Król vd., 2019) (Bkz. Çizelge 1.1). Enerji içermeyen tatlandırıcıların tatlılık oranları çok yüksek olması nedeniyle çok düşük oranlarda kullanılmaktadır. Bu gruptaki çoğu tatlandırıcı kimyasal olarak üretilir ve bu nedenle "yapay" olarak tanımlanmaktadır. Ancak stevia gibi doğal kaynaklardan elde edilen ve bu nedenle de doğal tatlandırıcı olarak isimlendirilen enerji içermeyen tatlandırıcılar da bulunmaktadır (Edwards vd., 2016). Hacim verici tatlandırıcılar genellikle glikoz, glikoz şurubu, fruktoz, glikoz-fruktoz şurubu, şeker alkoller (polioller) gibi enerji sağlayan ve gıdaların hacmine, dokusuna ve viskozitesine katkıda bulunan karbonhidratlardır (Li vd., 2023). Polioller meyvelerde, sebzelerde ve bazı fermente gıdalarda doğal olarak bulunan veya monosakkaritler ile

disakkaritlerin hidrojenlendirilmesi yoluyla kimyasal olarak üretilebilen şeker türevleridir. Emilimlerinin sükroza kıyasla düşük olması sayesinde düşük glisemik indeks değerlerine sahiptir (Gwak vd., 2012). Enerji değerleri gramı başına 0,2 ile 3,0 kkal arasında değişmekle birlikte ksilitol hariç polioller sükroza kıyasla daha az tatlılık tadı oluşturmaktadır. Ksilitol sükroza eş değer tatlılık vermektedir (Goldfein ve Slavin, 2015; Varzakas vd., 2012).

Çizelge 1.1. Tatlandırıcıların sınıflandırılması (Yebra-Biurrun, 2013)

Enerji İçermeyenler (Yüksek Yoğunluklu – High Intensity)			Enerji İçerenler (Hacim Vericiler– Bulk Sweeteners)	
Sentetik	Semisentetik	Doğal	Düşük Enerjili	Kalorik
Asesülfam- K Alitam Aspartam Siklamat Neotam Sakarın Sükrolaz	Neohesperidin dihidrokalbon	Steviosit Taumatin Glisirizin	Şeker Alkolleri Eritritol Mannitol Sorbitol Ksilitol İzomaltoz Laktitol Maltitol Hidrojene nişasta hidrolizatları	Sükroz Pekmezler Bal Akçaağaç şurubu Glukoz Fruktoz
			Tagatoz	

Bu sınıflamaya ek olarak ‘geleneksel tatlandırıcılar’ veya ‘rafine edilmemiş şeker ikameleri’ olarak isimlendirilen bir gruptan daha bahsetmek mümkündür. Bu terim bitki ve hayvan kaynaklarından elde edilen doğası gereği tatlı olan bal, pekmez, agave şurubu, akçaağaç şurubu, hurma şekeri, meyve suyu konsantreleri gibi şeker ikamelerini tanımlamak için kullanılmaktadır (Edwards vd., 2016; Ozuna vd., 2020; Phillips vd., 2009). Bu tatlandırıcılar doğal kaynaklardan elde edildikleri için doğal tatlandırıcılar olarak da literatürde yer almaktadır (Ozuna vd., 2020). Bu grup tatlandırıcıların en az yarısını monosakkaritler ve disakkaritler oluşturur. Yüksek oranda şeker içerdikleri için enerji içeren tatlandırıcılar kategorisine de dahil edilebilmektedir (Edwards vd., 2016). Bununla birlikte enerji içeren tatlandırıcılardan en temel farkı rafine edilmemeleri nedeniyle fenol, flavonoid gibi sağlığa olumlu etkide bulunan biyoaktif bileşenler ile vitamin ve mineral yönünden zengin olmalarıdır (Castro-Muñoz vd., 2022). Yapay tatlandırıcı tüketiminin tam anlamıyla açıklanamayan halk sağlığına ilişkin endişeler içermesi, bireylerin sağlıklarına daha çok dikkat etmeye başlaması ve gıda içeriklerine yönelik bilgi artışına bağlı olarak doğal gıda içeriklerine yönelimin artması doğal şeker ikamelerinin (doğal ve geleneksel tatlandırıcılar) de önemini arttırmıştır (Saraiva vd., 2020).

1.2.2. Şeker İkamelerinin Unlu Mamullerde Kullanımı

Şeker, birçok unlu mamulde ürüne bağlı olarak değişmekle birlikte %30 - 40 civarında bulunan ana bileşenlerden biridir (Renzetti vd., 2020). Kek yapımında yukarıda bahsedildiği üzere şekerin işlevleri arasında şunlar sayılabilir:

- Hamurun karıştırılması sırasında gluten ağı oluşumunu geciktirmek ve kısıtlamak,
- Kek hamurunun viskozitesini arttırmak ve bu sayede hava tutma kapasitesini iyileştirmek,
- Yumurta proteini denatürasyonu ve nişasta jelatinizasyonu sıcaklıklarını arttırmak,
- Kekin hem rengine hem de lezzetine katkıda bulunan Maillard reaksiyonunu ve karamelizasyonu sağlamak (Wilderjans vd., 2013).

Şekerin sadece tatlılık sağlamanın yanı sıra bu işlevlere de sahip olması unlu mamullerin şeker miktarını azaltarak veya şekeri yapay/doğal tatlandırıcılarla değiştirerek yeniden formüle etmeyi ciddi anlamda zorlaştırmaktadır (Ozuna ve Franco-Robles, 2022; Renzetti vd., 2020). Unlu mamullerde sükroza alternatif olarak kullanılabilecek (tüm bu işlevleri yerine getirebilecek) şeker ikamelerinin bulunması büyük önem taşımaktadır. Sükrozun enerji içermeyen doğal veya yapay tatlandırıcılarla değiştirilmesi şeker içeren unlu mamullerin enerji içeriklerinin de azalmasını sağlayacaktır. Bu nedenlerle şeker ikamelerinin unlu mamullerde kullanımı sıklıkla araştırılmıştır ve günümüzde halen araştırılmaya devam edilmektedir (Gao vd., 2016; Hao vd., 2016; Król vd., 2019; Tsatsaragkou vd., 2021). Yapılan çalışmalar incelendiğinde keklerde şeker ikamesi olarak stevia, inülin, D-alloz, eritritol-sukraloz karışımı, ksilitol, yüksek fruktozlu mısır şurubu, incir özü, hurma özü gibi tatlılık veren maddelerin kullanıldığı ve bu maddelerin keklerin çeşitli kalite özelliklerine etkisinin incelendiği görülmüştür. Bu çalışmaların bazılarında kalite ve duyu özellikleri bakımından tamamen şeker ikamesi içeren kek formülasyonları kabul görürken bazılarında belirli oranlarda şeker ikamelerinin şeker ile birlikte kullanıldığı formülasyonlar kabul görmüştür (Akesowan, 2009; Bolger vd., 2021; Demir ve Kılınç, 2019; Gao vd., 2016; Hedayati, Ansari, vd., 2022; Özgür, 2022; Rodríguez-García vd., 2014; van der Sman vd., 2022).

Polialkoller, monosakkaritler gibi enerji içeren tatlandırıcılar yapıya olumlu etkide bulunurken lezzet bakımından yetersiz kalabilmektedir. Enerji içermeyen siklamat, sakarin gibi tatlandırıcılar ise yüksek tatlılık gücüne sahip olmakla birlikte yapıya katkı sunamazlar.

Doğal tatlandırıcı kategorisinde yer alan bazı şurupların hem istenilen tekstürel özelliklere katkı sağladığı hem de tatlılık derecesinin yüksek olduğu belirtilmiştir (Ozuna ve Franco-Robles, 2022; Struck vd., 2014).

Agave şurubunun unlu mamullerde hem yapıya katkı sağladığı hem de tatlılık derecesinin kullanıma uygun olduğu bildirilmiştir (Ozuna vd., 2020). *Agave* cinsi 210 türden oluşur ve Meksika agavların anavatanı olarak bilinmektedir. Agave şurubu sağlıklı, organik, fonksiyonel, diyabetik gıda pazarında oldukça popülerlik kazanmıştır. Bunun sebebi doğal kökenli olması, düşük glisemik indekse sahip olması (glisemik İndeksi:10-19) ve varsayılan nutrasötik özellikleridir. Ancak yüksek fruktoz konsantrasyonu ve yüksek fruktozlu mısır şurubuna benzer içeriği nedeniyle insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Ozuna ve Franco-Robles, 2022; Santiago-Martínez vd., 2023). Agave şurubu kullanımının son üründe istenilen tatlılığı sağladığı bilinmekle birlikte agave şurubuyla pişmiş ürünlerin reolojik, mikroyapısal ve duyuşal özellikleri üzerindeki sonuçları henüz tam anlamıyla araştırılmamıştır (Yargatti ve Muley, 2022).

Stevia Rebaudiana anavatanı Paraguay ve Brezilya, familyası *Asteraceae* olan 30'dan farklı glikozit içeriği sayesinde doğal tatlandırıcı olarak kullanılabilen bir diğer bitkidir. Bu glikozitlerden en önemlileri stevioside ve rebaudioside A'dır. Stevianin glisemik indeksi sıfır olarak kabul görürken şekere kıyasla %200-300 daha yüksek tatlılık seviyesine sahip olduğu bildirilmektedir (Chaturvedula vd., 2012; Sanggramasari, 2019; Schiatti-Sisó vd., 2023). Ayrıca stevia yaprakları esansiyel amino asitlerin, vitaminlerin (folik asit, c vitamini, riboflavin), minerallerin (demir, magnezyum, potasyum, sodyum, fosfor, kalsiyum), sağlığa yararlı biyoaktif bileşenlerin (terpenoidler, flavonoidler, polifenoller) de kaynağıdır (Bender vd., 2015; Schiatti-Sisó vd., 2023). Piyasada bulunan stevia çeşitleri karışım halindedir. Bu nedenle steviol glikozit içeriklerindeki farklılıklar tatlılık derecesini de etkilemektedir (Ribeiro vd., 2021). Pişirme ve fırın stabilitesi ile ağızda metalik bir tat bırakmaması sayesinde fırıncılık ürünlerinde kullanımının uygun olduğu düşünülmektedir (Palamutoğlu ve ark., 2018). Stevia yapraklarının kurutma, öğütme gibi işlemler sonucu paketlenmesiyle toz stevia elde edilebileceği gibi kuru yapraklardan ekstraksiyon işlemi sayesinde sıvı stevia da elde edilebilmektedir (Dinçel vd., 2018). Kek ve bisküvi yapımında toz/sıvı stevia kullanımının karşılaştırıldığı bir çalışmada duyuşal analiz skorlarında sıvı stevia ile pişirilen keklerin daha yüksek skorlara sahip olduğu bulunmuştur. Bu durumun toz stevianın sıvı steviaya göre daha acımsı bir tada sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür (Paridhi ve ark., 2017).

Elma suyu hoş a giden lezzeti yanı sıra vitamin, mineral, antioksidan ve fitokimyasal bileşikler ihtiva etmesi nedeniyle dünyada en çok tüketilen meyve ürünlerinden biridir. Meyve sularının konsantrasyonu, su içeriğini azaltarak mikrobiyal bozulmaya karşı korunma ve ürünlerin raf ömürlerinin uzamasını sağlamaktadır (Aktağ ve Gökmen, 2023). Elma suyu konsantresinin asiditesinin doğal yapısı gereği düşük olması dolayısıyla tarifelerde tatlılık verici madde olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Kaya, 2010). Halihazırda gıda sanayisinde rafine şeker yerine elma suyu konsantresi bebek mamaları, aromalı yoğurtlar, unlu mamuller, kahvaltılık gevrekler gibi birçok gıdanın bileşeni olarak kullanılmaktadır (Aktağ ve Gökmen, 2023)

Hurma meyvesi %70,0 oranında glukoz ve fruktozdan oluşan enerji değeri yüksek bir meyvedir. Ayrıca beta karoten, lutein ve zeaksantin gibi antioksidan flavonoidler açısından da oldukça zengindir. Kalsiyum, bakır, magnezyum, potasyum bakımından iyi bir kaynaktır (Arshad vd., 2022; Peter Ikechukwu vd., 2017; Shehzad vd., 2021). Hurma özü/suyu/şurubu temizlenmiş ayıklanmış hurmaların suda kaynatılması, bu suyun süzülmesi ve istenilen kıvam için konsantre edilmesi ile katkı maddesi veya koruyucu olmadan üretilmektedir (Gourchala vd., 2022). Hurma suyunun şeker içeriğinin yüksek olmasının yanı sıra fonksiyonel bileşimi dolayısıyla boş enerji kaynağı olan sükröz yerine unlu mamullerde tercih edilebileceği belirtilmiştir (Derouich vd., 2020; Hedayati,Jafari, vd., 2022).

1.3. 5-Hidroksimetil Furfural (HMF)

Farklı amaçlar için (pişirme, pastörize etme, sterilize etme, ekstrüzyon vb.) gıda maddelerine ısıt işlem yaygın olarak uygulanmaktadır. Isıt işlem gıda bileşenleri arasında arzulanan veya arzu edilmeyen reaksiyonlara neden olmaktadır. Gıda güvenliği ve beslenme açısından ısıt işlem sırasında oluşan istenmeyen kimyasallar ciddi sağlık sorunlarıyla yakından ilişkili olması nedeniyle büyük önem taşımaktadır (Kowalski vd., 2013; Oral vd., 2014).

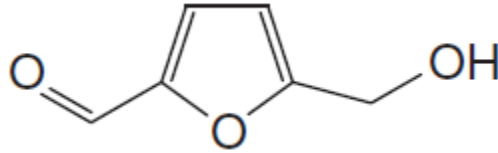
Özellikle unlu mamullerde yüzeyin kahverengileşmesi görünüş ve pişme seviyesinin bir kalite belirtecidir. Bu nedenle sıklıkla gıdanın yüzeyine yumurta sarısı, glukoz şurubu, melas şurubu gibi maddeler sürülerek esmer renk elde edilmeye çalışılmaktadır. Arzulanan sarı-altın-kahverengi renklerin oluşumu Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon başta olmak üzere pişirme sırasında renkli bileşikler üreten enzimatik olmayan kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır (Ertop ve Sarıkaya, 2017). Bu reaksiyonlar sonucu ileri glikasyon son ürünleri (AGE), düşük moleköl ağırlıklı esmerleşme ürünleri, 5-hidroksimetil furfural (HMF)

ve akrilamid gibi potansiyel mutajenik, karsinojenik veya sitotoksik bileşikler oluşabilmektedir (Goh vd., 2019).

1.3.1. HMF'nin Yapısı, Özellikleri ve Sağlık Etkileri

Moleküler formülü $C_6H_6O_3$, moleküler ağırlığı 126,11 g/mol, yoğunluğu 1,2062 g/cm³ olan HMF karbonhidrat içeriği yüksek gıdaların (özellikle fruktoz içeren) ısıtılması sonucu oluşmaktadır. HMF, işlem görmemiş taze gıda ürünlerinde çok düşük konsantrasyonda (veya hiç bulunmamakta) bulunmakla birlikte uygun olmayan depolama koşullarında bu gıdalarda da oluşabilmektedir. Düşük erime noktasına sahip katı, sarı bir maddedir (Choudhary vd., 2021; Kowalski vd., 2013; Rosatella vd., 2011; Shapla vd., 2018).

Karbonil ve alkol (hidroksimetil) grubu ile furan halkası içerir dolayısıyla furanik bir bileşiktir. Formil ve hidroksimetil fonksiyonel grupları halkaya sırasıyla 2 ve 5 pozisyonunda bağlıdır (Bkz. Şekil 1.1) (Choudhary vd., 2021; Kowalski vd., 2013; Suri ve Chhabra, 2020). HMF su, metanol, etanol, aseton, benzen, eter, kloroform ve etil asetatı iyi çözünürken; petrol eterinde çözünürlüğü çok düşüktür (Choudhary vd., 2021; Gökmen ve Morales, 2014).



Şekil 1.1. HMF'nin kimyasal yapısı

Hidroksimetil grubu (1) 5-halo-metilfurfural oluşturmak için klorür ve brom ile halojen süstitüenti oluşturabilir, (2) 2,5-furandialdehit oluşturmak için oksidasyona uğrayabilir, (3) Michael reaksiyonuna girebilmektedir. Aldehit grubu da reaktiftir ve ilgili furoik asitleri oluşturmak için (1) indirgeme, (2) kondenzasyon reaksiyonu, (3) oksidasyon reaksiyonlarına maruz kalabilmektedir. Formik asit ve levulinik asit oluşturmak amacıyla furan halkasının açılması asidik koşullar altında meydana gelebilmektedir. Son olarak hem hidroksimetil hem de aldehit grupları HMF veya diğer moleküller ile polimerizasyon reaksiyonlarına katılabilmektedir. Bu reaktif maddeler canlı dokularda, HMF'nin biyolojik aktivitesini etkilemektedir (Gökmen ve Morales, 2014).

HMF ve furfural ısıtma sırasında sırasıyla heksozların ve pentozların ayrışmasıyla oluşmaktadır (Petisca vd., 2014). Furfural ve türevleri ile ilgili çok sayıda mevcut çalışma

bulunmaktadır ve HMF zararlı kimyasallar arasında en çok rapor edilen bileşiklerden biridir (Capuano ve Fogliano, 2011; Liu vd., 2023). Ayrıca HMF'nin besinsel alımı akrilamid veya furan gibi diğer toksik gıda bileşenleri için bildirilenden birkaç kat daha yüksektir (Capuano ve Fogliano, 2011).

Kahve, bisküvi, kuru meyve, meyve suyu, bal, sirke, kahvaltılık tahıl gevrekleri, ekmek, süt, şarap, diğer alkollü içkiler, tahıl ve süt bazlı bebek mamaları gibi birçok gıdanın HMF içerdiği tespit edilmiştir (Capuano ve Fogliano, 2011; Lee vd., 2019; Liu vd., 2023; Petisca vd., 2014). HMF ve furfural'ın toksikolojik özellikleri tam anlamıyla açıklanamamış olsa da bu bileşiklerin genotoksik, sitotoksik, hepatotoksik, mutajenik, karsinojenik etkilerinden şüphelenildiği belirtilmektedir (Capuano ve Fogliano, 2011; Petisca vd., 2014; Suri ve Chhabra, 2020; Ulbricht vd., 1984). EFSA, HMF ve furfuralın toksikolojik etkileri için ana hedef organın karaciğer olduğunu bildirmiştir. Ayrıca furfural için kabul edilebilir günlük alım düzeyini (ADI) 0,5 mg/kg olarak belirtmiştir. Ancak şu anda mevcut verilere dayanarak HMF'nin tolere edilebilir günlük alım düzeyi (TDI)'ne ilişkin bir bilgi bulunmamaktadır (Additives vd., 2021; Guan vd., 2023).

HMF'ye yönelik en büyük endişe HMF'nin vücutta sülfotransferazlar tarafından katalizlenen allilik hidroksil fonksiyonel grubunun sülfonasyonu ile genotoksik bir bileşik olan 5 sülfoksi metil furfural'a (SMF) dönüşebilmesidir. SMF kısa yarılanma ömrüne rağmen, deoksiribonükleik asit (DNA) ve diğer makromoleküller ile reaksiyona girerek toksik ve mutajenik etkiye bulunabilmektedir (Guan vd., 2023; Kavousi vd., 2015; Lemos vd., 2023; Surh vd., 1994). Bu nedenlerle belirli gıdalar için maksimum konsantrasyon limitlerinin dikkate alınması son derece önemlidir. Bu konsantrasyon limitleri pekmez, bal, meyve suyu gibi gıdalarda belirlenmiş olup kalitenin bir göstergesi olarak da kullanılmaktadır (Petisca vd., 2014; Shapla vd., 2018; Suri ve Chhabra, 2020; Ulbricht vd., 1984). Türk Gıda Kodeksi ve Codex Alimentarius Komisyonu, balın işlenmesi sırasında aşırı ısınmaya maruz kalmasını önlemek ve tüketim güvenliği sağlamak amacıyla baldaki maksimum 5-HMF limitini 40 mg/kg olarak belirlemiştir (tropikal bölgelerden gelen ballar için 80 mg/kg) (Codex Alimentarius, 1981; Türk Gıda Kodeksi, 2020).

Yapılan çalışmalardaki sonuçlar geniş bir aralıkta yer almakla birlikte kişi başı günlük 30,0-150,0 mg HMF maruziyeti tahmin edilmektedir (Capuano ve Fogliano, 2011; Delgado-Andrade vd., 2007; Husøy vd., 2008; Rufián-Henares ve De la Cueva, 2008). Ülkemizde

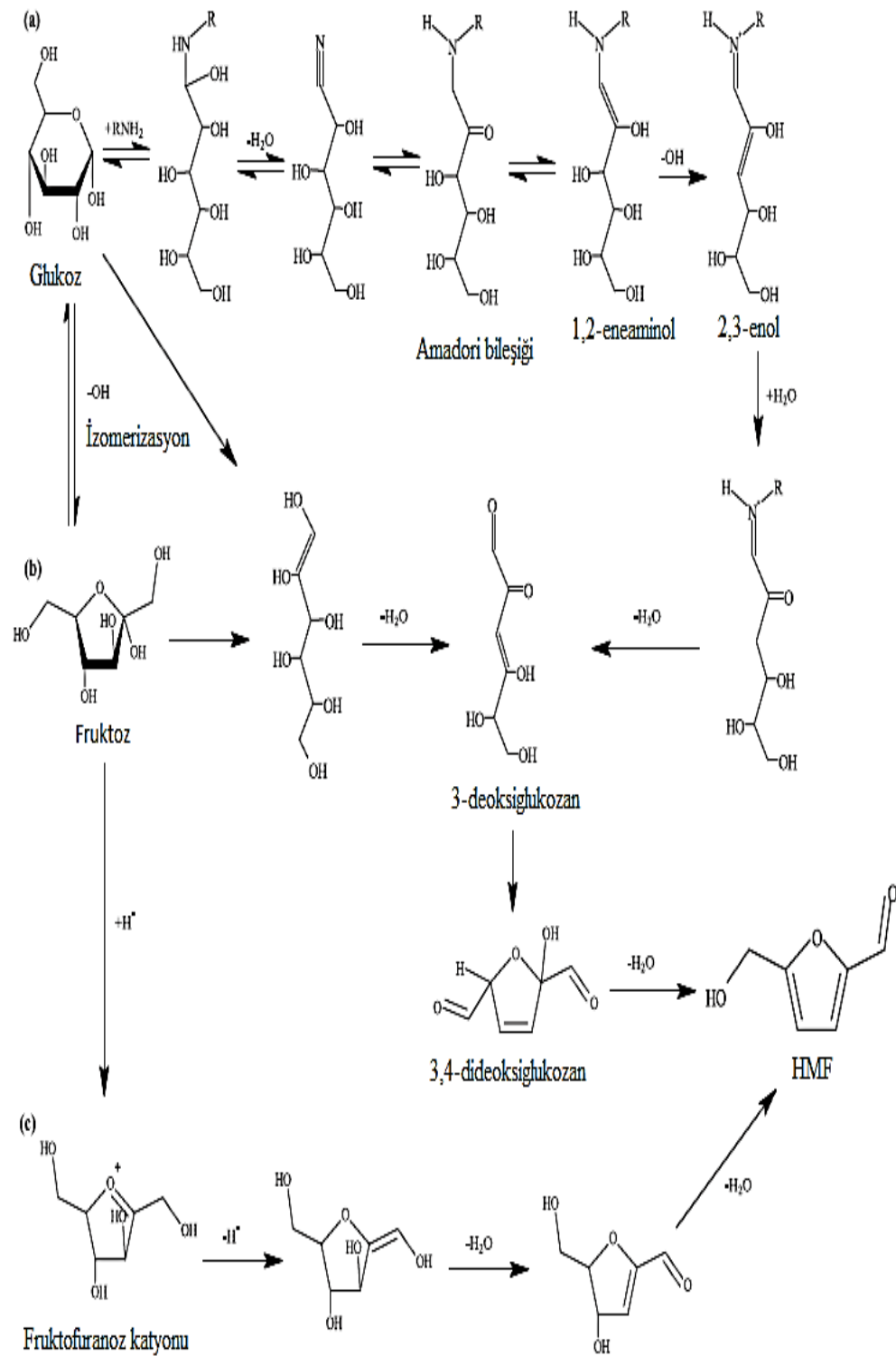
yürütülen bir çalışmada farklı yaş grupları için hesaplanan HMF maruziyet seviyelerinin endişe edilen seviyeden 105-257 kat daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Basaran vd., 2022).

1.3.2. HMF'nin Oluşum Mekanizmaları

HMF, iki reaksiyon sırasında oluşan en önemli ara ürün olarak kabul edilmektedir. Bunlar heksozun asit katalizli ayrışması (karamelizasyon) ve Maillard reaksiyonunda 3-deoksiglukozonun ayrışmasıdır (Bkz. Şekil 1.2) (Shapla vd., 2018). Maillard reaksiyonu yüksek protein ve karbonhidrat içeriğine, orta düzeyde nem içeriğine, 50 °C'nin üzerinde sıcaklığa ve 4-7 arası pH değerine sahip gıdalarda gözlemlenirken; karamelizasyon daha yüksek sıcaklıklara (>120 °C), daha yüksek pH değerlerine ve düşük su aktivitesine ihtiyaç duymaktadır (Zhang vd., 2012).

Karamelizasyon; karbonhidratların (özellikle sükroz ve indirgeyici şekerlerin) 120 °C'nin üzerinde doğrudan ısıtılmasından kaynaklanan karmaşık reaksiyon dizisi olarak tanımlanmaktadır (Fennema, 1996). Şekerlerin asidik koşullar altında ısıl işleme tabi tutulması, özellikle kuru sistemlerde fruktozun asit katalizli parçalanması yoluyla fruktofuranoz katyonlarını oluşturur (Martins vd., 2022). Bu reaksiyon kuru pirolitik koşullar altında devam ederken, fruktofuranoz katyonu HMF'ye dönüşebilmektedir (Choudhary vd., 2021).

Maillard reaksiyonu temelde amino asitlerin veya proteinlerin amino grupları ile indirgenmiş şekerlerin reaktif karbonil grupları arasındaki kondenzasyondur (Gökmen ve Morales, 2014). İndirgeyici şekerler (fruktoz, glukoz vb.) ve amino asitler Maillard reaksiyonunda siklizasyon yoluyla Amadori ve Heyns yeniden düzenleme ürünlerini oluşturan bir Schiff bazı üretmektedir. Bu bileşikler oldukça kararsızdır ve pH değerlerine bağlı olarak 1,2-eneaminol veya 1-amino-1-deoksiketoza bozunur. HMF oluşumu, 3-deoksiglukozon (3-DG) üreten 1,2 eneaminol konsantrasyonu ile doğrudan ilişkilidir. 3-DG'nin daha fazla dehidrasyonu ve siklizasyonu sonucu HMF oluşmaktadır (Koszucka ve Nowak, 2019; Martins vd., 2022).



Şekil 1.2. Maillard reaksiyonu ile glikoz (a) ve fruktozdan (b), karamelizasyon yoluyla fruktofuronozil kationundan (c) HMF oluşumunun reaksiyon şemaları (Martins vd., 2022) (İlgili kaynaktan alınıp Türkçe'ye uyarlanmıştır. Kullanım izni için Bkz EK-1).

1.3.3. HMF Oluşumunu Etkileyen Etmenler

HMF oluşumu sıcaklık, süre, pH, ortamdaki aminoasit çeşitliliği, su aktivitesi (a_w), ortamda tuz varlığı ve şeker türü gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Lee vd., 2019; Zhang vd., 2016). Yapılan bir çalışmada 200 °C’de pişirilen kurabiyelerin daha yüksek sıcaklıkta pişirilenlere kıyasla (250 °C ve 300 °C) 10-100 kat daha az HMF içerdiği gösterilmiştir (Ameur vd., 2007). Benzer bir bulgu Zhang ve ark. (2012) tarafından da elde edilmiştir. Pişirme sıcaklığı ve süresinin artması kurabiyelerdeki HMF miktarını arttırmıştır (Zhang vd., 2012). pH seviyesinin 7,40’tan 4,37 ve 3,28’e düşürülmesi hem sükroz hem glukoz içeren kurabiyelerde daha fazla HMF oluşumuna neden olmuştur (Gökmen vd., 2007).

Bazik özellikteki lizin, histidin, arjinin gibi aminoasitler HMF oluşumunu azaltmaktadır (Kavousi vd., 2015). Elma suyu konsantresinin üretim sürecinde treonin, alanin, metiyonin, prolin aminoasitleri ile HMF oluşumu arasında pozitif korelasyon gözlenirken benzer şekilde asidik aminoasitlerin (glutamik asit ve aspartik asit) de HMF miktarını arttırdığı gösterilmiştir (Kavousi vd., 2015; Li vd., 2019). Kurabiyeye %2,0 (w/w) oranında histidin eklenmesinin HMF oluşumunu %90,0 azalttığı da başka bir çalışmada bulunmuştur (Zhu vd., 2022).

Su aktivitesi HMF oluşumu için temel parametrelerden birisidir. Yüksek su aktivitesi dehidrasyonu engelleyerek HMF oluşumunu azaltmaktadır (Lee vd., 2019). Bisküvide HMF oluşumunun, kurabiyede pişirme sıcaklığından bağımsız olarak ortalama 0,40 su aktivitesinde başladığı bildirilmiştir (Ameur vd., 2006). Paralel şekilde 0,38’den düşük su aktivitesinde HMF düzeyinin anlamlı olarak yükseldiği belirtilmiştir (Miao vd., 2014). Ayrıca su aktivitesindeki düşüş HMF miktarındaki yükseliş ile ilişkilendirilmiştir (Gökmen vd., 2007).

Formülasyonunda tuz (NaCl) yer alan kurabiyelerde HMF oluşumunun arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni reaksiyonda tuzun bir Lewis asidi gibi davranarak sükrozun ayrışmasını hızlandırması olarak açıklanmıştır (Fiore vd., 2012). Nitekim HMF oluşumu hız sabitinin NaCl varlığında 4 katına çıktığı bulunmuştur (Kocadağlı ve Gokmen, 2016a). Farklı tuzların HMF oluşumuna etkisinin incelendiği bir çalışmada kontrol grubuna (tuz eklenmemiştir) kıyasla tüm tuz (kalsiyum klorür- CaCl_2 , sodyum klorür-NaCl, potasyum klorür-KCl, kalsiyum laktat) eklenen formülasyonlarda HMF içeriği daha yüksek saptanmıştır. Pişirme sıcaklığından bağımsız olarak HMF içerikleri kıyaslaması $\text{CaCl}_2 > \text{NaCl} > \text{KCl} > \text{Kalsiyum Laktat}$ şeklindedir (Taş vd., 2023). NaCl, KCl ve CaCl_2

varlığında HMF düzeyindeki artış pH ile ilişkili bulunmamıştır (Kocadağlı ve Gokmen, 2016b; Taş vd., 2023).

Kekin içerdiği sükrozun bir kısmının glukoz, fruktoz, laktoz ve maltoz ile değiştirilmesinin kekteki HMF miktarını arttırdığı bulunmuştur (Zhang vd., 2012). Fruktoz kararsız halka yapısı nedeniyle glukozdan daha reaktiftir. Yüksek sıcaklıkta (>250 °C) HMF'nin neredeyse %90,0'ının fruktozdan kaynaklandığı belirtilmiştir (Lee vd., 2019). Bununla birlikte fruktoz/glukoz oranı 1'den küçük olduğunda HMF oluşumuna yalnızca fruktozun katıldığı, 1'den büyük olduğunda ise hem fruktozun hem glukozun HMF oluşumunda yer aldığı da bildirilmiştir (Nguyen vd., 2016). Ameer ve ark. (2007) HMF içeriğini en yüksek 200 °C'de fruktoz içeren (glukoz ve sükroza kıyasla) kurabiyelerde, 250 °C ve 300 °C'de ise sükroz (fruktoz ve glukozla kıyasla) içeren kurabiyelerde bulmuştur. Bu duruma çok yüksek sıcaklıkta sükrozun degradasyonunun neden olduğu söylenmiştir (Ameer vd., 2007).

1.4. Unlu Mamullerde Farklı Şeker İkamelerinin Keklerin Kalite Özelliklerine ve HMF Miktarına Etkisine Yönelik Yapılan Çalışmalar

Gıdalardaki HMF düzeyini azaltma çalışmaları genel olarak önleme ve uzaklaştırma stratejileri olmak üzere farklı iki teknolojik yaklaşıma dayanmaktadır. Önleyici stratejiler ısıtma işlemi sırasında HMF oluşumunu en aza indirmeyi amaçlarken; uzaklaştırma müdahaleleri son üründe oluşmuş HMF moleküllerini uzaklaştırmayı veya parçalamayı amaçlamaktadır (Anese vd., 2013). Uygulanabilecek önleyici stratejiler işlem basamaklarına göre şöyle özetlenebilmektedir:

1) Ham madde: Ham maddelerin uygun seçimi (depolama koşulları, olgunluk derecesi, cins seçimi) ve uygun hazırlanması (blanch etme, inhibitör uygulama vb.)

2) Formülasyon: Gıda formülasyonunun uygun hazırlanması, uygun inhibitör madde eklenmesi (tuz, vitamin, antioksidan vb.), enkapsüle edilmiş madde eklenmesi (demir, tuz vb.)

3) İşleme: Fermentasyon gibi işlemlerle ilgili substrat miktarını azaltmak, işleme parametreleri düzenlemek (sıcaklık, süre, nem, pişirme türü vb.)

4) Depolama: Depolama koşullarını optimize etmek (uygun ambalaj, sıcaklık, süre vb.). Uzaklaştırma stratejileri arasında ise vakum işlemi, süperkritik sıvı ekstraksiyonu, iyonize radyasyon gibi yöntemler yer almaktadır (Rannou vd., 2016).

HMF, ekmek ve unlu mamullerde ısı kaynaklı oluşan kirleticilerin en önemlilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Koszucka ve Nowak, 2019). Unlu mamullerde HMF içeriğinin 4,1-151,1 mg/kg aralığında değiştiği bildirilmiştir (Taş vd., 2023). HMF'nin olası potansiyel sağlık risklerinin yanı sıra tehlikeli görülmesinin bir başka nedeni de günlük düzenli olarak tüketilen unlu mamuller gibi gıdalardaki yüksek konsantrasyonudur (Basaran vd., 2022; Lemos vd., 2023). Bugüne kadar unlu mamullerin içermesi gereken HMF miktarının üst sınırına ilişkin herhangi bir öneri bulunmamakla birlikte unlu mamullerdeki HMF miktarının azaltılmasına yönelik yeni çalışmaların yapılma gerekliliği vurgulanmıştır (Capuano ve Fogliano, 2011; Lemos vd., 2023).

Sükroz ikamesi olarak tamamen stevia ve bal kullanılarak yapılan kekler duyuşal özellikleri bakımından incelenmiştir. Panelistler görünüşü ve dokusu dolayısıyla sükroz içeren kekleri tercih etmiştir. Bunun yanı sıra bal içeren keklerin de kabul edilebilir olduğu kanısına varılmıştır (Sanggramasari, 2019). Farklı oranlarda (%25-50-75-100) elma kurusunun sükroz ikamesi olarak denendiği çalışmada renk ve tekstür farklılıkları bulunmakla birlikte duyuşal analizde panelistler tarafından bu farklılıklar fark edilmemiştir. Bu durum şeker ikamesi olarak kuru elmanın keklerde kullanılabileceğini göstermiştir (Beraldo vd., 2023). Kuru muz, stevia, ksilitol ve hindistan cevizi şekeri ile formüle edilmiş keklerin kek kalitesi üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada kontrol (sükroz) keklerine koku, renk ve tat olarak en büyük benzerlik ksilitol içeren keklerde görülmüştür. En beğenilen ürün ksilitol içeren kek olmakla birlikte en az beğenilen ürün stevia içeren örnekler olmuştur. En düşük enerji içeriği stevia (392 kkal/100 g) içeren kekte bulunmuştur (Król vd., 2019). Farklı oranlarda (% 25-50-75-100) agave şurubu sükroza ikame edilmek suretiyle formüle edilen keklerin kalite özellikleri Ozuna ve ark. (2020) tarafından incelenmiştir. Sükroz içeren keklerle benzer fiziksel ve duyuşal özelliklere sahip keklerin hazırlanmasında sükrozun %75,0'e kadar agave şurubu ile ikame edilebileceği belirtilmiştir (Ozuna vd., 2020).

Guldane ve ark. (2022)'nin eşit miktarda D-psikoz, sükroz, sorbitol ve ksilitol kullanılarak yapılan bisküvilerdeki HMF miktarları incelemek amacıyla yürüttükleri çalışmada en yüksek HMF miktarının D-psikoz içeren örneklerde olduğu bulunmuştur. Sorbitol ve ksilitol içeren örneklerin kontrol grubuna (sükroz) kıyasla daha az HMF içerdiği

gözlenmiştir. Bisküvilerde formülasyonlarda şeker alkollerinin kullanımı HMF oluşumunu azaltabileceği sonucuna varılmıştır (Guldane ve Herken, 2022). Benzer şekilde sükroz (kontrol), ksilitol, sukraloz ve asesülfam K'nın kurabiyelerde HMF oluşumuna etkisi incelenen bir çalışmada ksilitol içeren örnekte HMF'ye rastlanmamıştır. Yalnızca sükroz içeren örnekte 2,18 mg/kg; yalnızca sukraloz içeren örnekte 1,75 mg/kg; yalnızca asesülfam K içeren örnekte ise 1,24 mg/kg HMF saptanmıştır (Kutyła-Kupidura vd., 2016). Sükroz (kontrol), stevia ve sukralozun karşılaştırıldığı başka bir çalışmada ise stevia kontrol grubuna kıyasla HMF oluşumunu yaklaşık %60 azaltırken; sukraloz HMF oluşumunu arttırmıştır (Huamán Castilla vd., 2017).

Yapılan çalışmada geleneksel yollarla üretilmiş hurma suyunun HMF içeriğinin 1000-2675 mg/kg arasında; endüstriyel olarak üretilmiş olanların ise 12-456 mg/kg arasında olduğu bulunmuştur. Depolanma ile bu miktarlarda ciddi artış gözlenmiştir (Jafarnia vd., 2016). Başka bir çalışmada endüstriyel üretilmiş meyve suyu konsantreleri arasında en yüksek HMF düzeyine sahip olanın elma suyu konsantresi olduğu belirtilmiştir. Elma suyu konsantresinin HMF içeriği 4.5 ± 0.1 ppm olarak bulunmuştur (Kus vd., 2005). Beş farklı sapa şurubunun (bir çeşit üzüm şurubu) HMF düzeyleri incelemiş ve ortalama HMF değeri 2300 ± 800 mg/kg bulunmuştur. Sapa şurubu içeren unlu mamullerde ise bu seviye 167 ± 133 mg/kg olarak belirtilmiştir (Ortu ve Caboni, 2017).

Bisküvilerde sükrozun bal, buğday şurubu, mısır şurubu, hurma şurubu ve melas gibi maddelerle ikamesi sonucunda tüm sıcaklıklarda (175 °C, 200 °C ve 225 °C) en az HMF oluşumu (sırasıyla; 0,68 mg/kg–0,81 mg/kg–0,48 mg/kg) sükroz içerenlerde görülmüştür. En yüksek HMF oluşumu 175 °C için melas içeren bisküvilerde gözlemlenirken (13,99 mg/kg); 225 °C için bal içerenlerde (20,43 mg/kg) gözlemlenmiştir. Şeker ikamesi olarak kullanılan ürünlerin pişirme işlemi öncesi HMF miktarları da bu bulgu ile örtüşmektedir. HMF içeriği en yüksek olan şeker ikameleri melas (41,38 mg/kg) ve bal (20,24 mg/kg) olarak belirtilmiştir (Jandlova ve Kucerova, 2016).

HMF'nin gıda güvenliği açısından büyük risk oluşturduğu ve insan sağlığını olumsuz etkilediği günümüzde bilinmektedir. Bununla birlikte gıdalarda üretim ve depolama sırasında oluşan HMF miktarının belirlenmesi ve HMF'nin azaltılmasına yönelik çalışmaların yapılması gerekmektedir (Capuano ve Fogliano, 2011; Shapla vd., 2018; Suri ve Chhabra, 2020). Gıdaların HMF miktarının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar genellikle hazır tüketilen

gıdaların içeriklerine ilişkin verilerin oluşmasını sağlamıştır. Bunun yanı sıra geleneksel yemekler ve evde hazırlanan yiyecekler de HMF alım düzeyini etkilemektedir (Taş vd., 2022).

Literatürde günümüzde evlerde sıklıkla kullanılmaya başlayan rafine edilmemiş şeker ikamelerinin unlu mamullerde kullanımının HMF'ye olan etkisini karşılaştıran çalışmaların oldukça az olduğu görülmüştür. Buradan hareketle çeşitli şeker ikamelerinin kullanımının (hurma suyu, elma suyu konsantresi, agave şurubu, sıvı stevia) keklerin HMF düzeyine etkisini araştırmak, şeker ikamelerinin kullanılabilirliğini gözlemlemek amacıyla bu ikamelerin keklerin kalite ve duyu özelliklerine olan etkisini incelemek bu çalışmanın temel amacını oluşturmuştur.



2. GEREÇ ve YÖNTEM

Kek yapımında farklı şeker ikameleri kullanımının keklerin kalite, duyu özellikleri ve HMF miktarına etkisini araştırmak amacıyla yapılmış bu çalışmada kontrol grubunu sükröz (sofra şekeri) eklenerek yapılan kek grubu oluşturmuştur. Şeker ikamesi olarak seçilecek maddelerin sıvı formda olmasına dikkat edilmiş ve 3 farklı çevrim içi alışveriş sitesinde “tatlandırıcı”, “sıvı tatlandırıcı”, “şeker alternatifi” kelimeleri ile arama yapılmıştır. Şeker alkolü veya yapay tatlandırıcı kategorisine ait olanlar dışında kalan sıvı tatlandırıcılar çalışma kapsamına alınmıştır. Çalışmada kullanılacak şeker ikamelerinin markası belirlenirken yine online alışveriş sitelerindeki satış miktarı göz önünde bulundurulmuştur. Kullanılacak un, süt, yumurta, sıvıyağ, kabartma tozu, vanilin ve sofr şeker İzmir ilindeki yerel marketlerden; şeker ikameleri ise online alışveriş sitesinden temin edilmiştir. Carrez I [$K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$] ve Carrez II [$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$] çözeltileri, metanol, saf su kimyasal malzeme satan firmalardan ticari olarak satın alınmıştır.

2.1. Yöntem

2.1.1. Kek Hamurunun Hazırlanışı

Çalışmada yer alan kek formülasyonları Çizelge 2.1’de belirtilmiştir. Kontrol kek (sükröz) formülasyonu belirlenirken literatürdeki formülasyonlar, AACC Standart Metot No:10-90.01 incelenmiş ve bu formülasyonlar ev yapımına uygun hale getirmek amacıyla araştırmacı tarafından modifiye edilmiştir (AACC, 2000; Akçay, 2022; Baixauli, Sanz, vd., 2008; Baltacıoğlu ve Uyar, 2017; Levent ve Bilgiçli, 2013). Şeker ikamesi miktarları belirlenirken kullanılan ürünlerin tedarikçileri tarafından önerilen miktar veya etiketteki kullanım önerisi dikkate alınmıştır. Kullanılan bütün malzemeler kek yapımından önce 1 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Şeker ikamesi veya şeker ile yumurta el mikseri (Bosch MFQ36460) yardımıyla 3. devirde 5 dk boyunca çırpılmış, ardından bütün sıvı maddeler (yağ, süt) eklenerek tekrar 2 dk daha çırpma işlemine devam edilmiştir. En son elenmiş un, kabartma tozu ve vanilin eklenerek tekrar 3. devirde 5 dk daha çırpılmıştır (Baltacıoğlu ve Uyar, 2017; Ukom vd., 2022).

Çizelge 2.1. Çalışmada üretilen keklerin formülasyonları

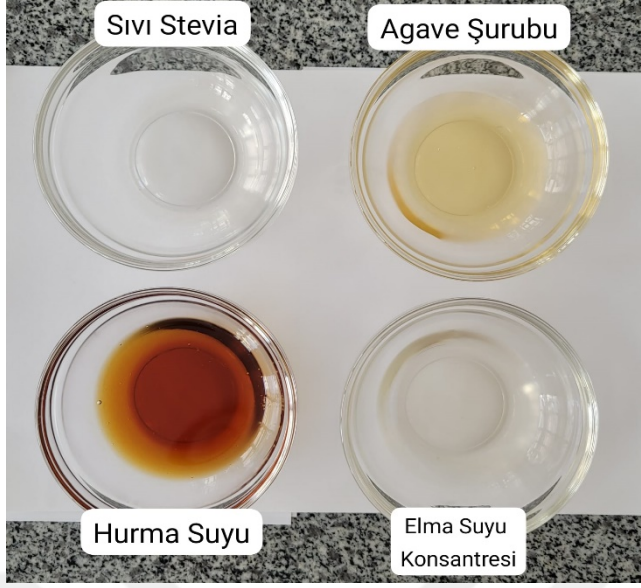
Malzemeler / Kekin Adı	Sükroz Keki (Kontrol) SKR	Stevia Keki STV	Agave Şurubu Keki AGV	Hurma Suyu Keki HRM	Elma Suyu Konsantresi Keki ELM
Buğday Unu (g)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Süt (g)	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
Yumurta (g)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Sıvıyağ (g)	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Kabartma Tozu (g)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Vanilin (g)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Şeker veya ikamesi (g)	Sofra Şekeri 90,0	Sıvı Stevia 8,8 (9,0 ml)	Agave Şurubu 67,5	Hurma Suyu 45,0	Elma Suyu Konsantresi 67,5
Toplam Ürün Miktarı (g)	382,5	301,3	360,0	337,5	360,0

Şeker ikamelerine ilişkin etiket bilgileri Çizelge 2.2’de, görseller Şekil 2.1’de sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Şeker ikamesi olarak kullanılan ürünlerin etiket bilgileri

	Sıvı Stevia	Agave Şurubu	Hurma Suyu	Elma suyu konsantresi
Karbonhidrat (g)	0,0	81,0	75,0	69,1
Şeker	B	80,0	B	67,2
Protein (g)	0,0	0,0	B	0,7
Yağ (g)	0,0	0,0	0,0	0,7
Enerji (kkal)	0,0	320,0	B	322,0

B: Etiketle herhangi bir bilgiye yer verilmemiş.



Şekil 2.1. Şeker ikamesi olarak kullanılan ürünler

2.1.2. Kek Hamurunun Pişirilmesi

Hazırlanan kek hamurları her kalıp içerisinde 120 g kek hamuru olacak şekilde kağıt kek kalıplarına (9x5 cm) dökülmüştür. Bütün kekler 180 °C sıcaklıkta 30 dk Arçelik 8314 DG ocaklı fırının orta seviyesinde Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü Beslenme İlkeleri Laboratuvarı'nda pişirilmiştir. Pişen keklerin iç ve dış görünüşleri Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.2. İki tekerrür üretilen keklerin dış görünüşleri (A: Sükroz ile tatlandırılan kek, B: Stevia ile tatlandırılan kek, C: Agave şurubu ile tatlandırılan kek, D: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kek, E: Hurma suyu ile tatlandırılan kek)



Şekil 2.3. İki tekerrür üretilen keklerin iç görünüşleri (A: Sükroz ile tatlandırılan kek, B: Stevia ile tatlandırılan kek, C: Agave şurubu ile tatlandırılan kek, D: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kek, E: Hurma suyu ile tatlandırılan kek)

2.2. Analizler

Keklerde fiziksel analizler (renk analizi, tekstür profil analizi, pişme kaybı, yapısal özellikler), kimyasal analizler (pH tayini, su aktivitesi tayini, nem tayini, kül analizi, karbonhidrat tayini, lif tayini, protein tayini, ham yağ tayini, enerji tayini, HMF tayini) ve duyu analizi gerçekleştirilmiştir. Bütün analizler (renk ve tekstür profil analizi hariç) 2 tekerrürlü ve 2 paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Renk analizi 2 tekerrür 4 paralel, tekstür profil analizi 2 tekerrür 6 paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Renk Analizi

Renk ölçüm cihazı (Chroma Meter CR-5, Konica-Minolta Sensing Inc., Osaka, Japonya) yardımıyla kek örneklerinde yüzey ve yatay orta nokta kesitlerinden renk ölçümü yapılmıştır. Kekin kabuk kısmı ve iç kısmı için ayrı ayrı CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) L^* , a^* , b^* değerleri tespit edilmiştir (L^* : (0)siyah - (100) beyaz, a^* : (+) kırmızı - (-) yeşil ve b^* : (+) sarı - (-) mavi) (Singleton ve Rossi, 1965). Renk ölçümü bütün numuneler için 2 tekerrür 4 paralel (n=8) olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Toplam renk değişimi (ΔE) her numune için sükröz içeren kek kontrol grubu kabul edilerek (L_0 , a_0 , b_0 değerleri sükröz kekinin değerleri olmak üzere) şu formülle hesaplanmıştır: $\Delta E = \sqrt{[(L^*_1 - L^*_0)^2 + (a^*_1 - a^*_0)^2 + (b^*_1 - b^*_0)^2]}$ (Mirab vd., 2020). ΔE değeri 1'den küçük ise örnek ile kontrol grubu arasında gözle görülebilecek ciddi bir renk farkı olmadığı anlamına gelmektedir. ΔE değerinin 1 ile 3 arasında olması durumunda renk tonuna bağlı olarak küçük renk farklılıkları insan gözü tarafından algılanabilmektedir. ΔE değerinin 3'ten büyük olması durumunda ise renk farkı insan gözü tarafından kolaylıkla algılanabilmektedir (Baixauli, Salvador, vd., 2008; Rodriguez-Garcia vd., 2022).

Çalışmada üç boyutlu L^* , a^* ve b^* renkleri kahverengileşme indeksi (BI) olarak da ifade edilmiştir (Gao vd., 2017). Croma (C^*) renk doygunluğu ve saflığı ile ilişkilidir (Palamutoğlu vd., 2018). Hue açısı (h^*) renk tonunu simgelemektedir. Hue değerine göre; 0° açı değeri mor-kırmızı rengi, 90° açı değeri sarı rengi, 180° açı değeri mavimsi-yeşil rengi, 270° açı değeri ise mavi rengi işaret etmektedir (McGuire, 1992). Croma, hue açısı ve kahverengileşme indeksi aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır (Beraldo vd., 2023; Martinez-Giron vd., 2017).

$$\text{Croma } (C^*): \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{Hue açısı } (h^*): \arctan(b^*/a^*)$$

$$\text{Kahverengileşme indeksi (BI): } [100(x-0,31)] / 0,17$$

$$x = (a^* + 1,75L^*) / [(5,645L^*) + a^* - (0,3012b^*)]$$

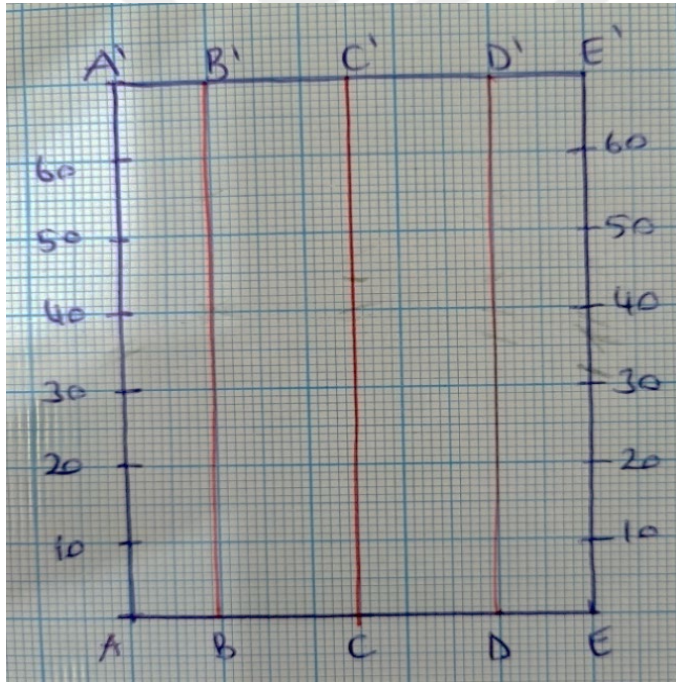
2.2.2. Tekstür Profil Analizi

Tekstür profil analizi için kekler pişirme işlemi sonrası 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. TA.XTplus Texture Analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey,

England) cihazı kullanılarak AACC Metod 74-09'a göre sertlik analizi yapılmıştır (AACC, 2000). Çapı 36 mm olan (P36/R) silindirik prob kullanılmıştır. Test konfigürasyonu ön test hızı 1,0 mm/s, test hızı 1,7 mm/s, test sonrası hız 10 mm/s, gerilme %40,0, trigger gücü 5 g olarak ayarlanmış ve sertlik değeri ölçülmüştür. Her örnek için 2 tekerrür 6 paralel olacak şekilde (n=12) gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. Yapısal Özellikler

Yapısal özellikleri belirlemek amacıyla AACC 10-91 yönteminde belirtilen kek ölçüm şablonu kullanılmıştır (AACC, 2000). Şablonun toplam uzunluğu 20 cm'dir. C noktası merkezde yer almaktadır. B ve D noktaları C'den 6 cm uzakta; A ve E noktaları ise C'nin sol ve sağında 10 cm uzaktadır. Kek ölçüm şablonu çalışmada kullanılan kağıt kek kalıbının ölçülerine göre modifiye edilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.4. Çalışmada kullanılan kek kalıplarına göre modifiye edilmiş kek ölçüm şablonu

Numuneler merkezlerinden dikey olarak kesilmiştir ve milimetrik kağıt şablon üzerine yerleştirilmiştir. A', B', C', D' ve E' değerlerinden formüllerle hacim indeksi, simetri indeksi ve tekdüzelik indeksi 1 mm hassasiyetle hesaplanmıştır. Kullanılan formüller şunlardır:

Hacim İndeksi (mm) = |BB'| + |CC'| + |DD'|. Hacim indeksi değeri keklerin hacimlerini tam olarak belirlemese de hacimleri hakkında bilgi vermektedir (Guy ve Vettel, 1973).

Simetri İndeksi (mm) = 2|CC'| - |BB'| - |DD'|. Simetri indeksi kek yüzey profilini belirlemek amacıyla kullanılır. Değer pozitif ise kekin bombeli olduğu, negatif ise kekte çökme olduğu anlaşılmaktadır (Cloke vd., 1984).

Tekdüzelik İndeksi (mm) = |BB'| - |DD'|. Tekdüzelik indeksi kekin yanal simetrisi hakkında bilgi vermektedir. Değerin 0'a yakın olması (tercihen 0'a eşit olması) istenilen bir özelliktir (Bath vd., 1992; Ebeler ve Walker, 1984; Shelke vd., 1992).

2.2.4. Pişme Kaybı ve Kek Verimi

Piştirme işlemi öncesi hamurlar (HA), piştirme işlemi sonrasında oda sıcaklığına gelmiş kekler (KA) tartılmıştır. Elde edilen ağırlık (g) formülde $[(HA - KA) / HA \times 100]$ ilgili yerlere koyularak pişme ağırlık kaybı hesaplanmıştır. Piştirme verimi ise $[(KA/HA) \times 100]$ formülü ile hesaplanmıştır (Ho vd., 2013).

2.2.5. pH Tayini

Öğütülen keklerin pH analizi için Torley ve ark.'nın (2008) yöntemi modifiye edilmiştir (Torley vd., 2008). Tüplere alınan 3 g örnek üzerine 30 ml distile su eklenmiş ve 3 dk vorteks yardımıyla karıştırılmıştır. Örnekler 1 saat bekletilmiştir. Ardından pH 4,00 ve pH 7,00 tampon çözeltileri ile kalibre edilen pH metre (Hanna HI 2211, Woonsocket, Rhode Island, Amerika Birleşik Devletleri) ile ölçümler gerçekleştirilmiştir.

2.2.6. Su Aktivitesi (aw) Tayini

Öğütülmüş kek örneklerinin aw değerleri su aktivitesi ölçüm cihazı (Rotronic, Hygropalm, Bassersdorf, İsviçre) ile ölçülmüştür (Ho vd., 2013).

2.2.7. Nem Tayini

Örneklerdeki nem miktarı AOAC 925.10 metoduna uygun şekilde tayin edilmiştir (AOAC, 1990). Bu yöntemde saf su ile yıkanmış kurutma kapları sabit tartıma gelene kadar 105 ± 2 °C’de etüvde (Memmert UFE400, Schwabach, Germany) kurutulmuştur. Kapların desikatörde soğutulmasının ardından 5 g numune tekrar sabit tartıma gelene kadar 105 ± 2 °C’de etüvde kurutulmuştur. Uzaklaşan nem miktarı baştaki örneğin ağırlığına oranlanarak % nem miktarı hesaplanmıştır: ($\% \text{ Nem} = [\text{nem kaybı (g)} / \text{örnek ağırlığı (g)}] \times 100$).

2.2.8. Kül Analizi

Örneklerdeki kül miktarı AOAC 923.03 metoduna uygun şekilde kül fırınında (Protherm, PLF 120/15, Türkiye) 550 ± 10 °C’de 4 saat yakılarak belirlenmiştir (AOAC, 1990).

2.2.9. Karbonhidrat Tayini

Üretilen keklerin karbonhidrat miktarları Atwater yöntemi ile $\% \text{Karbonhidrat (g)} = 100 - (\% \text{Nem (g)} + \% \text{Protein (g)} + \% \text{Yağ (g)} + \% \text{Lif (g)} + \% \text{Kül (g)})$ formülü ile tespit edilmiştir (Merrill ve Watt, 1973).

2.2.10. Lif Tayini

Örneklerdeki lif miktarı AOAC 991.43 metoduna uygun şekilde tayin edilmiştir (AOAC, 1990).

2.2.11. Protein Tayini

Örneklerdeki protein miktarı AOAC 960.52 metoduna uygun şekilde Nitrogen-Micro Kjeldahl Methodu kullanılarak 5,80 azot dönüşüm faktörü uygulamak suretiyle tayin edilmiştir (AOAC, 1990).

2.2.12. Ham Yağ Tayini

Yağ analizi AACC 30-25 standartlarına uygun şekilde Soxhlet yöntemi kullanılarak yapılmıştır (AACC, 2010).

2.2.13. Enerji Değeri

Üretilen keklerin enerji değerleri Atwater metoduna göre; Enerji (kkal/100g)= $[(\% \text{Karbonhidrat (g)} + \% \text{Protein (g)}) \times 4] + (\% \text{Yağ (g)} \times 9) + (\% \text{Lif (g)} \times 2)$ denklemi ile hesaplanmıştır (Merrill ve Watt, 1973).

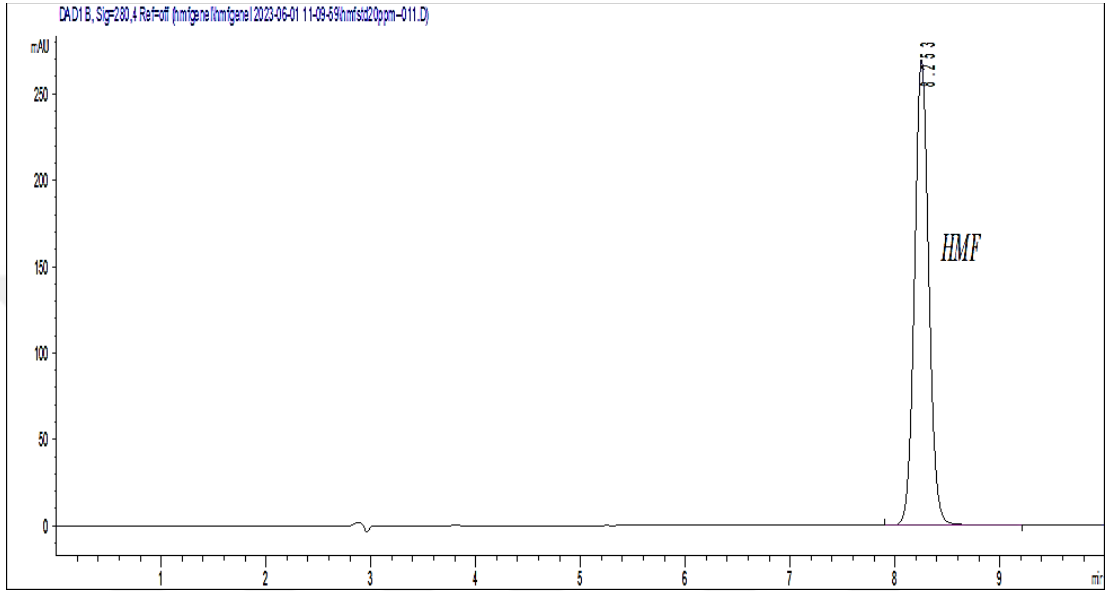
2.2.14. HMF Tayini

HMF tayini Zhang ve ark.'nın (2012) belirttiği yönteme göre yapılmıştır. 1 gram kabuk ve iç kısmı içeren örnekler 50 mL'lik santrifüj tüpüne alınmış ve üzerine 10 mL saf su eklenmiştir. Daha sonra numunelere 0,5 mL Carrez I çözeltisi (150 mg/mL potasyum ferrosiyaniür; $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ve 0,5 mL Carrez II çözeltisi (300 mg/mL çinko asetat; $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ilave edilmiştir. Ardından 1 dakika vorteks ile karıştırılan numuneler santrifüj (4100 rpm, 4 °C, 10 dk) edilmiştir. Elde edilen süpernatant 0,45 µm membran filtre aracılığıyla süzölmüştür. Aynı işlemler şeker ikamesi olarak kullanılan sıvı ürünler (n=4) için de tekrarlanmıştır. Analizler gerçekleşene kadar vialler -18 °C dondurucuda beklemeye alınmıştır (Zhang vd., 2012). Süzöntülerdeki HMF tayini yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC Agilent 1260 Serisi, ABD) ile yapılmıştır. Çizelge 2.3'te HPLC cihazının çalışma koşulları belirtilmiştir.

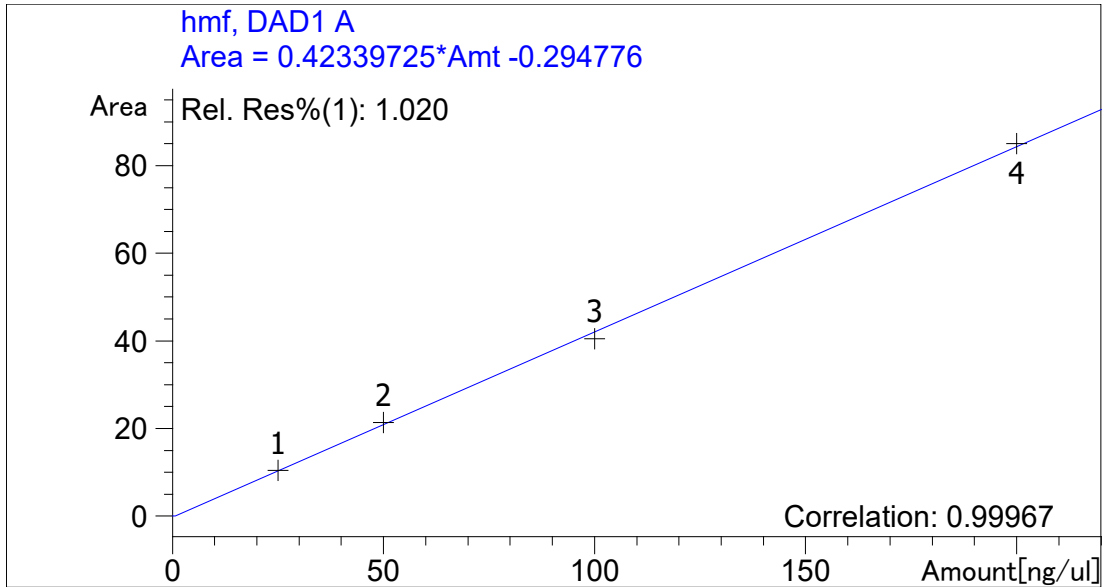
Çizelge 2.3. HMF analizi için HPLC cihazının kromatografik şartları

Marka/Model	Agilent/1260
Kolon	ACE 5 C18 (250 mmx4,6 mm, 5µm)
Kolon Sıcaklığı	25 °C
Mobil Faz	Metanol:US:asetik asit (10:90:1)
Akış Hızı	1 mL/dak
Dedektör	Diode Array, 280 nm
Enjeksiyon Hacmi	20 µL
Analiz Süresi	45 dk

Kek örneklerindeki HMF bileşeninin tanımlanması standart HMF pikinin alıkonma zamanı (retention time), UV spektrum ve benzerlikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan HMF standardından elde edilen kalibrasyon grafiği ile hesaplamalar yapılmıştır. Standart HPLC kromatogramı Şekil 2.5'te ve kalibrasyon grafiği denklemi ($y=0,4234x-0,2947$, $R^2=0,99$) Şekil 2.6'da sunulmuştur.



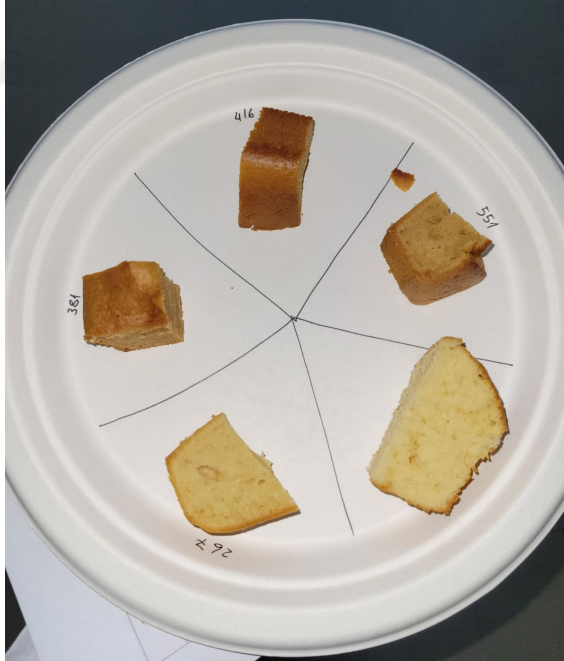
Şekil 2.5. Standart HPLC kromatogramı



Şekil 2.6. HMF standardının kalibrasyon grafiği

2.2.15. Duyusal Analiz

Duyusal analiz için öncelikle Ege Üniversitesi Tıbbi Araştırmalar Etik Kurulu'na başvurulmuş ve 23-2.1T/31 karar numaralı etik onay alınmıştır (EK-2). Duyusal analiz için oda sıcaklığına getirilen kekler uygun şekilde kesilmiştir. Her örnek 3 basamaklı sayılarla kodlanmıştır. Panel gıda mühendisliği ile beslenme ve diyetetik bölümlerinden mezun kişiler (n=15) katılmıştır. Panelistler herhangi bir kronik hastalığı bulunmayan, yaşları 22-50 arasında değişen sağlıklı bireylerden oluşmaktadır. Analiz 2 tekerrürlü olarak Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi'nde uygun koşullarda gerçekleştirilmiştir. Panelistlerin duyusal tadıma ana öğünden yaklaşık 2-3 saat sonra katılmaları sağlanmıştır. Katılımcılara her bir kekin tadımından önce ağızdaki tadın nötrlenmesini amacıyla su içilmesi önerilmiştir. Katılımcılardan her bir örneği 9 puanlık hedonik skala ile (1 aşırı kötü-9 mükemmel) görünüş, renk (iç renk, kabuk rengi), lezzet, doku ve genel beğeni kategorilerinde değerlendirmesi istenmiştir. Duyusal analizler için EK-3'te sunulan form kullanılmıştır. Duyusal analiz öncesinde panelistlere gönüllü olur formu imzalatılmıştır (EK-4). Duyusal analizde panelistlere sunulan tabağa ait bir örnek Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Duyusal analiz tabak örneği

2.2.16. İstatistiksel Analiz

Veriler ‘Statistical Package for the Social Sciences/Sosyal Bilimler İstatistik Paketi’ (SPSS) (versiyon 25) paket yazılımı ile analiz edilmiştir. p değerinin 0.05’ten küçük olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. HMF ve kahverengileşme indeksi arasındaki ilişki Spearman korelasyon testi ile değerlendirilmiştir.

Tüm kimyasal, fiziksel ve duyuşsal analizler için ortalamalar ‘One Way ANOVA’ testi ile değerlendirilmiş; gruplar arasındaki farklı belirlemek için varyansların homojenliğine göre Tukey/Tamhane çoklu karşılaştırma testleri uygulanmıştır. Karşılaştırma sonuçlarında benzerlikleri ($p>0,05$) göstermek amacıyla her gruba bir harf verilmiştir: Sükroz ile tatlandırılan kek için a harfi verilmiş olup SKR^a şeklinde, stevia ile tatlandırılan kek için b harfi verilmiş olup STV^b şeklinde, agave şurubu ile tatlandırılan kek için c harfi verilmiş olup AGV^c şeklinde, hurma suyu ile tatlandırılan kek için d harfi verilmiş olup HRM^d şeklinde, elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kek için e harfi verilmiş ELM^e şeklinde ifade edilmiştir. Ortalama değerlerin üstünde yazan harf hangi gruba aitse değer o gruba benzer anlamına gelmektedir. Örneğin; Çizelge 3.1 için b^* değerinde stevia ile tatlandırılan kek grubunun ortalama değerinin üzerinde a ve d harfleri yazması STV grubunun b^* değeri ile SKR^a ve HRM^d grubunun b^* değerinin benzer olduğunu göstermektedir.

3. BULGULAR

Sükroz ve ikameleri ile üretilen keklerin fiziksel (renk analizi, sertlik analizi, yapısal özellikleri, pişme kaybı ve kek verimi), kimyasal (pH, aw, genel kimyasal bileşen, HMF analizleri) ve duyu analizi sonuçlarına bu bölümde yer verilmiştir.

3.1. Keklerin Fiziksel Analizleri

3.1.1. Renk Analizi Sonuçları

Çizelge 3.1’de keklerin iç rengine ait analiz sonuçları, Çizelge 3.2’de ise keklerin kabuk rengine ait analiz sonuçları bulunmaktadır. Renk analizine ilişkin hem iç hem kabuk rengi sonuçlarında gruplar arasında tüm değerlerde (L^* , a^* , b^* , C^* , h° ve BI) anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (hepsi için $p<0,001$). Çoklu karşılaştırma testleri ile gruplar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir.

Kek içi rengi L^* değeri ortalaması en yüksek sükroz ile tatlandırılan kek (SKR) ($61,33\pm0,99$), kabuk rengi L^* değeri ortalaması en yüksek stevia ile tatlandırılan kek (STV) ($44,62\pm3,18$) olarak bulunmuştur. Bu farklar istatistiksel olarak da anlamlıdır ($p<0,05$). Agave şurubu ile tatlandırılan kek (AGV) ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kek (ELM) gruplarının iç ve kabuk L^* değerleri ortalaması benzerdir ($p>0,05$). Bu gruplar en düşük iç L^* (sırasıyla $41,95\pm1,17$; $42,19\pm1,23$) ve kabuk L^* (sırasıyla $31,86\pm1,21$; $34,74\pm2,15$) değeri ortalamasına sahiptir ($p<0,05$). Hurma suyu ile tatlandırılan kekin (HRM) iç rengine ait L^* değeri ortalaması ($47,62\pm1,79$) diğer gruplardan anlamlı olarak farklıdır ($p<0,05$). Kabuk rengine ait L^* değeri ortalaması ise ($37,07\pm2,40$) SKR ($37,95\pm2,15$) ve ELM ($34,74\pm2,15$) grubuna benzer bulunmuştur ($p<0,05$).

Kek içi rengi a^* değeri ortalaması tüm gruplar için birbirinden farklıdır ($p<0,05$). İç a^* değeri ortalaması en düşük olan grup SKR ($2,45\pm0,27$), en yüksek olan grup AGV ($7,03\pm0,09$) grubudur. STV, HRM ve ELM grupları için kek iç renginin a^* değeri ortalamaları sırasıyla $3,02\pm0,32$; $5,63\pm0,20$; $6,15\pm0,21$ ’dir. Kabuk a^* değeri ortalaması en yüksek SKR grubu ($16,31\pm0,69$), en düşük STV grubu ($12,17\pm0,77$) olarak bulunmuştur. Bu farklar istatistiksel olarak da anlamlıdır ($p<0,05$). HRM grubu ($13,30\pm0,78$) ile ELM ($14,26\pm0,78$) ve AGV ($14,44\pm0,66$) grubunun kabuk a^* değeri ortalamaları birbirine benzerdir (ikisi için $p>0,05$).

Kek iç rengi b^* değeri ortalaması en yüksek STV grubuna ($19,47 \pm 1,57$) ait olmakla birlikte STV grubunun iç rengi b^* değeri ortalaması ile SKR ve HRM gruplarının iç rengi b^* değerleri ortalamasına (sırasıyla $18,51 \pm 0,63$; $17,57 \pm 0,40$) benzer bulunmuştur ($p > 0,05$). Kek içi b^* değeri ortalaması en düşük ELM grubuna ($15,77 \pm 0,48$) ait olmakla birlikte AGV grubu ($16,14 \pm 0,43$) ile aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ($p > 0,05$). Kek kabuk rengi b^* değeri ortalaması anlamlı olarak en yüksek STV ($20,52 \pm 1,03$) grubuna, en düşük AGV grubuna ($14,04 \pm 0,64$) aittir (ikisi için de $p < 0,05$). SKR ($17,60 \pm 0,06$), HRM ($17,18 \pm 2,01$) ve ELM ($16,49 \pm 1,31$) gruplarının kabuk rengi b^* değeri ortalaması benzer bulunmuştur ($p > 0,05$).

STV, AGV, HRM ve ELM gruplarına ait kek içi ΔE değerleri ortalaması sırasıyla $11,28 \pm 1,77$; $20,08 \pm 1,05$; $14,14 \pm 2,00$; $19,71 \pm 1,12$ ve kek kabuğu ΔE değerleri ortalaması sırasıyla $8,67 \pm 3,43$; $7,90 \pm 2,96$; $4,44 \pm 1,83$; $4,80 \pm 2,39$ bulunmuştur. Bu sonuçlara göre en düşük ΔE değeri ortalaması kek içi rengi için STV grubuna, dış rengi için HRM grubuna aittir. Kek içi rengi için en yüksek ΔE değeri ortalaması AGV grubuna, dış rengi için en yüksek ΔE değeri ortalaması STV grubuna aittir.

SKR, STV, AGV, HRM ve ELM gruplarına ait kek içi renginin C^* değerleri ortalaması sırasıyla $18,67 \pm 0,62$; $19,70 \pm 1,55$; $17,60 \pm 0,39$; $18,45 \pm 0,35$; $16,93 \pm 0,49$ ve kabuk renginin C^* değerleri ortalaması sırasıyla $24,01 \pm 0,97$; $23,87 \pm 0,88$; $19,35 \pm 0,88$; $22,36 \pm 1,78$; $21,95 \pm 0,78$ bulunmuştur. Kek iç ve kabuk renginde STV ve HRM grubunun C^* değeri ortalaması kontrol grubuna benzer bulunmuştur ($p > 0,05$). STV ile AGV ve HRM gruplarının iç rengi C^* değerleri ortalaması da birbirine benzer ($p > 0,05$) ve diğer gruplardan anlamlı olarak düşük bulunmuştur ($p < 0,05$). AGV grubunun kabuk renginin C^* değeri ortalaması anlamlı olarak diğer tüm gruplardan daha düşüktür ($p < 0,05$).

Tüm grupların iç renginin h^* değer ortalamalarının (SKR: $82,46 \pm 0,90$, STV: $81,13 \pm 1,19$, AGV: $66,46 \pm 0,65$, HRM: $72,23 \pm 0,87$ ve ELM: $68,67 \pm 0,61$) birbirinden farklı olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$). İç renginin h^* değer ortalaması en düşük olan grup AGV, en yüksek olan grup SKR'dir. Kabuk renginin h^* değerinde bulunan istatistiksel farkın STV grubundan kaynaklandığı görülmektedir. STV grubunun kabuk h^* değeri ortalaması ($59,29 \pm 2,26$) anlamlı olarak diğer gruplardan (SKR: $47,14 \pm 1,94$, AGV: $46,56 \pm 1,55$, HRM: $50,19 \pm 3,17$, ELM: $48,65 \pm 3,29$) yüksektir ($p < 0,05$). STV grubu hariç diğer grupların kabuk h^* değerleri ortalaması ise birbirine benzer bulunmuştur ($p > 0,05$).

Kek iç rengi kahverengileşme indeksi (Bİ) ortalamalarının (SKR: 5,86±0,33, STV: 8,21±0,79, AGV: 15,66±0,33, HRM: 12,10±0,62 ve ELM: 14,05±0,39) hepsi birbirinden farklıdır (p<0,05). Kek kabuk rengi BI değeri SKR (33,78±2,31), AGV (32,67±1,35), HRM (30,96±2,94) ve ELM (32,99±1,39) grupları için benzerdir (p>0,05). STV grubunun kabuk BI değeri ortalaması (23,61±1,84) anlamlı olarak diğer gruplardan düşüktür (p<0,05).

Çizelge 3.1. Keklerin iç renk analizi değerleri (n=8)

	SKR^a (x±SS)	STV^b (x±SS)	AGV^c (x±SS)	HRM^d (x±SS)	ELM^e (x±SS)	p*
L*	61,33±0,99	50,23±2,51	41,95±1,17 ^e	47,62±1,79	42,19±1,23 ^c	<0,001
a*	2,45±0,27	3,02±0,32	7,03±0,09	5,63±0,20	6,15±0,21	<0,001
b*	18,51±0,63 ^b	19,47±1,57 ^{ad}	16,14±0,43 ^e	17,57±0,40 ^b	15,77±0,48 ^c	<0,001
ΔE	-	11,28±1,77	20,08±1,05	14,14±2,00	19,71±1,12	-
C*	18,67±0,62 ^{bd}	19,70±1,55 ^{acd}	17,60±0,39 ^{be}	18,45±0,35 ^{ab}	16,93±0,49 ^c	<0,001
h*	82,46±0,90	81,13±1,19	66,46±0,65	72,23±0,87	68,67±0,61	<0,001
BI	5,86±0,33	8,21±0,79	15,66±0,33	12,10±0,62	14,05±0,39	<0,001

*One Way ANOVA analizi kullanılmıştır. Varyans homojenliğine göre Tukey/Tamhane çoklu karşılaştırma testleri ile gruplar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Harf hangi gruba aitse değer o grubunkıyla benzerdir (p>0,05).

SKR: Sükroz ile tatlandırılmış, STV: Stevia ile tatlandırılmış, AGV: Agave şurubu ile tatlandırılmış, HRM: Hurma suyu ile tatlandırılmış, ELM: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek, ΔE: renk değişimi, C*: Chroma, h*: hue açısı, BI: kahverengileşme indeksi

Çizelge 3.2. Keklerin kabuk rengi analizi değerleri (n=8)

	SKR^a (x±SS)	STV^b (x±SS)	AGV^c (x±SS)	HRM^d (x±SS)	ELM^e (x±SS)	p*
L*	37,95±2,15 ^{de}	44,62±3,18	31,86±1,21 ^e	37,07±2,40 ^{ae}	34,74±2,15 ^{acd}	<0,001
a*	16,31±0,69	12,17±0,77	13,30±0,78 ^d	14,26±0,78 ^{ce}	14,44±0,66 ^d	<0,001
b*	17,60±1,06 ^{de}	20,52±1,03	14,04±0,64	17,18±2,01 ^{ae}	16,49±1,31 ^{ad}	<0,001
ΔE	-	8,67±3,43	7,90±2,96	4,44±1,83	4,80±2,39	-
C*	24,01±0,97 ^{bd}	23,87±0,88 ^{ad}	19,35±0,88	22,36±1,78 ^{abe}	21,95±0,78 ^d	<0,001
h*	47,14±1,94 ^{cde}	59,29±2,26	46,56±1,55 ^{ade}	50,19±3,17 ^{ace}	48,65±3,29 ^{acd}	<0,001
BI	33,78±2,31 ^{cde}	23,61±1,84	32,67±1,35 ^{ade}	30,96±2,94 ^{ace}	32,99±1,39 ^{acd}	<0,001

*One Way ANOVA analizi kullanılmıştır. Varyans homojenliğine göre Tukey/Tamhane çoklu karşılaştırma testleri ile gruplar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Harf hangi gruba aitse değer o grubunkıyla benzerdir (p>0,05).

SKR: Sükroz ile tatlandırılmış, STV: Stevia ile tatlandırılmış, AGV: Agave şurubu ile tatlandırılmış, HRM: Hurma suyu ile tatlandırılmış, ELM: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek, ΔE: renk değişimi, C*: Chroma, h*: hue açısı, BI: kahverengileşme indeksi

3.1.2. Keklerin Sertlik Değerleri

Keklerin sertlik değerlerine ilişkin veriler Çizelge 3.3'te sunulmuştur. Sükroz ile tatlandırılan kekin sertlik değeri ortalaması $537,65 \pm 53,73$ g, stevia ile tatlandırılan kekin sertlik değeri ortalaması $814,56 \pm 137,06$ g, agave şurubu ile tatlandırılan kekin sertlik değeri ortalaması $1555,95 \pm 202,84$ g, hurma suyu ile tatlandırılan kekin sertlik değeri ortalaması $1241,42 \pm 137,80$ g ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kekin sertlik değeri ortalaması $1342,42 \pm 250,15$ g olarak bulunmuştur. Gruplar arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,001$). Çoklu karşılaştırma testleri sonucuna göre SKR ve STV grupları anlamlı olarak diğer bütün gruplardan ve birbirinden farklıdır ($p < 0,05$). Sertlik değeri en düşük olan grup SKR iken onu STV grubu takip etmektedir. Sertlik değeri ortalaması en yüksek olan grup AGV grubudur. AGV grubunun sertlik değeri ortalaması ELM grubununkine benzer bulunmuştur ($p > 0,05$).

Çizelge 3.3. Keklerin sertlik analizi sonuçları (n=12)

	Sertlik (g) ($\bar{x} \pm SS$)	p*
SKR ^a	$537,65 \pm 53,73$	
STV ^b	$814,56 \pm 137,06$	
AGV ^c	$1555,95 \pm 202,84^e$	<0,001
HRM ^d	$1241,42 \pm 137,80^e$	
ELM ^e	$1342,42 \pm 250,15^{cd}$	

*One Way ANOVA analizi kullanılmıştır. Varyans homojenliğine göre Tukey/Tamhane çoklu karşılaştırma testleri ile gruplar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Harf hangi gruba aitse değer o grubunkiyle benzerdir ($p > 0,05$).

SKR: Sükroz ile tatlandırılmış, STV: Stevia ile tatlandırılmış, AGV: Agave şurubu ile tatlandırılmış, HRM: Hurma suyu ile tatlandırılmış, ELM: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek.

3.1.3. Keklerin Yapısal Özellikleri (Hacim, Simetri ve Tekdüzelik İndeksleri)

Çizelge 3.4'te keklerin yapısal özelliklerine ait hacim indeksi, simetri indeksi ve tekdüzelik indeksi değeri ortalamaları verilmiştir. Gruplar arasında hacim indeksi ve simetri indeksi ortalamaları bakımından anlamlı farklılık bulunmaktadır (ikisi için de $p < 0,001$). Bu anlamlı farklılık çoklu karşılaştırma testi sonucuna göre SKR grubunun hacim indeksi ($166,50 \pm 4,04$) ve simetri indeksi ($9,00 \pm 1,15$) ortalamasının diğer gruplardan anlamlı olarak daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır ($p < 0,05$). STV ($135,00 \pm 8,12$), AGV ($119,25 \pm 0,96$), HRM ($124,75 \pm 5,06$) ve ELM ($115,50 \pm 2,08$) gruplarının hacim indeksi değerleri benzerdir ($p > 0,05$). Aynı şekilde STV ($3,00 \pm 1,41$), AGV ($-1,50 \pm 1,29$), HRM

(0,50±4,04) ve ELM (0,75±2,75) gruplarının simetri indeksleri de benzer bulunmuştur ($p>0,05$). SKR grubunun tekdüzelik indeksi değer ortalaması -0,50±1,91'dir. Şeker ikamesi kullanılan keklerin tekdüzelik indeksi değerleri 0,00±2,16 (AGV) ile 6,50±12,45 (STV) arasında değişmektedir. Gruplar arasında tekdüzelik indeksi bakımından anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p=0,462$).

Çizelge 3.4. Keklerin hacim, simetri ve tekdüzelik indeks değerleri (n=4)

	SKR ^a (x±SS)	STV ^b (x±SS)	AGV ^c (x±SS)	HRM ^d (x±SS)	ELM ^e (x±SS)	p*
Hacim indeksi	166,50±4,04	135,00±8,12 ^{cde}	119,25±0,96 ^{bde}	124,75±5,06 ^{bce}	115,50±2,08 ^{bcd}	<0,001
Simetri indeksi	9,00±1,15	3,00±1,41 ^{cde}	-1,50±1,29 ^{bde}	0,50±4,04 ^{bce}	0,75±2,75 ^{bcd}	<0,001
Tekdüzelik indeksi	-0,50±1,91 ^{bde}	6,50±12,45 ^{acde}	0,00±2,16 ^{abde}	0,50±2,38 ^{abce}	0,25±2,87 ^{abcd}	0,462

*One Way ANOVA analizi kullanılmıştır. Varyans homojenliğine göre Tukey/Tamhane çoklu karşılaştırma testleri ile gruplar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Harf hangi gruba aitse değer o grubunkıyla benzerdir ($p>0,05$). SKR: Sükroz ile tatlandırılmış, STV: Stevia ile tatlandırılmış, AGV: Agave şurubu ile tatlandırılmış, HRM: Hurma suyu ile tatlandırılmış, ELM: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek.

3.1.4. Pişme Kaybı ve Kek Verimi

Çalışmada üretilen keklerin pişme kaybı ve kek verimi yüzdeleri Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Buna göre pişme kaybı SKR grubu için %10,85±0,33, STV grubu için %13,24±0,39, AGV grubu için %12,34±0,56, HRM grubu için %12,03±0,67 ve ELM grubu için %12,27±0,5 olarak bulunmuştur. Gruplar arasında anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ($p<0,001$). Çoklu karşılaştırma testleri sonucuna göre pişme kaybı SKR grubunda anlamlı olarak diğer gruplardan daha düşüktür ($p<0,05$). Pişme kaybının en az olduğu grup olması dolayısıyla en yüksek verime de yine SKR grubu (%89,15±0,33) sahiptir.

Çizelge 3.5. Keklerin pişme kaybı (%) ve kek verimi (%) analizleri (n=4)

	Kayıp (%) ($\bar{x} \pm SS$)	Verim (%) ($\bar{x} \pm SS$)	p*
SKR ^a	10,85 $\pm$ 0,33	89,15 $\pm$ 0,33	
STV ^b	13,24 $\pm$ 0,39 ^{ce}	86,76 $\pm$ 0,39	
AGV ^c	12,34 $\pm$ 0,56 ^{bde}	87,66 $\pm$ 0,56	<0,001
HRM ^d	12,03 $\pm$ 0,67 ^{ce}	87,97 $\pm$ 0,67	
ELM ^e	12,27 $\pm$ 0,5 ^{bcd}	87,73 $\pm$ 0,51	

*One Way ANOVA analizi kullanılmıştır. Tukey çoklu karşılaştırma testi ile gruplar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Harf hangi gruba aitse değer o grubunkiyile benzerdir (p>0.05).

SKR: Sükroz ile tatlandırılmış, STV: Stevia ile tatlandırılmış, AGV: Agave şurubu ile tatlandırılmış, HRM: Hurma suyu ile tatlandırılmış, ELM: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek.

3.2. Keklerin Kimyasal Analizleri

3.2.1. Keklerin pH Analizi Sonuçları

Keklerin pH değerlerine ilişkin bulgulara Çizelge 3.6'da yer verilmiştir. Gruplar arasında anlamlı fark saptanmıştır (p<0,001). Çoklu karşılaştırma testleri sonucuna göre SKR grubunun pH değeri (7,27 $\pm$ 0,06) ile STV grubunun pH değeri (7,34 $\pm$ 0,02) benzer (p>0,05) ve diğer gruplardan anlamlı olarak daha yüksektir (p<0,05). AGV (6,87 $\pm$ 0,02), HRM (6,87 $\pm$ 0,02) ve ELM (6,92 $\pm$ 0,07) grupları arasında pH değeri bakımından anlamlı bir fark bulunmamaktadır (p>0,05).

Çizelge 3.6. Keklerin pH analizi sonuçları (n=4)

	pH ($\bar{x} \pm SS$)	p*
SKR ^a	7,27 $\pm$ 0,06 ^b	
STV ^b	7,34 $\pm$ 0,02 ^a	
AGV ^c	6,87 $\pm$ 0,02 ^{de}	<0,001
HRM ^d	6,87 $\pm$ 0,02 ^{ce}	
ELM ^e	6,92 $\pm$ 0,07 ^{cd}	

*One Way ANOVA analizi kullanılmıştır. Tamhane çoklu karşılaştırma testi ile gruplar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Harf hangi gruba aitse değer o grubunkiyile benzerdir (p>0.05).

SKR: Sükroz ile tatlandırılmış, STV: Stevia ile tatlandırılmış, AGV: Agave şurubu ile tatlandırılmış, HRM: Hurma suyu ile tatlandırılmış, ELM: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek.

3.2.2. Keklerin Su Aktivitesi (aw) Analizi Sonuçları

Sükroz ile tatlandırılan kekin aw değeri ortalaması 0,8673 $\pm$ 0,0083, stevia ile tatlandırılan kekin aw değeri ortalaması 0,9380 $\pm$ 0,0033, agave şurubu ile tatlandırılan kekin

aw değeri ortalaması $0,9000 \pm 0,0022$, hurma suyu ile tatlandırılan kekin aw değeri ortalaması $0,9143 \pm 0,0013$ ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kekin aw değeri ortalaması $0,9005 \pm 0,0037$ olarak saptanmıştır (Çizelge 3.7). Gruplar arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,001$). Çoklu karşılaştırma testi sonucuna göre AGV ve ELM grubunun aw değerleri birbirine benzer bulunmuştur ($p > 0,05$). Diğer grupların aw değerleri hem kendi aralarında hem de AGV ve ELM gruplarından farklıdır ($p < 0,05$).

Çizelge 3.7. Keklerin su aktivitesi analizi sonuçları (n=4)

	Su Aktivitesi (aw) ($\bar{x} \pm SS$)	p*
SKR^a	$0,8673 \pm 0,0083$	
STV^b	$0,9380 \pm 0,0033$	
AGV^c	$0,9000 \pm 0,0022^e$	<0,001
HRM^d	$0,9143 \pm 0,0013$	
ELM^e	$0,9005 \pm 0,0037^e$	

*One Way ANOVA analizi kullanılmıştır. Tukey çoklu karşılaştırma testi ile gruplar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Harf hangi gruba aitse değer o grubunkine benzerdir ($p > 0,05$).

SKR: Sükroz ile tatlandırılmış, STV: Stevia ile tatlandırılmış, AGV: Agave şurubu ile tatlandırılmış, HRM: Hurma suyu ile tatlandırılmış, ELM: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek.

3.2.3. Keklerin Nem, Kül, Makro Besin Ögesi ve Enerji Analizi Sonuçları

Keklerin nem, karbonhidrat, protein, yağ, enerji ve kül değerlerinde gruplar arasında anlamlı farklılıklar bulunmaktadır (hepsi için $p < 0,001$) (Çizelge 3.8). Çoklu karşılaştırma testleri sonucunda nem değeri ortalaması en yüksek olan STV grubu ($35,80 \pm 0,08$ g/100 g), en düşük olan SKR ($24,19 \pm 0,08$ g/100 g) grubudur. AGV ($32,10 \pm 0,38$ g/100 g), HRM ($33,04 \pm 0,27$ g/100 g) ve ELM ($33,28 \pm 0,05$ g/100 g) gruplarının nem içerikleri benzer bulunmuştur ($p > 0,05$).

Çalışmadaki keklerin kül miktarları SKR grubu için $1,22 \pm 0,03$ g/100g, STV grubu için $1,64 \pm 0,04$ g/100 g, AGV grubu için $1,33 \pm 0,03$ g/100 g, HRM grubu için $1,47 \pm 0,12$ g/100 g, ELM grubu için $1,46 \pm 0,11$ g/100 g olarak bulunmuştur. HRM ve ELM gruplarının kül miktarı diğer bütün gruplarınkine benzerdir ($p > 0,05$).

Karbonhidrat içeriği anlamlı olarak en yüksek olan grup SKR ($46,37 \pm 0,89$ g/100 g)'dir ($p < 0,05$). Karbonhidrat içeriği en düşük olan grup STV'dir ($24,17 \pm 2,37$ g/100 g) ve STV grubu ELM grubuna ($33,09 \pm 3,28$ g/100 g) benzer miktarda karbonhidrat içermektedir ($p > 0,05$). AGV ($37,98 \pm 0,57$ g/100 g) ile HRM ($33,51 \pm 2,16$ g/100 g) ve ELM ($33,09 \pm 3,28$

g/100 g) grupları arasında karbonhidrat içeriği bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

STV ($5,53\pm0,68$ g/100 g), AGV ($3,86\pm0,12$ g/100 g), HRM ($4,54\pm0,22$ g/100 g) gruplarının ortalama lif içerikleri ($4,08\pm0,36$ g/100 g) kontrol grubuna benzer bulunmuştur ($p>0,05$). ELM grubunun lif içeriği ($5,31\pm0,15$ g/100 g) anlamlı olarak kontrol grubundan yüksektir ($p<0,05$).

SKR grubunun protein içeriği ($6,17\pm0,52$ g/100 g) diğer tüm gruplarınkine (STV: $7,52\pm0,24$ g/100 g, AGV: $6,27\pm0,27$ g/100 g, HRM: $6,67\pm0,15$ g/100 g, ELM: $6,19\pm0,13$ g/100 g) benzer bulunmuştur ($p>0,05$).

Yağ içeriği en yüksek STV grubudur ($17,97\pm0,77$ g/100 g) ve STV grubunun yağ içeriği ile AGV grubunun yağ içeriği ($18,46\pm0,09$ g /100 g) benzer bulunmuştur ($p>0,05$). AGV grubunun yağ içeriği diğer bütün gruplara (SKR: $17,97\pm0,77$ g/100g, STV: $17,97\pm0,77$ g/100, HRM: $18,53\pm0,70$ g/100 g ve ELM: $18,17\pm0,23$ g/100 g) benzemektedir ($p>0,05$). SKR grubunun yağ miktarı ortalamasının STV grubu hariç diğer grupların yağ miktarı ortalamasından istatistiksel olarak anlamlı bir farkı yoktur ($p>0,05$).

SKR grubunun enerji değeri ortalaması ($379,75\pm4,92$ kkal/100 g) diğer grupların enerji değeri ortalamasından anlamlı olarak daha yüksektir ($p<0,05$). STV grubunun enerji değeri ortalaması ($353,52\pm7,57$ kkal/100 g) AGV ($350,75\pm2,06$ kkal/100 g), HRM ($345,50\pm4,20$ kkal/100 g) ve ELM gruplarına ($341,25\pm0,5$ kkal/100 g) benzer bulunmuştur ($p>0,05$).

Çizelge 3.8. Keklerin temel kimyasal bileşimi (n=4)[‡]

	SKR^a (x±SS)	STV^b (x±SS)	AGV^c (x±SS)	HRM^d (x±SS)	ELM^e (x±SS)	p[*]
Nem (g)	24,19±0,08	35,80±0,08	32,10±0,38 ^{de}	33,04±0,27 ^{ce}	33,28±0,05 ^{cd}	<0,001
Kül (g)	1,22±0,03 ^{de}	1,64±0,04 ^{de}	1,33±0,03 ^{de}	1,47±0,12 ^{abce}	1,46±0,11 ^{abcd}	<0,001
CHO (g)	46,37±0,89	24,17±2,37 ^e	37,98±0,57 ^{de}	33,51±2,16 ^e	33,09±3,28 ^{bcd}	<0,001
Lif (g)	4,08±0,36 ^{bcd}	5,53±0,68 ^{acde}	3,86±0,12 ^{ab}	4,54±0,22 ^{ab}	5,31±0,15 ^b	<0,001
Prt (g)	6,17±0,52 ^{bcd}	7,52±0,24 ^a	6,27±0,27 ^{ade}	6,67±0,15 ^{ac}	6,19±0,13 ^{ac}	<0,001
Yağ (g)	17,97±0,77 ^{cde}	22,85±1,28 ^c	18,46±0,09 ^{abde}	18,53±0,70 ^{ace}	18,17±0,23 ^{acd}	<0,001
Enerji (kkal)	379,75±4,92	353,52±7,57 ^{cde}	350,75±2,06 ^{bd}	345,50±4,20 ^{bce}	341,25±0,50 ^{bd}	<0,001

[‡] Yaş ağırlık üzerinden veriler sunulmuştur.

^{*}One Way ANOVA analizi kullanılmıştır. Varyans homojenliğine göre Tamhane çoklu karşılaştırma testleri ile gruplar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Harf hangi gruba aitse değer o grubunkıyla benzerdir (p>0,05).

SKR: Sükroz ile tatlandırılmış, STV: Stevia ile tatlandırılmış, AGV: Agave şurubu ile tatlandırılmış, HRM: Hurma suyu ile tatlandırılmış, ELM: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek, CHO: Karbonhidrat, Prt: Protein

3.2.4. Keklerin ve Kullanılan Şeker İkamelelerinin HMF Analizi Sonuçları

Şeker ikamesi olarak kullanılan maddelere ve bu maddelerle üretilmiş kek numunelerine ait HMF değeri ortalamaları Çizelge 3.9’da verilmiştir. Şeker ikamesi olarak kullanılan maddelerin HMF içerikleri anlamlı olarak birbirinden farklıdır (p<0,001). Çoklu karşılaştırma testi sonucuna göre hurma suyunun ortalama HMF miktarı (3457,00±49,69 mg/kg) diğer gruplardan anlamlı olarak yüksektir (p>0,05). Diğer şeker ikamelelerinin HMF içeriği istatistiksel anlamda birbirine benzer (p>0,05) olmakla birlikte sıvı stevianın (2,87±0,21 mg/kg) en düşük HMF içeriğine sahip olduğu bulunmuştur.

Keklerin HMF içerikleri incelendiğinde istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu görülmektedir (p<0,001). HRM grubunun HMF içeriği (405,55±29,70 mg/kg) anlamlı olarak diğer gruplardan yüksektir (p<0,05). STV grubu (16,70±4,18mg/kg) kontrol grubuna (61,48±11,78 mg/kg) kıyasla anlamlı olarak daha düşük miktarda HMF içermektedir (p<0,05). AGV (152,03±39,38 mg/kg) ve ELM (220,61±42,32 mg/kg) grubunun HMF içerikleri ise kontrol grubuna benzer bulunmuştur (p>0,05).

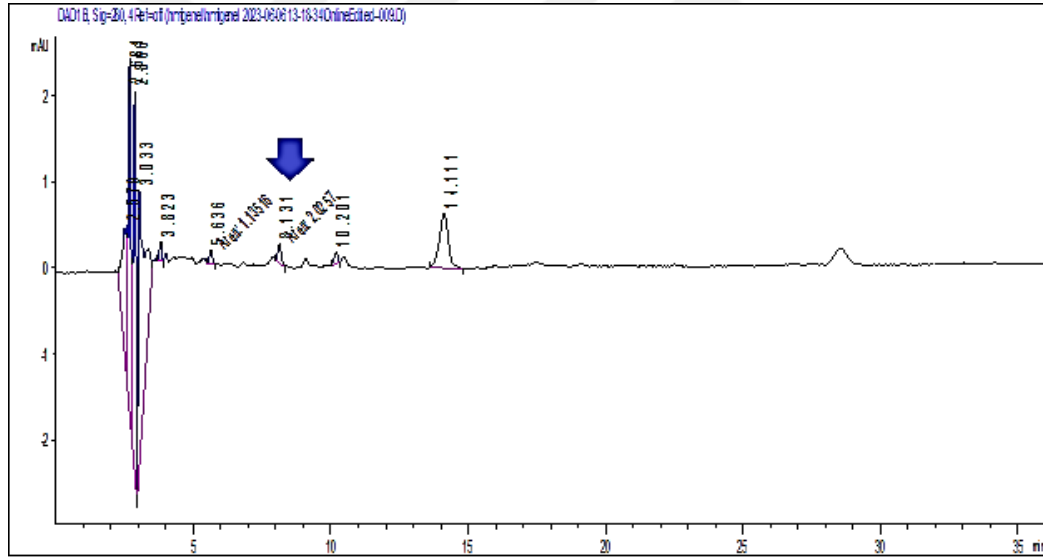
Çizelge 3.9. Şeker ikamelerinin ve keklerin HMF içerikleri^Y (n=4)

	HMF ikame mg/kg ($\bar{x} \pm SS$)	p*	HMF kek mg/kg ($\bar{x} \pm SS$)	p*
SKR^a	---		61,48 $\pm$ 11,78 ^{ce}	
STV^b	2,87 $\pm$ 0,21 ^{ce}		16,70 $\pm$ 4,18 ^{ce}	
AGV^c	382,55 $\pm$ 9,55 ^{bc}	<0,001	152,03 $\pm$ 39,38 ^{abc}	<0,001
HRM^d	3457,00 $\pm$ 49,69		405,55 $\pm$ 29,70	
ELM^e	324,88 $\pm$ 15,80 ^{bc}		220,61 $\pm$ 42,32 ^{abc}	

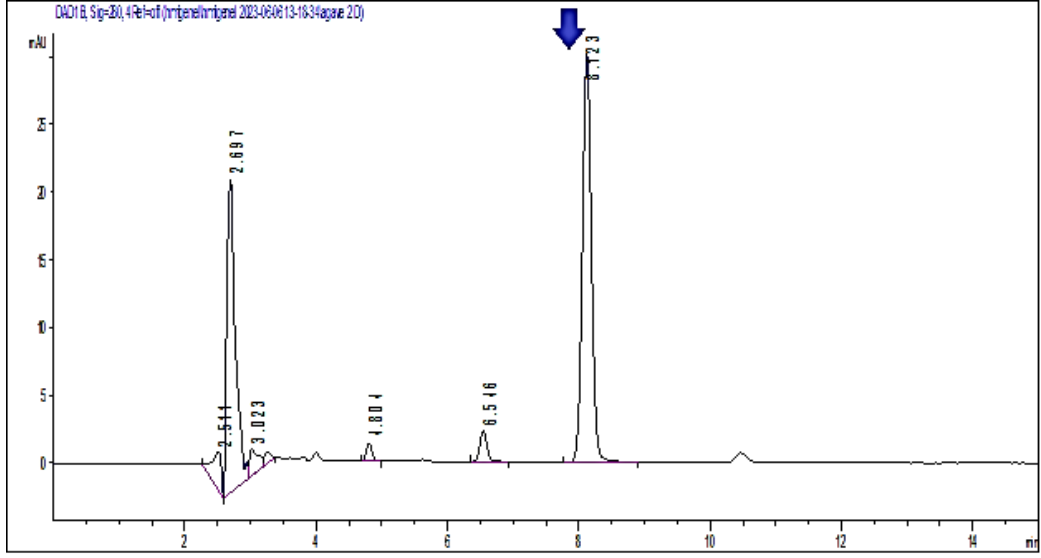
*One Way ANOVA analizi kullanılmıştır. Varyans homojenliğine göre Tamhane çoklu karşılaştırma testleri ile gruplar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Harf hangi gruba aitse değer o grubunkiyle benzerdir (p>0.05).

SKR: Sükroz ile tatlandırılmış, STV: Stevia ile tatlandırılmış, AGV: Agave şurubu ile tatlandırılmış, HRM: Hurma suyu ile tatlandırılmış, ELM: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek.

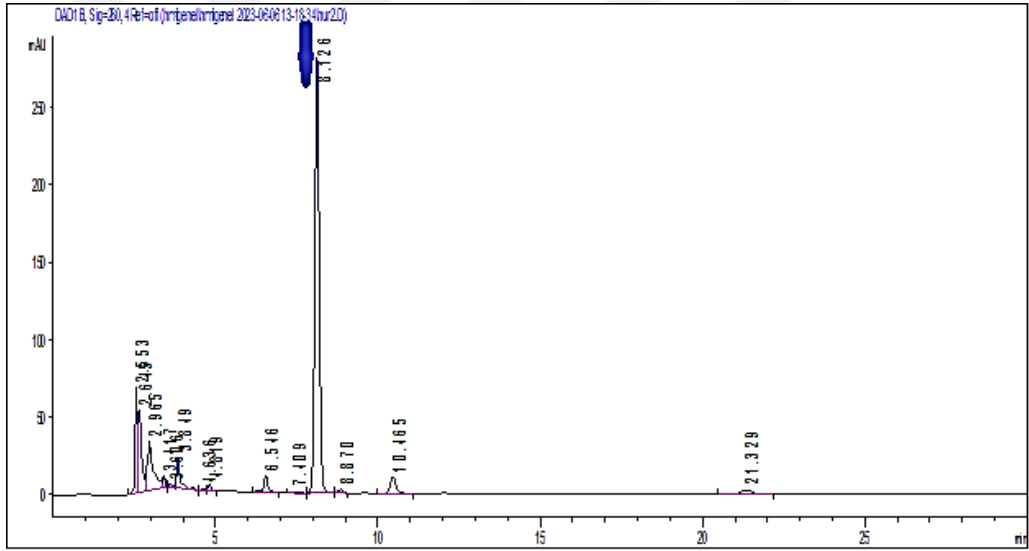
Keklerin yapımında şeker ikamesi olarak kullanılan maddelerin HMF kromatogramları Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 Şekil 3.4'te sunulmuştur.



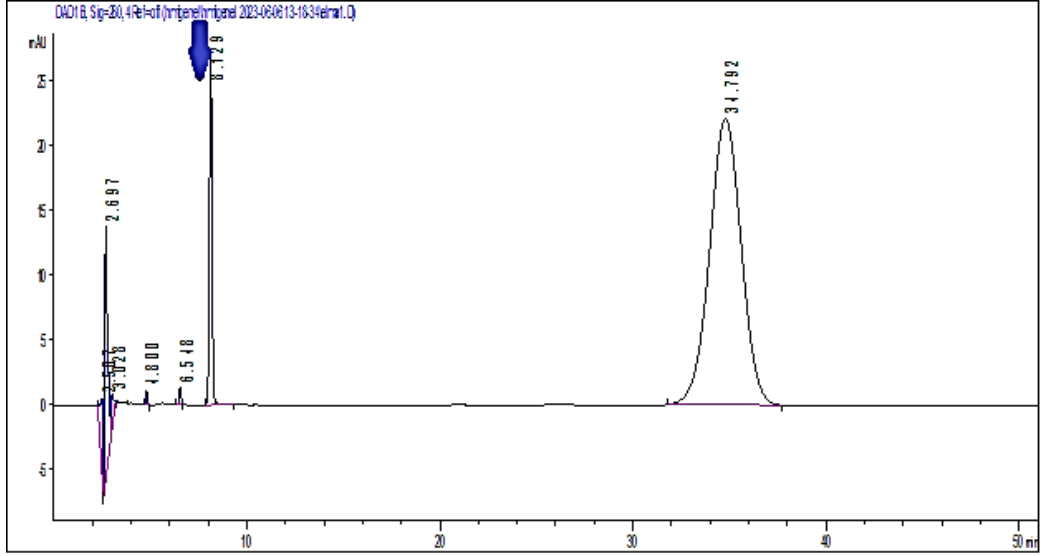
Şekil 3.1. Sıvı stevia örneğine ait HMF kromatogramı



Şekil 3.2. Agave şurubu örneğine ait HMF kromatogramı

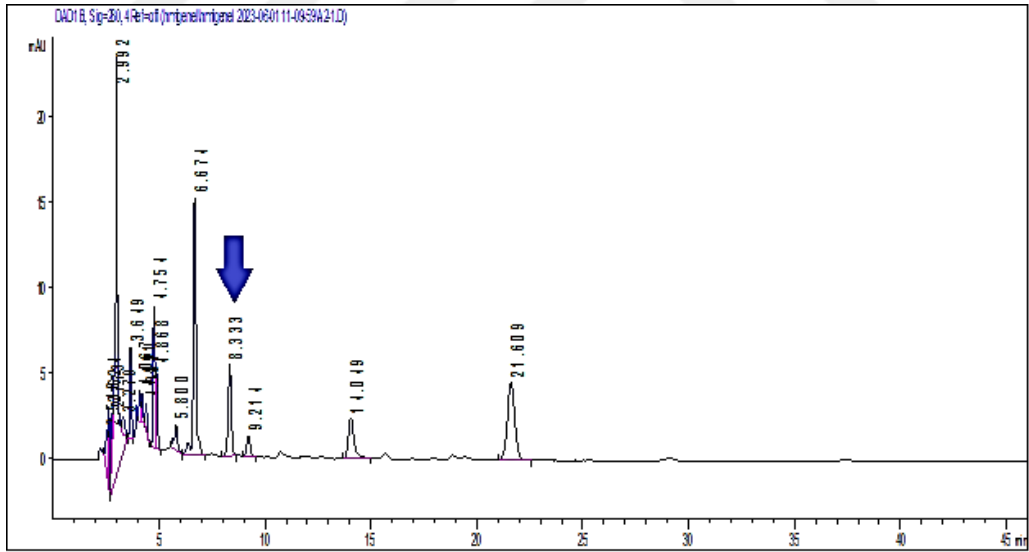


Şekil 3.3. Hurma suyu örneğine ait HMF kromatogramı

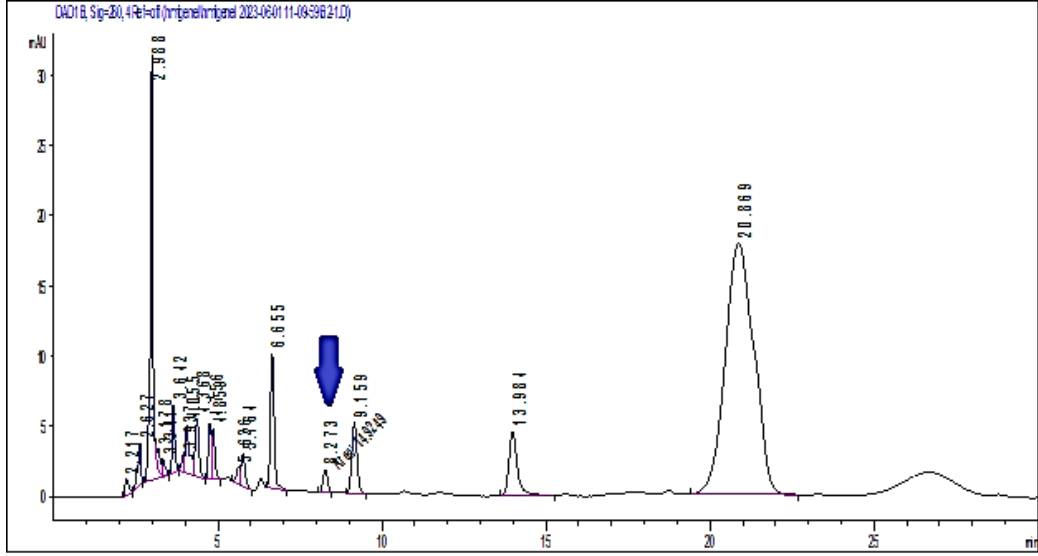


Şekil 3.4. Elma suyu konsantresi örneğine ait HMF kromatogramı

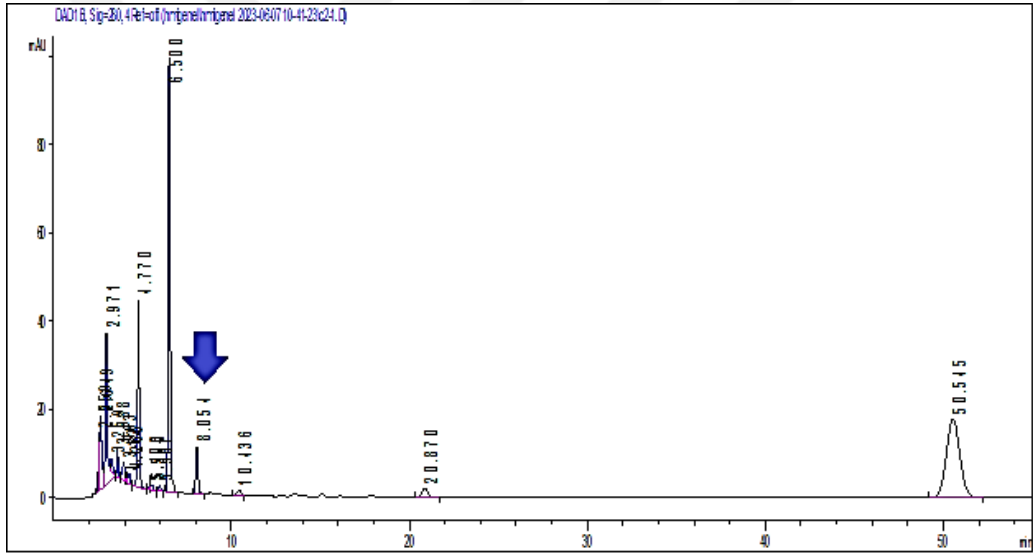
Sükroz, sıvı stevia, agave şurubu, hurma suyu ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış keklere ait HMF kromatogramları sırasıyla Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da sunulmuştur.



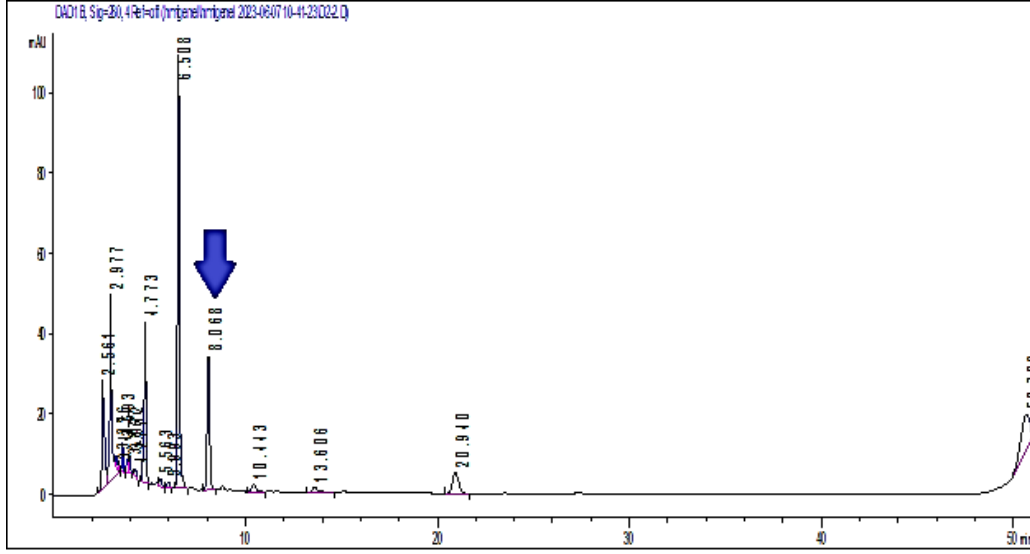
Şekil 3.5. Sükroz ile tatlandırılmış kek (SKR) örneğine ait HMF kromatogramı



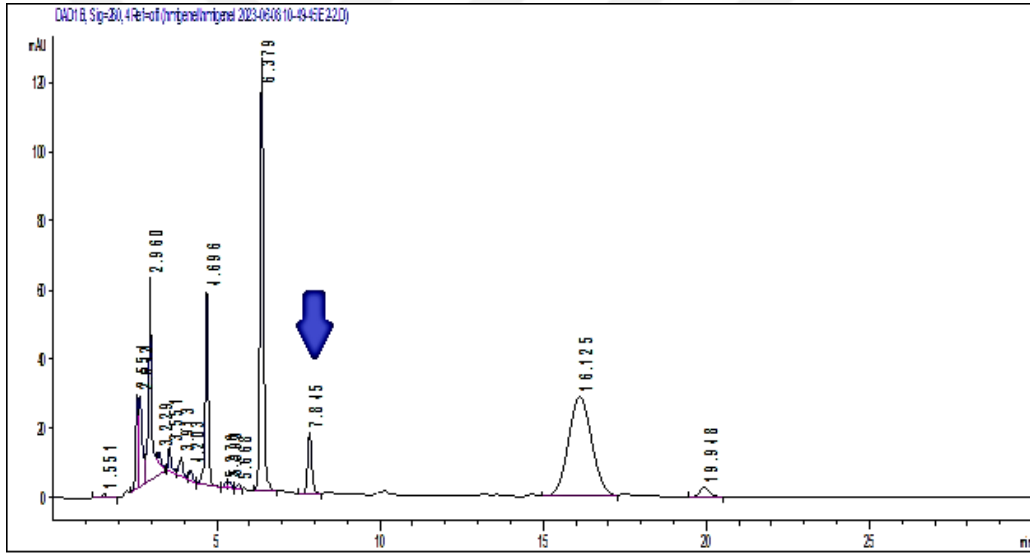
Şekil 3.6. Sıvı stevia ile tatlandırılmış kek (STV) örneğine ait HMF kromatogramı



Şekil 3.7. Agave şurubu ile tatlandırılmış kek (AGV) örneğine ait HMF kromatogramı



Şekil 3.8. Hurma suyu ile tatlandırılmış kek (HRM) örneğine ait HMF kromatogramı



Şekil 3.9. Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek (ELM) örneğine ait HMF kromatogramı

Keklerin HMF değeri ile kek kabuğu kahverengileşme indeksi, kabuk rengi L^* değeri arasındaki korelasyon testi sonuçları Çizelge 3.10’da gösterilmiştir. Buna göre HMF ile kek kabuğunun kahverengileşme indeksi arasında pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı orta bir ilişki ($r=0,420$, $p=0,009$), kabuk L^* değeri arasında negatif yönlü istatistiksel olarak anlamlı orta bir ilişki bulunmuştur ($r=-0,493$, $p=0,002$).

Çizelge 3.10. Kek kabuğunun kahverengileşme indeksi ile HMF arasındaki korelasyon

	Kabuk Kahverengileşme İndeksi		Kabuk L^*	
	r	p*	r	p*
HMF	0,420	0,009	-0,493	0,002

* Spearman korelasyon testi uygulanmıştır.

3.3. Keklerin Duyusal Analiz Sonuçları

Keklere ait duyusal analiz sonuçları Çizelge 3.11’de, sonuçların grafik ile gösterimi Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Duyusal analizde sorgulanan tüm parametrelere ait (görünüş, iç renk, kabuk rengi, lezzet, doku, genel beğeni) ortalama puanlar gruplar arasında anlamlı olarak farklıdır (hepsi için $p<0,001$). Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre kabuk rengi hariç bütün parametrelerde anlamlı olarak en yüksek puanı SKR grubu almıştır ($p<0,05$).

Keklerin görünüşlerine göre aldıkları puan ortalamaları anlamlı olarak en yüksek SKR ($8,20\pm1,24$) grubuna aittir ($p<0,05$). SKR grubunu STV grubu $6,70\pm1,34$ puanla takip etmektedir ve STV grubu anlamlı olarak AGV ($5,30\pm1,86$), HRM ($5,03\pm1,88$) ve ELM ($5,03\pm1,65$) gruplarından daha yüksek puana sahiptir (hepsi için $p<0,05$). İstatiksel olarak AGV, HRM ve ELM grupları görünüş bakımından benzer puana sahip bulunmuştur ($p>0,05$).

Keklerin iç rengine ait duyusal analiz puan ortalaması en yüksek olan grup $8,30\pm0,99$ puan ile SKR’dır ($p<0,05$). STV grubu ($6,80\pm1,49$) anlamlı olarak AGV ($5,10\pm1,65$), HRM ($4,93\pm1,53$) ve ELM ($4,83\pm1,44$) gruplarından yüksektir ($p<0,05$). Keklerin kabuk rengine göre aldıkları puan ortalamaları SKR grubu için $8,07\pm1,34$, STV grubu için $7,07\pm1,34$, AGV grubu için $5,80\pm1,47$, HRM grubu için $5,40\pm1,79$ ve ELM grubu için $5,67\pm1,40$ ’tır. SKR ve STV gruplarının puanları istatiksel olarak benzerken ($p>0,05$), diğer grupların puanları anlamlı olarak SKR ve STV gruplarından daha düşüktür ($p<0,05$). AGV, HRM ve ELM grupları hem iç renk hem kabuk rengi bakımından benzer puanlara sahip bulunmuştur ($p>0,05$).

Keklerin lezzetlerine göre aldıkları puan ortalamaları incelendiğinde SKR grubunun ortalama puanı ($7,90\pm1,35$) diğer grupların ortalama puanından anlamlı olarak daha yüksektir ($p<0,05$). STV grubu ($6,33\pm1,189$) ise kendi aralarında istatiksel olarak benzer olan ($p>0,05$) AGV ($5,30\pm1,47$), HRM ($4,47\pm1,55$) ve ELM ($4,67\pm1,35$) gruplarından istatiksel olarak daha yüksek puana sahiptir ($p<0,05$).

Genel beğeni puanları ortalamaları SKR grubu için 8,03±1,16, STV grubu için 6,30±1,29, AGV grubu için 5,00±1,70, HRM grubu için 4,50±1,78 ve ELM grubu için 4,43±1,48 olarak bulunmuştur. Şeker ikameleri ile tatlandırılan kekler arasında en yüksek puana STV grubu sahiptir ve bu fark istatistiksel olarak da anlamlıdır (p<0,05).

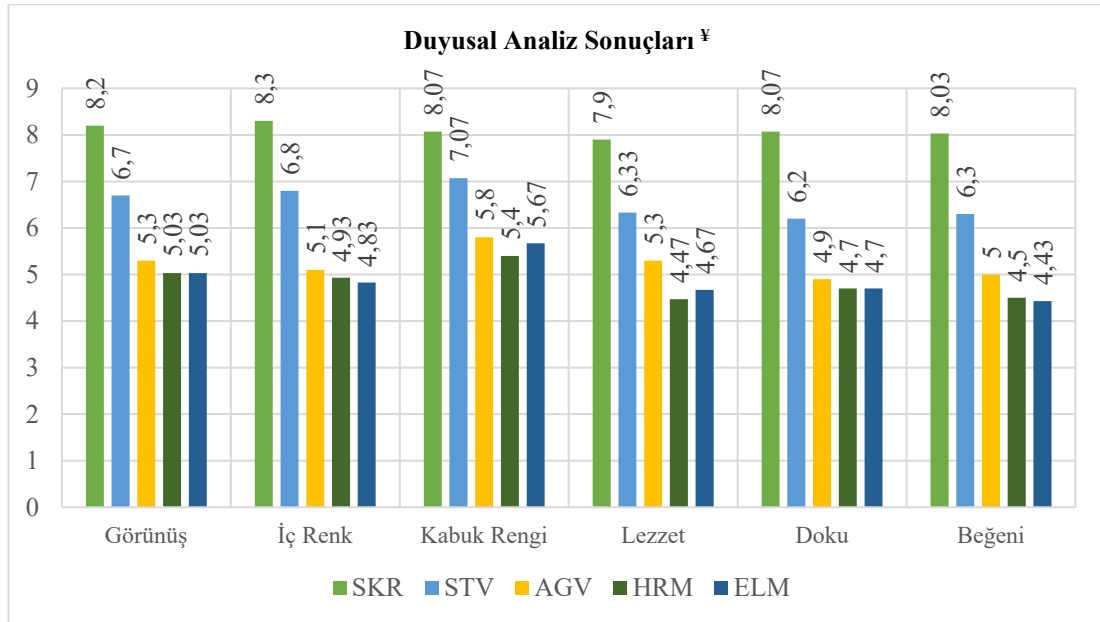
Çizelge 3.11. Keklerin duyusal analiz sonuçları[¶] (9 puanlı hedonik ölçeğe göre)

	Kek Tipi					p*
	SKR ^a (x±SS)	STV ^b (x±SS)	AGV ^c (x±SS)	HRM ^d (x±SS)	ELM ^e (x±SS)	
Görünüş	8,20±1,24	6,70±1,34	5,30±1,86 ^{de}	5,03±1,88 ^{ce}	5,03±1,65 ^{cd}	<0,001
İç renk	8,30±0,99	6,80±1,49	5,10±1,65 ^{de}	4,93±1,53 ^{ce}	4,83±1,44 ^{cd}	<0,001
Kabuk renk	8,07±1,34 ^b	7,07±1,34 ^a	5,80±1,47 ^{de}	5,40±1,79 ^{ce}	5,67±1,40 ^{cd}	<0,001
Lezzet	7,90±1,35	6,33±1,18	5,30±1,47 ^{de}	4,47±1,55 ^{ce}	4,67±1,35 ^{cd}	<0,001
Doku	8,07±1,26	6,20±1,52	4,90±1,75 ^{de}	4,70±1,93 ^{ce}	4,70±1,76 ^{cd}	<0,001
Genel Beğeni	8,03±1,16	6,30±1,29	5,00±1,70 ^{de}	4,50±1,78 ^{ce}	4,43±1,48 ^{cd}	<0,001

¶ Duyusal analiz testleri aynı katılımcılar (n=15) ile 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

*One Way ANOVA analizi kullanılmıştır. Varyans homojenliğine göre Tukey/Tamhane çoklu karşılaştırma testleri ile gruplar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Harf hangi gruba aitse değer o grubunkine benzerdir (p>0.05).

SKR: Sükroz ile tatlandırılmış, STV: Stevia ile tatlandırılmış, AGV: Agave şurubu ile tatlandırılmış, HRM: Hurma suyu ile tatlandırılmış, ELM: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek.



Şekil 3.10. Keklere ait duyusal analiz sonuçları

¶ Duyusal analiz testleri aynı katılımcılar (n=15) ile 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

SKR: Sükroz ile tatlandırılmış, STV: Stevia ile tatlandırılmış, AGV: Agave şurubu ile tatlandırılmış, HRM: Hurma suyu ile tatlandırılmış, ELM: Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış kek.

4. TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında keklerin **fiziksel özelliklerini** belirlemek amacıyla renk analizi, sertlik analizi yapılmış, pişme kaybı ve kek verimi belirlenmiştir. Kek ölçüm şablonu ile keklerin yapısal özelliklerinin belirlenmesinde hacim indeksi, tekdüzelik indeksi ve simetri indeksi değerleri hesaplanmıştır.

Kek örneklerinin renginin belirlenmesinde kullanılan L^* değerinin düşük olması (0-50) koyu renkli numuneyi, yüksek olması (51-100) ise açık renkli numuneyi gösterir. a^* değerinin pozitif yönde artışı kırmızı tonundaki artışı, negatif yönde artışı ise yeşil tonundaki artışı gösterir. b^* değerinin pozitif yönde artışı sarı tondaki artışı, negatif yönde artışı ise mavi tonundaki artışı temsil etmektedir (Milner vd., 2020).

Sükroz ile tatlandırılan kekin **iç renginin** L^* değeri anlamlı olarak diğer keklerden yüksektir ($p<0,05$). Yani bütün şeker ikameleri ile tatlandırılan keklerin iç renginin daha koyu olduğu bulunmuştur (Bkz. Çizelge 3.1). Yapılan çalışmalar bu bulguyu desteklemektedir. Sükrozun hurma suyu ile ikame edilmesi sonucu kek hamurunun L^* değeri anlamlı olarak düşmüştür (Hedayati,Ansari, vd., 2022). Benzer şekilde agave şurubu ve üzüm şurubunun ikame oranındaki artışın kek iç renginin L^* değerini anlamlı olarak düşürdüğü bulunmuştur (Mehrabi vd., 2017; Ozuna vd., 2020). Tüm grupların kek içi renginin a^* değeri anlamlı olarak kontrol grubundan yüksektir ($p<0,05$). Stevia ile tatlandırılan kek hariç bütün grupların kek içi renginin b^* değeri anlamlı olarak kontrol grubundan düşüktür ($p<0,05$). Stevia ile tatlandırılan kek ile kontrol grubunun kek içi renginin b^* değerleri ise benzer bulunmuştur ($p>0,05$) (Bkz. Çizelge 3.1). Kekin iç sıcaklığı pişirme esnasında Maillard ve karamelizasyon için yeterli düzeye ulaşmaz. Bu nedenle kekin iç rengi büyük oranda formülasyonundaki maddelerin rengine bağlı olarak belirlenmektedir (Aslan ve Ertaş, 2020; Hedayati,Ansari, vd., 2022). Kullanılan şeker ikamelerinin her birinin renginin birbirinden farklı olduğu düşünülürse (Bkz. Şekil 2.1) bu ikamelerle üretilmiş keklerdeki iç renge ait L^* , a^* , b^* değerlerinin kontrol grubundan farklı olması beklenen bir durumdur. Ayrıca kek formülasyonlarının toplam hamur ağırlıklarındaki farklılıklar kek iç renginin oluşmasında etkili faktörlerin (ikame rengi, yumurta rengi vb.) seyrelnesine ya da derişmesine yol açtığı için de renk farklılıkları oluşmuş olabilir.

Keklerin **kabuk renginin** L^* değeri incelendiğinde kontrol grubuna kıyasla stevia ile tatlandırılan kekin L^* değeri anlamlı olarak yüksek ($p<0,05$), agave şurubu ile tatlandırılan kekin L^* değeri anlamlı olarak düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Başka bir deyişle stevia ile tatlandırılan kek kontrol grubuna kıyasla daha açık renkli kabuk rengine, agave şurubu ile tatlandırılan kek ise kontrol grubuna kıyasla daha koyu renkli kabuk rengine sahiptir. Hurma suyu ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan keklerin L^* değeri kontrol grubuna benzer bulunmuştur ($p>0,05$). Tüm grupların kek kabuk renginin a^* değeri anlamlı olarak kontrol grubundan düşüktür ($p<0,05$). Kekin kabuk renginin b^* değeri incelendiğinde kontrol grubuna kıyasla stevia ile tatlandırılan kekin daha yüksek ($p<0,05$), agave şurubu ile tatlandırılan kekin daha düşük ($p<0,05$), hurma suyu ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kekin benzer değere sahip olduğu görülmektedir ($p>0,05$) (Bkz. Çizelge 3.2).

Kekte kabuk rengini belirleyen en önemli faktörlerden biri esmerleşmedir. Kek kabuğunun esmerleşmesi şekerlerin karamelizasyonu ve Maillard reaksiyonu ile ilişkilendirilmektedir (Psimouli ve Oreopoulou, 2012). Kabuk BI değerlerine bakıldığında yalnızca stevia ile tatlandırılan kekin BI değerinin farklı olduğu ve anlamlı olarak diğer gruplardan düşük olduğu yani daha az esmerleştiği bulunmuştur ($p<0,05$) (Bkz. Çizelge 3.2). Bu bulgu Gao ve ark. (2017)'nin çalışması ile benzerdir (Gao vd., 2017).

Hem karamelizasyon hem de Maillard reaksiyonu ortamda indirgen şeker varlığında gerçekleşmektedir (Purlis, 2010). Agave şurubu, elma suyu konsantresi ve hurma suyu bu şekerleri içermektedir (Derouich vd., 2020; Leopold vd., 2009; Ozuna ve Franco-Robles, 2022). Sükrozun termal hidrolizi ile indirgen şekerler oluşmaktadır. Ayrıca sükroz doğrudan karamelizasyon ile de kabuk rengine katkı sunmaktadır (Purlis, 2010). Rebaudioside A'nın termal koşullarda oldukça stabil olduğu, stevia'nın esmerleşme ve Maillard reaksiyonlarına katılmadığı düşünüldüğünde stevia ile tatlandırılan kekin kabuk renginin en düşük BI değerine sahip olması beklenen bir durumdur (Lemus-Mondaca vd., 2012). Yüksek tatlandırma özelliğine sahip maddelerin indirgen şekerlerle (fruktoz, glikoz) birlikte formülasyonda yer almasının kek stabilitesi ve dokusunda ihmal edilebilecek ölçüde değişikliğe yol açarak kabuk renginde iyileşme sağlayabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle kabuk renginde istenilen esmer rengin oluşması için sıvı stevia ile tatlandırılan keke indirgen şekerlerin de eklendiği formülasyonlar geliştirilebilir (Van der Sman ve Renzetti, 2021). Gao ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada kakao tozunun steviadan kaynaklı kabuk rengi değişimini azalttığını göstermiştir (Gao vd., 2017). Bu çalışmadan hareketle kabuk renginin kontrol grubuna benzemesini

sağlamak amacıyla sonraki çalışmalarda standart reçeteye kakao gibi kek rengini benzer hale getirecek ürünlerin eklenmesi de denenebilir.

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) $L^*a^*b^*$ sistemi ile CIE $L^*C^*h^*$ sistemi benzerlik göstermektedir. $L^*C^*h^*$ sistemindeki C^* değerinin yüksekliği daha canlı rengi, düşüklüğü ise daha mat rengi belirtmektedir (Gómez vd., 2008). Çalışmamızda agave şurubu ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kekler kontrol kekine kıyasla hem kabuk rengi hem iç rengi bakımından daha mat bir görüntüye sahiptir.

$L^*C^*h^*$ sistemindeki h^* değeri a^* ve b^* değerlerinin polar koordinat sisteminde (renk uzayında) gösterimi anlamına gelen hue açısı olarak tanımlanmaktadır. Değerin ilk kadranda yer alması (0° - 90°) mor-kırmızı rengi, ikinci kadranda yer alması (90° - 180°) sarı rengi, üçüncü kadranda yer alması (180° - 270°) mavimsi-yeşil rengi, dördüncü kadranda yer alması (270° - 360°) mavi rengi işaret etmektedir (Keskin vd., 2017; McGuire, 1992; Yoğurtçu, 2019). Çalışmamızda bütün grup keklerin iç ve kabuk renkleri h^* açısına göre ilk kadranda yer almaktadır. Yani düşük h^* değeri daha kırmızı rengi, yüksek h^* değeri ise daha sarı rengi ifade etmektedir. h^* açısı farklılıklarının tüketiciler tarafından L^* ve C^* değerlerine kıyasla daha kolay ayırt edilebildiği bildirilmiştir (Beraldo vd., 2023). Bu bilgiler ışığında tüketicilerin de fark edebileceği düzeyde şeker ikameleri içeren bütün keklerin iç renklerinin kontrol grubuna kıyasla daha kırmızımsı olduğu söylenebilir ($p<0,05$). Stevia ile tatlandırılan kekin kabuk renginin anlamlı olarak diğer tüm keklerden daha yüksek h^* değerine sahip olması ise diğer tüm keklere kıyasla daha sarımsı bir kabuk rengine sahip olduğunu göstermektedir ($p<0,05$) (Bkz. Çizelge 3.2).

Stevia ile tatlandırılan kekin kabuk rengi analizindeki L^* , a^* , b^* , h^* ve BI değerlerinin hepsi diğer keklerin kabuk renginden anlamlı olarak farklıdır ($p<0,05$). Su aktivitesi kabuk oluşumunda ve dolayısıyla kabuk renginde etkili faktörlerden bir diğeridir (Primo-Martín vd., 2009). Su aktivitesi anlamlı olarak stevia ile tatlandırılan kekten en yüksektir ($p<0,05$) (Bkz. Çizelge 3.7). Bu durum esmerleşme reaksiyonları yanı sıra su aktivite değerindeki yüksekliğin de kabuk rengindeki farklılıkların nedenlerinden biri olabileceğini düşündürmektedir.

ΔE değeri kontrol keki (sükroz ile tatlandırılan kek) ve şeker ikameleri ile tatlandırılan keklerin renk farklılıklarının değerlendirilmesinde kullanılan bir ölçümdür (Król vd., 2019). ΔE değerinin 3'ten büyük olması durumunda insan gözü renk farkını kolaylıkla algılayabilmektedir (Baixauli, Salvador, vd., 2008) Sükroz ile tatlandırılan kek kontrol grubu

alınarak hesaplama yapıldığında diğer tüm gruplarda hem iç rengi hem kabuk rengi için ΔE değerlerinin 3'ün üzerinde olduğu bulunmuştur. Başka bir deyişle şeker ikameleri kullanılarak üretilen bütün keklerin kabuk ve iç renkleri gözle ayırt edilebilecek düzeyde kontrol grubuna göre farklıdır ($\Delta E > 3$) (Bkz. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2). Çalışmamıza benzer şekilde sükrozun hurma suyu ile %25-%50-%75 oranlarında ikame edilmesi sonucunda tüm örneklerdeki kabuk ve iç renklerindeki toplam renk değişimleri gözle ayırt edilebilir düzeyde bulunmuştur (Lajnef vd., 2021). Toplam renk değişimi kabuk rengi için (ΔE ; STV: 8,67±3,4; AGV: 7,90±2,96; HRM: 4,44±1,83, ELM: 4,80±2,39) daha minimal düzeydeyken; iç renginde (ΔE ; STV:11,28±1,77, AGV: 20,08±1,05, HRM: 14,14±2,00, ELM: 19,71±1,12) görece daha yüksektir (Bkz. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2). Bu durum duyusal analizde iç renk ve kabuk rengine verilen puanlarda da kendini göstermiştir.

Sertlik katı besinler için yiyeceğin ağızda çiğnenmesi sırasında dişlerin uyguladığı basınca karşı gösterilen güç olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle besini fiziksel olarak parçalayabilmek için gerekli olan güçtür (Ertaş ve Doğruer, 2010; Gerçekaslan vd., 2007). Sertlik dokunma duyusu ile tespit edilebilen, özellikle unlu mamullerde tüketim kalitesini etkileyen en önemli kalite unsurlarından biridir (Bourne, 2002; Gökçe vd., 2023). Keklerin sertlik değeri incelendiğinde en düşük değer sükroz ile tatlandırılan keke aittir (537,65±53,73). Bu durum istatistiksel olarak da anlamlıdır ($p < 0,05$) (Bkz. Çizelge 3.3) Çalışmamıza benzer şekilde Raei ve ark. (2016) en yüksek sertlik oranını en yüksek oranda hurma şurubu ile ikame edilen keklerde bulmuştur (Raei vd., 2016). Ayoubi ve ark. (2017) sükrozun hurma suyuyla ikame oranındaki artışın keklerin sertlik miktarını da arttırdığını belirtmiştir (Ayoubi ve Porabolghasem, 2017). Sükrozun stevia ile %100 oranında ikame edildiği bir çalışmada keklerin sertlik değerleri anlamlı olarak yükselmiştir. Aynı çalışmada sükroz içeren kekin sertlik değeri 243,43±49,10 iken; sükrozun %100 stevia ile aynı miktarda (g) ikame edilmesi sonucu sertlik değeri yaklaşık olarak 6 katına (1418,87±307,98) çıkmıştır (Gao vd., 2016). Bizim çalışmamızdaki sertlik değerinde bu denli belirgin bir artışın görülmemesi nedeni çalışmada toz form yerine sıvı formda stevia'nın tercih edilmesi veya çok daha düşük miktarlarda stevia kullanılması olabilir.

Sükrozun keklerde yumuşatıcı bir etkide bulunduğu bilinmektedir (Mercan ve Boyacıoğlu, 1999). Bu nedenle sükroz içermeyen keklerin sertlik değerinin kontrol grubundan yüksek olması şaşırtıcı bir sonuç değildir. Bununla birlikte başka bir çalışmada sükrozun agave şurubu ile %25-50-75-100 oranında ikame edildiği tüm oranlar için sertlik değeri kontrol grubuna kıyasla anlamlı olarak düşük bulunmuştur (Ozuna vd., 2020). Benzer şekilde hurma

ve incir şurupları kullanılarak üretilen keklerin sertliklerinin incelendiği başka bir çalışmada da sükröz grubuna kıyasla şurup kullanılan keklerin sertlik değeri anlamlı olarak daha düşük bulunmuştur. Araştırmacılar tarafından bu durumun sebebi ‘şurupların içerisinde bulunan organik asitlerin nişasta ve gluten proteinlerinin hidrolize edilmesinde ve kekin dokusunun yumuşatılmasında etkili olması’ olarak belirtilmiştir (Hedayati, Ansari, vd., 2022). Buradan hareketle literatürdeki sonuçların çelişkili olması kullanılan şurupların saflık derecesi veya içerdiği kimyasal bileşenlerin farklılığı ile ilişkili olabilir.

Sertlik kekin hacmi ve dolayısıyla kekin içerdiği toplam hava hacmi ile de yakından ilişkilidir. Kek içinde hapsolmuş hava kabarcıklarının hücre boyutu arttıkça ürün daha düşük yoğunluğa ve daha yumuşak bir yapıya sahip olur (Rodríguez García vd., 2014). Keklerin tam hacim miktarını göstermese de keklerin hacimleri hakkında bilgi verdiği için **hacim indeksi** değerleri kullanılabilir (Guy ve Vettel, 1973). Çalışmamızdaki keklerin hacim indekslerine bakıldığında bu bilgiyle paralellik gösterecek şekilde en düşük sertlik değerine sahip olan sükröz ile tatlandırılmış kekin hacim indeksi değeri ($166,50 \pm 4,04$) şeker ikamesi kullanılan tüm keklerden anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$) (Bkz. Çizelge 3.4).

Ortamda sükröz varlığının unlu mamul hacimleri ile doğrudan ilişkili olduğu birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Baeva vd., 2003; De La Hera vd., 2013; Khouryieh vd., 2005). Sükröz, nişastanın jelatinleşme sıcaklığını $57\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’den $92\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye çıkartmakta ve bu sayede kekin sertleştiği sıcaklık derecesini de yükseltmektedir. Böylece hava kabarcıkları, kek sertleşmeden önce karbondioksit ve su buharı tarafından uygun şekilde genişletilerek kekte istenilen hacmin oluşmasını sağlamaktadır (Manisha vd., 2012; Spies ve RC, 1982). Sükröz ayrıca higroskopik özelliği sayesinde kek hamurunun vizkozitesini arttırmaktadır. Yüksek vizkozite hava kabarcıklarının kekin içinde hapsolmasını ve son ürünün hava ile dolarak hacminin artmasını sağlamaktadır (Milner vd., 2020). Bu nedenle sükröz ikamesi yapılacak unlu mamullerde yüksek su tutma kapasitesine sahip hacim arttırıcı maddeleri (izomalt gibi) de içerecek şekilde formülasyonlar geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Hamzah vd., 2013). Bununla birlikte sükrözün %100 oranında ikame edilmesi yerine belirli oranlarda ikame edilerek şeker ve şeker ikamesinin birlikte kullanımı da kek hacminde görülecek olumsuzlukları ortadan kaldırabilir. Palamutoğlu ve ark. (2018) yapmış olduğu çalışmada sükrözün %25-%50-%75 oranlarında stevia ile ikame edilmesinin keklerin hacim indeksleri arasında anlamlı bir fark oluşturmadığını bildirmiştir (Palamutoğlu vd., 2018).

Simetri indeksi keklerin dış hat profillerini belirlemek için kullanılır. Merkezi eksen ile yanal eksenler arasındaki yükseklik farklarını gösteren bir değerdir. Dolayısıyla, simetri indeksinin pozitif değerde olması keklerin esas olarak orta kısımlarında yükseldiğini gösterirken, negatif değerli bir simetri indeksi kek hacminin pişirme sürecinin sonunda düştüğünü gösterir. Bu duruma çökme denilmektedir. Pozitif değerli simetri indeksi için değerdeki artış kekin daha kavisli olduğunu, azalış ise kekin düz yüzeye sahip olduğunu gösterir (Ertaş, 2021). Simetri indeksi son pişirme aşamasındaki kabarma (hava hapsedme) hakkında fikir vermektedir (Gómez vd., 2008). Çalışmamızda çökme olduğu tespit edilen tek kek örneği agave ile tatlandırılmış olandır ($-1,50 \pm 1,29$). Simetri indeksi en yüksek olan kek (yüzeyi en kavisli) kontrol grubudur ve bu fark istatistiksel olarak da anlamlıdır ($p < 0,05$). Hurma suyu, elma suyu konsantresi ve sıvı stevia ile tatlandırılan kekler benzer simetri indeksi değerlerine sahiptir ve kontrol grubuna kıyasla daha düz yüzeye sahiptir ($p > 0,05$) (Bkz. Çizelge 3.4).

Çalışmadaki tüm grupların **tekdüzelik indeksi** bakımından benzer olduğu bulunmuştur ($p = 0,462$). Tekdüzelik indeksi kekin simetrik olup olmadığını belirlemede kullanılır ve bu değer 0'a yakın olması istenir (Aslan ve Ertaş, 2020). Çalışmamızda istatistiksel olarak farklılık olmamakla birlikte tekdüzelik indeksi 0'dan en uzak değere sahip kek stevia ile tatlandırılan kektir ($6,50 \pm 12,45$). Şekil 2.3'ten de kekin simetrik kabarmadığı, kabarmanın belirgin olarak tek tarafta gerçekleştiği fark edilebilmektedir. Diğer keklerin tekdüzelik indeksleri 0'a oldukça yakın bulunmuştur. Sıfıra en yakın tekdüzelik indeksi değeri agave ile tatlandırılan keke ($0,00 \pm 2,16$) aittir (Bkz. Çizelge 3.4). Bununla birlikte bu kekte çökme gözlemlendiği için tekdüzelik indeksinin 0'a yakın bulunmuş olma ihtimali de göz önünde bulundurulmalıdır.

Pişme sırasında oluşan ağırlık kaybı kek yapısında değişikliğe neden olur ve ürünün raf ömrünü azaltır. **Pişme kaybının** düşük olması unlu mamullerin dokusunu ve kalitesini iyileştirdiği için önemli bir parametredir. Kekte ağırlık kaybı, çözünmeyen malzeme konsantrasyonuna bağlı olarak pişirme sırasında buharlaşan su miktarını ifade etmektedir (Ateş ve Elmacı, 2019; Karp vd., 2017; Parseh vd., 2023). Pişme kaybı anlamlı olarak sükroz ile tatlandırılan kekte şeker ikameleri kullanılan keklere kıyasla daha düşük, dolayısıyla **kek verimi** ise daha yüksektir ($p > 0,05$) (Bkz. Çizelge 3.5). Palamutoğlu ve ark. (2018) sıvı stevia ile sükrozun ikame edildiği keklerde de benzer sonuç bulmuştur. En yüksek pişirme kaybı en yüksek oranda stevia içeren kekten en yüksek verim sükroz ile tatlandırılan kekte bulunmuştur (Palamutoğlu vd., 2018). Çalışmamızda kullanılan bütün şeker ikameleri sıvı

formdadır. Bu nedenle şeker ikameleri ile pişirilen keklerde pişirme sırasında buharlaşma ile kaybın kontrol kekine kıyasla daha fazla olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında keklerin **kimyasal özelliklerini** belirlemek amacıyla pH analizi, su aktivitesi analizi yapılmıştır. Keklerin temel kimyasal bileşenleri (makro besin öğeleri, nem, enerji) tespit edilmiştir. Ayrıca bütün kek örneklerinin yanı sıra şeker ikamesi olarak kullanılan sıvı stevia, agave şurubu, hurma suyu ve elma suyu konsantresinin de HMF içerikleri analiz edilmiştir. Keklerin HMF değeri ile kabuk kahverengileşme indeksi ve L^* değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Çalışmamızda stevia ile tatlandırılan kekin **pH** değeri kontrol grubuna ($7,27 \pm 0,06$) benzer bulunurken ($p > 0,05$), diğer grupların pH değeri anlamlı olarak kontrol grubundan düşüktür ($p < 0,05$) (Bkz. Çizelge 3.6). Yapılan çalışmalarda hurma şurubunun pH değeri 3,94-4,37 arasında, elma suyunun pH değeri 2,88-3,83 arasında ve agave şurubunun pH değeri 3,66-5,78 arasında bulunmuştur (Akkaya ve Karataş, 2016; Derouich vd., 2020; Ozuna ve Franco-Robles, 2022). Bu nedenle bu ürünlerin standart formülasyonda şekere ikame edilmesi ortamın daha asidik olmasına yol açmıştır. Stevia ikamesi pH değerinde artışa yol açmakla birlikte (SKR için pH: $7,27 \pm 0,06$, STV için pH: $7,34 \pm 0,02$) artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Bu durum diğer ikamelere kıyasla çok düşük miktarda (9 ml) stevia eklenmiş olmasından kaynaklanabilir. Toz stevianın sükroza ikame edildiği çalışmada %100 sükroz içeren kekin pH değeri çalışmamıza benzer şekilde 7,55 bulunmuştur. Stevia ikame oranının artışı pH değerinin yükselmesi ile sonuçlanmıştır (%75 ikame için pH:7,80).

Optimum kek hacmi, partikül boyutu ve dokusu yalnızca uygun pH seviyelerinde sağlanmaktadır (Ertaş, 2021). Kek hamuru pH değerinin artması kek hacminin artmasına ve büyük kek gözenek yapısına neden olurken; azalması daha sert, daha küçük gözenekli kek yapısına ve daha düşük kek hacmine yol açmaktadır (Pyler, 1988). pH, hacim indeksi ve sertlik arasındaki bu ilişki çalışmamız sonuçlarıyla desteklenmiştir.

Şeker ikamesi kullanılan bütün keklerin **su aktivitesi** değeri anlamlı olarak sükroz ile tatlandırılan keke (a_w : $0,8673 \pm 0,0083$) kıyasla yüksek bulunmuştur ($p > 0,05$) (Bkz. Çizelge 3.7). Bilindiği üzere sükrozun higroskopik özelliği sayesinde su aktivitesini düşürme etkisi bulunmaktadır (Wilderjans vd., 2013). Şeker ikamelerinin %100 oranında yapılması (tarifelere hiç sükroz eklenmemesi) ve kullanılan şeker ikamelerinin sıvı formda olması şeker ikamelerini

içeren keklerin aw değerinin kontrol grubuna kıyasla daha yüksek olmasına neden olmuş olabilir.

Su aktivitesi değerleri incelendiğinde stevia ile tatlandırılmış kekin aw değeri ($0,9380 \pm 0,0033$) anlamlı olarak diğer keklerden daha yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$). Stevia ile tatlandırılan keki hurma suyu ile tatlandırılan kek ($aw: 0,9143 \pm 0,0013$) takip etmektedir. Elma suyu konsantresi ve agave şurubu ile tatlandırılan kek ise (sırasıyla: $0,9005 \pm 0,0037$; $0,9000 \pm 0,0022$) benzer aw değerine sahiptir (Bkz. Çizelge 3.7). Williams ve ark. (2023) tarafından yürütülen çalışmada benzer şekilde farklı stevia glikozitlerini içeren keklerin aw değerleri ($0,94 \pm 0,013$ ile $0,96 \pm 0,007$ arasında) anlamlı olarak sükroz içeren keklerinkinden ($0,87 \pm 0,009$) yüksek bulunmuştur (Williams, 2023). Başka bir çalışmada sükrozun stevia ile ikame oranının artması keklerdeki aw değerini arttırmış. Tatlandırmak amacıyla 105 g şeker + 3,93 g stevia ekstratı kullanılan keklerin aw değeri $0,800 \pm 0,07$ iken; 35 g şeker + 11,80 g stevia ekstratı kullanılan keklerin aw değeri $0,861 \pm 0,07$ bulunmuştur (Palamutoğlu vd., 2018).

Su aktivitesi ürün tasarımı, raf ömrü ve gıda güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Ürünün su aktivitesinin belirli bir düzeyin altında tutulması olası mantar, küf ve bakteri gelişimini en aza indirerek raf ömrünün uzamasını sağlamaktadır (Król vd., 2019; Psimouli ve Oreopoulou, 2012). Yapılan bir çalışmada şeker ikamesi olarak stevia içeren farklı hazır kek karışımlarından yapılan kekin (aw değerleri 0,893 ile 0,971 arasında değişmektedir) sükroz içeren keke (0,869) kıyasla su aktiviteleri yüksek bulunmuştur. Çalışma sonucunda özellikle stevianın evde pişirilen unlu mamullerde kullanımının raf ömründe azalmaya neden olabileceği ve tüketiciye stevia içeren ürünlerin saklama koşullarına ilişkin ek öneriler sunulması gerekliliği bildirilmiştir (Rodríguez vd., 2016). Su aktivite değerleri incelendiğinde sükroz ile tatlandırılan keke kıyasla su aktivite değerlerinin yüksek olması dolayısıyla stevia için geçerli olan saklama koşullarına ilişkin hususlar unlu mamullerde elma suyu konsantresi, agave şurubu ve hurma suyu kullanıldığı durumlarda da göz önüne alınmalıdır.

Gıdalardaki **nem** miktarı kalite göstergelerinden birisidir ve unlu mamullerde arzu edilen duyuşsal özelliklerden biridir. Uygun miktarda nem genellikle yumuşak ürünle ilişkilendirilmektedir (Dadkhah vd., 2012). Çalışmamızda su aktivitesine benzer şekilde anlamlı olarak en yüksek nem miktarı stevia ile tatlandırılan keke ($35,80 \pm 0,08$), en düşük nem miktarı sükroz ile tatlandırılan keke ($24,19 \pm 0,08$) aittir (Bkz. Çizelge 3.8). Benzer şekilde yapılan çalışmalarda sükrozun stevia ile ikame oranındaki artışın kekin nem değerini arttırdığı bulunmuştur (Khorshidpour vd., 2021; Palamutoğlu vd., 2018; Sulaiman vd., 2022). Hurma

şurubunun sü kroza ikame edildiği bir çalışmada çalışmamız bulgularıyla örtüşecek şekilde hurma şurubu ikame oranının artması ile keklerin nem oranı da artmıştır. Bu durum araştırmacılar tarafından şu şekilde açıklanmıştır: Şekerler hidroksil grupları nedeniyle su ile hidrojen bağı kurarlar. Sü kroza kıyasla hurma şurubu şekerlerinin daha fazla fonksiyonel grup içermesi daha fazla hidrojen bağı oluşmasına neden olmuş olabilir. Daha fazla hidrojen bağı ise serbest suyun hareketliliğinin azalmasına ve dolayısıyla kekin nem miktarının artmasına yol açmış olabilir (Ayoubi ve Porabolghasem, 2017). Çalışmadaki diğer şeker ikamelerinde de benzer fonksiyonel grupların bulunduğu düşünüldüğünde çalışmada sü kroz içermeyen keklerin nem içeriğinin daha yüksek bulunması benzer şekilde açıklanabilmektedir.

Çizelge 3.8’de verilen **enerji ve makro besin öğeleri** değerleri yaş ağırlık üzerinden hesaplanmıştır. Yani bir kişinin 100 g’lık kek tüketimiyle almış olacağı enerji, protein, karbonhidrat ve yağ miktarını göstermektedir. Karbonhidrat içeriği anlamlı olarak en yüksek sü kroz ile tatlandırılan keke aittir ($p<0,05$). Üretilen keklerin enerji değeri içeriklerine bakıldığında sü kroz ile tatlandırılan kekin enerji değeri ($379,75\pm0,92$ kkal/100 g) anlamlı olarak diğer keklerden yüksektir ($p<0,05$). Şeker ikameleri içeren keklerin enerji değerlerinde kontrol grubuna kıyasla %6,86 ile %10,03 arasında bir azalma gözlenmiştir. Şeker ikamelerinin gramı başına enerji değerleri sü krozdan düşük olduğu için bu durum beklenen bir bulgudur.

Stevianın enerji değeri diğer şeker ikamelerinden farklı olarak sıfıra eşit olmasına karşın (Bkz. Çizelge 2.2) stevia ile tatlandırılan kek ($353,52\pm7,57$ kkal/100 g) diğer şeker ikameleri ile tatlandırılan keklerle (AGV: $350,75\pm2,06$ kkal/100 g, HRM: $345,50\pm4,20$ kkal/100 g, ELM: $341,25\pm0,50$) benzer enerji değerine sahiptir ($p>0,05$). Çizelge 2.1 incelendiğinde keklerin toplam hamur ağırlıklarının da birbirinden farklı olduğu görülmektedir (SKR: 382,5 g, STV: 301,3 g, AGV: 360,0 g, HRM: 337,5 g, ELM: 360,0 g). Bu durum şeker ikamelerini içeren kek formülasyonlarının sadece sü kroz miktarının değiştirilmesinden kaynaklanmıştır. Başka bir deyişle sü krozun stevia ile ikame edilmesi 100 gramda bulunan karbonhidrat miktarını azaltırken yağ miktarının artmasına yol açmıştır. Bir gram yağın 9 kkal, 1 gram karbonhidratın 4 kkal enerji sağladığı düşünülürse stevia ile tatlandırılan kekin enerji değerinin diğer şeker ikamelerine benzemesi anlaşılır hale gelmektedir. Yapılan bir çalışmada sü krozun %75 oranında sıvı stevia ile ikame edilmesi sonucu çalışmamıza benzer şekilde kontrol grubuna (sü kroz) kıyasla yağ içeriği anlamlı olarak yükselmiş ve enerji içeriği %5,14 oranında azalmıştır (Sulaiman vd., 2022). Çalışmamızdan farklı olarak keklerin 100 gram örnekleri için yağ miktarlarının sabit tutulup sü krozun %100 oranında stevia ile ikamesi sonucunda enerji

değerinin kontrol grubuna kıyasla %24,01 oranında azaldığı gözlenmiştir (Zulkifli vd., 2016). Kısacası hamur ağırlıkları göz önüne alınarak yapılacak formülasyon değişiklikleri veya yağ içeriği düzeltmeleri sayesinde keklerde şeker ikamelerinin kullanımı sonucu gerçekleşen enerji miktarındaki düşüş daha belirgin hale gelecektir.

Şeker ikamesi olarak kullanılan sıvı maddeler arasında en düşük **HMF miktarı** sıvı steviaya aittir ($2,87 \pm 0,21$ mg/kg) (Bkz. Çizelge 3.9). Stevia fermente edilmeyen, karamelizasyona uğramayan, geniş pH (3-9) ve sıcaklık aralığında stabil olan bir tatlandırıcıdır (Barathi, 2003; Bulut, 2015). Stevia'nın farklı koşullardaki kararlı yapısı, indirgen şeker içermemesi ve diğer şeker ikamelerine kıyasla formülasyona çok düşük miktarda eklenmiş olması (tatlılık seviyesi diğer ikamelerden çok daha yüksek) HMF oluşumunu engelleyen faktörler arasında gösterilebilir.

En yüksek HMF içeriğine sahip şeker ikamesi hurma suyudur ($3457,00 \pm 49,69$ mg/kg) (Bkz. Çizelge 3.9). Yapılan bir çalışmada endüstriyel yolla üretilen hurma şurubu ile geleneksel yolla üretilen hurma şuruplarının HMF içerikleri karşılaştırılmıştır. Endüstriyel üretimde sıcaklık 70 °C'yi aşmazken geleneksel yöntemde istenilen kıvam elde edilene kadar kaynatma işlemi sürdürülmektedir. Geleneksel yolla üretilen hurma şuruplarının HMF içeriği 1000-6450 mg/kg arasında, endüstriyel yolla üretilen hurma şuruplarının HMF içeriği ise 12-943 mg/kg arasında bulunmuştur. Ürünlerin yeni veya eski tarihli olması da anlamlı olarak HMF içeriğini etkilemiştir (Jafarnia vd., 2016). Farklı bir çalışmada 100 °C'de üretilen hurma şuruplarının HMF içeriği 60 °C'de üretilen hurma şuruplarının HMF içeriğinin 4,8-19,41 katı olarak bulunmuştur (Abbès vd., 2013). Çalışmamızdaki hurma suyunu tedarik eden firma ürünlerin soğuk sıkım olmadığını internet sitesinde belirtmiştir. Yani geleneksel yöntemle üretim yapılmıştır. Bu durum da HMF içeriğinin yükselmesi ile sonuçlanmıştır. Çalışmamızda kullanılan hurma suyunun HMF düzeyinin Jafarnia ve ark. (2016)'nın çalışmalarında belirttiği geleneksel yöntemle üretilen hurma şuruplarıyla benzer olduğu görülmektedir (Jafarnia vd., 2016).

HMF toksik özelliği nedeniyle bal ve şurup gibi şeker bazlı gıdalarda ısı stresinin bir göstergesi olarak kullanılır (Assous ve Sorour, 2014). HMF içeriğinin hurma suyunda yüksek olması üretim, depolama, taşıma aşamalarında ürünün uygun koşullara maruz bırakılmadığını ve kullanılan hurmaların eski mahsul olabileceğini düşündürmektedir. Depolama süresi, sıcaklık gibi faktörlerin yanı sıra indirgeyici şekerlerin ve amino asitlerin mevcudiyeti, yüksek su içeriği, düşük pH, hurmanın cinsi gibi faktörler de hurma suyunun HMF miktarını

etkilemektedir (Gourchala vd., 2022). Çalışmada kullanılan hurma suyunun sıklıkla şekerlendiği kullanıcı yorumlarından görülmektedir. Olası bir şekerlenme durumunda benmari usulüyle şekerlenmenin giderilebileceği üretici firma tarafından kullanıcılara verilen öneriler arasındadır. HMF içeriği zaten yüksek olan ürünün sıcaklığa maruz bırakılması HMF içeriğinin daha da artmasına yol açacaktır.

Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre baldaki HMF miktarı 40 mg/kg ile sınırlanmıştır. Yapılan çalışmalarda gıdalarda tatlılık vermesi amacıyla kullanılan şurupların HMF içeriklerinin bu sınırın çok üzerinde yer aldığı görülmektedir: Mısır şurubu için 406,6–2121,3 mg/kg, şeker kamışı şurubu için 109,2–893,1 mg/kg, agave şurubu için 950,0–1050,0 mg/kg, keçiboynuzu şurubu için 520,0–4049,0 mg/kg, maple şurup için 66,2-72,5 mg/kg, akçaağaç şurubu için 3500,0–11000,0 mg/kg (de Andrade vd., 2016; González-Montemayor vd., 2020; Shapla vd., 2018; Toufeili vd., 2022). Bu tip ürünlerdeki HMF miktarının ballardakine benzer şekilde yasal olarak sınırlandırılmasının ve bu ürünler için kullanım önerilerinin HMF içeriğinin artmasına yol açmayacak şekilde düzenlenmesinin gıda güvenliği açısından bir gereklilik olduğu düşünülmektedir.

En düşük HMF içeriğine sahip ikamenin stevia bulunmasına paralel olarak stevia ile tatlandırılan kek en düşük HMF içeriğine ($16,70 \pm 4,18$ mg/kg) sahiptir (Bkz. Çizelge 3.9). Çalışmamızda stevianın sü kroza %100 oranında ikame edilmesi sü kroz ile tatlandırılan keke kıyasla HMF oranının yaklaşık $\frac{1}{4}$ 'üne düşmesini sağlamıştır. Stevianın daha önceden de belirtildiği gibi kararlı yapıya sahip olması ve HMF oluşumuna neden olacak indirgen şekerleri içermemesi bu durumu sağlamıştır. Literatürdeki çalışmalar da bu bulguyu desteklemektedir: Kurabiyelerde sü krozun tamamının stevia ile ikame edilmesi sonucu HMF miktarında %60'lık bir düşüş gözlenmiştir (Huamán Castilla vd., 2017). Yapılan bir çalışmada sü krozun %15 oranında stevia ile ikame edilmesi bisküvilerin HMF düzeylerinde düşüşe yol açmakla birlikte bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. İkame oranının %30 oranında yapılması bu farkın istatistiksel olarak da anlamlı hale gelmesini sağlamıştır. Sü krozun %100 oranında stevia ile ikame edilmesi HMF miktarının hem kontrol grubundan hem de %30 ikameli gruptan anlamlı olarak daha düşük olmasını sağlamıştır (Garcia-Serna vd., 2014). Benzer şekilde %60 oranında stevia ikameli kurabiyelerin daha uzun süre pişirilmiş olmasına rağmen sü kroz içeren kurabiyelere kıyasla daha düşük oranda HMF içerdiği bulunmuştur (Bulut, 2015).

Stevia hariç diğer tüm şeker ikameleri ile tatlandırılan keklerin HMF içeriği kontrol grubuna ($61,48 \pm 11,78$ mg/kg) kıyasla yüksek bulunmuştur. Elma suyu konsantresi

(220,61±42,32 mg/kg) ve agave şurubu (152,03±39,38 mg/kg) ile tatlandırılan keklerdeki HMF artışı istatistiksel olarak anlamlı bulunmasa da ($p>0,05$) hurma suyu ile tatlandırılan kek (405,55±29,70 mg/kg) anlamlı olarak en yüksek HMF düzeyine sahiptir ($p<0,05$) (Bkz. Çizelge 3.9). Benzer şekilde 225 °C’de pişirilen bisküvilerde sükroz yerine bal, mısır şurubu, hurma şurubu, şeker kamışı melası kullanımı HMF miktarının 6,4-42,6 katına çıkmasına neden olmuştur (Jandlova ve Kucerovala, 2016). Glukoz ve fruktozun sükrozdan daha fazla HMF üretme eğiliminde olduğu, HMF artışında en etkili monosakkaritin fruktoz olduğu bilinmektedir (Nguyen vd., 2016). Hurma suyunun şeker içeriklerini belirlemeye yönelik yapılan çalışmada kuru ağırlık üzerinden fruktoz miktarı %23,3-32,5 aralığında, glukoz miktarı %21,8–29,8 aralığında, sükroz miktarı %3,28–18.7 aralığında bulunmuştur (Derouich vd., 2020). Agave şurubunun temel karbonhidratının ortalama %84.29 oranıyla fruktoz olduğu belirtilmiştir (Willems ve Low, 2012). Ülkemizde elma suyu konsantresi üretiminde sıklıkla kullanılan elma sularının şeker içerikleri ise glukoz için %9.30–32.2, fruktoz için %66.10–96.00, sükroz için %8.5–55.10 aralığında değişmektedir (Karadeniz ve Ekşi, 2002). Çalışmalardan görüldüğü üzere agave şurubu, hurma suyu ve elma suyu konsantresinin fruktoz ve glukoz içeriklerinin yüksek oluşu keklerdeki HMF içeriğindeki artışın en olası nedenidir. Tüketicilerin sükroz tüketimini azaltmak amacıyla yöneldiği bu ürünlerin zaten yüksek olan HMF içerikleri pişirmeyle unlu mamullerde daha yüksek HMF oluşmasına neden olmaktadır.

Farklı çalışmalarda benzer gıdalar için belirlenen HMF düzeylerinin birbirinden oldukça farklı olduğu görülmektedir. Örneğin; unlu mamullerde HMF içeriklerinin araştırıldığı çalışmalar incelendiğinde HMF miktarları kurabiyelerde 1,65-182,50 mg/kg arasında; ekmeklerde 0,66-210,0 mg/kg arasında; keklerde 0,06-171,50 mg/kg arasında bulunmuştur (de Borba vd., 2023; Delgado-Andrade vd., 2009; Jalili ve Ansari, 2015; Kowalski vd., 2013; Mańkowska vd., 2017; Ramírez-Jiménez vd., 2000). HMF tayininde kullanılan yöntemin (kalorimetrik analiz veya HPLC) farklı olması bu durumun nedenlerinden biri olabilir. Ayrıca ısı işlem görmüş gıdalarda HMF oluşumu işlem sıcaklığı, pH, su aktivitesi, şeker tipi ve ortamda fenolik bileşen varlığı gibi birçok faktörle ilişkili olması da bulunan sonuçların çeşitliliğine yol açmış olabilir (Tounsi vd., 2020).

Birçok çalışmada unlu mamullerdeki HMF içeriği kahverengileşme indeksi ile pozitif yönlü, L^* değeri ile negatif yönlü olmak üzere birbiri ile korele bulunmuştur (Ertop ve Sarıkaya, 2017; Kowalski vd., 2013; Sakač vd., 2019). Çalışmamızda HMF ile kahverengileşme indeksi ($p=0,009$) ve L^* değeri ($p=0,002$) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmakla birlikte, bu ilişki orta düzeylidir (sırasıyla $r: 0,420; (-0,493)$) (Bkz.

Çizelge 3.10). Formülasyonlardaki bileşenlerin değişkenlik göstermesi ve renge olan katkıları, ısıtılma işlemi ile renk arasındaki korelasyon eksikliğini açıklayabilir. Ayrıca çalışmadaki kek örneklerine ait HMF aralığının çok geniş olması (16,70-405,55 mg/kg) daha güçlü korelasyon bulunmasını zorlaştırmış olabilir (Bkz. Çizelge 3.9).

Duyusal analiz puanları tüketicilerin keklerden beklentileri hakkında fikir vermesi adına büyük önem taşımaktadır (Gökçe vd., 2023). Panelistlerin vermiş olduğu puanlamalara bakıldığında bütün parametrelerde (görünüş, iç renk, kabuk rengi, lezzet, doku) kekler arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,001$). Sükroz ile tatlandırılmış kek kabuk rengi hariç diğer parametrelerde anlamlı olarak diğer tüm keklerden daha yüksek puana sahiptir ($p<0,05$). Kabuk rengindeki puanı ise stevia ile tatlandırılmış keke benzer puana sahipken ($p>0,05$); stevia hariç diğer tüm keklerden kabuk rengi bakımından da anlamlı olarak yüksek puana sahiptir ($p<0,05$). Sükroz ile tatlandırılmış keke en yakın duyusal analiz puanları stevia ile tatlandırılan keke aittir. Çalışmamızda agave şurubu, hurma suyu ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan keklerin tüm parametreler için duyusal analiz puanı benzer bulunmuştur ($p>0,05$). Stevia ile tatlandırılan kekin tüm parametrelerde puanı agave şurubu, hurma suyu ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan keklere kıyasla anlamlı olarak yüksektir ($p<0,05$) (Bkz. Çizelge 3.11). Obreiter ve ark. (2017) sükroz, stevia ve sukraloz ile tatlandırılmış keklerde yaptıkları duyusal analiz sonuçlarında tüm parametrelerde bu çalışmaya benzer şekilde en yüksek puanın sükroz kekine ait olduğunu bildirmiştir. Stevia ile ikame edilen kekin sukralozla ikame edilen keke kıyasla görünüş açısından katılımcılar tarafından daha yüksek puanlandırıldığı eklenmiştir (Obreiter ve Roseno, 2017).

Keklerin dış görünüşleri açısından en önemli belirleyicisi hacimdir (Dizlek ve Altan, 2015). Çalışmamızdaki bulgular literatürdeki bu bilgiyi destekler niteliktedir. Dış görünüş bakımından en yüksek puanı alan 2 kek (sükroz ve stevia ile tatlandırılan kekler) aynı zamanda hacim indeksi değerleri de en yüksek olan keklerdir (Bkz. Çizelge 3.4).

Paridhi ve ark. (2017) sıvı stevia kullanılan keklerle sükroz kullanılarak yapılan kekler arasında genel kabul edilebilirlik puanları bakımından herhangi bir farklılık bulmamıştır (Paridhi vd., 2017). Bununla birlikte sükrozun tamamının stevia ile ikame edilmesi sonucu keklerde acı tat, sert yapı, kötü görünüş ve ağızda kuruluk hissi bırakma gibi olumsuz sonuçlar ve dolayısıyla kabul edilebilirlikte düşüş gözlemlendiği de bildirilmiştir. Araştırmacılar sükrozun %50 oranında stevia ile ikame edilmesi sonucunda keklerin duyusal ve tekstürel özelliklerini kontrol grubuna benzer bulmuştur (Gao vd., 2017). Farklı çalışmalarda sükrozun %30-%50

oranında elma kurusu, üzüm şurubu, hurma şurubu, stevia, akçaağaç şurubu ile ikame edilmesinin duyuşal özellikler ve unlu mamul kalitesi bakımından daha kabul edilebilir olduğu ifade edilmiştir (Ayoubi ve Porabolghasem, 2017; Beraldo vd., 2023; Gao vd., 2016; Lothrop, 2012; Palamutoğlu vd., 2018; Parseh vd., 2023; Shahidi vd., 2017; Vatankhah vd., 2015; Zulkifli vd., 2016). Bu çalışmanın sınırlılıkları arasında çalışmada sükröz ikamelerinin hep %100 oranında kullanılmış olması gösterilebilir. İkamelerin farklı oranlarda denenmesi keklerin sükröz ve enerji içeriğinin azalmasının yanı sıra duyuşal özelliklerin iyileşmesini de sağlayabilir. Bu anlamda doğru şeker ikamesi/sükröz oranının elde edilmesini sağlayacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Renk analizlerine ilişkin bulguların tartışıldığı üst kısımda da bahsedildiğı gibi toplam renk değışimi bütün grup kekler için kabuk renginde daha minimal düzeydeyken; iç renginde görece daha yüksektir. Bu sonuç duyuşal analiz puanlarıyla da örtüşmektedir. Her grup için iç renk parametresine verilen ortalama puanlar dış renk parametresine verilen ortalama puanlardan yüksektir. Ayrıca genel olarak tüm parametrelerde en düşük puanlara sahip agave şurubu, hurma suyu ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan keklerin en yüksek puanları kabuk renginde aldığı görölmektedir (Bkz. Çizelge 3.11). Kabuk renginde tüketicilerin beklentisi uygun düzeydeki esmerleşmedir. Bu grup keklerin kabuk renginin daha yüksek puanlandırılma nedeni keklerin kabuk renginin kahverengileşme indekslerinin sükröz grubuna benzemesi olabilir.

Kek renginin çok aşırı olmamakla birlikte bir miktar koyulaşması keklerin ‘daha geleneksel’ ya da ‘daha doğal’ olarak algılanmasına neden olabildiğı bildirilmiştir (Ozuna vd., 2020). Fakat çalışmamızda şeker ikamesi eklenen tüm keklerin iç renkleri sükröz ile tatlandırılan keke kıyasla daha koyu (daha düşük L^* değeri) olmakla birlikte duyuşal analiz iç renk puanları anlamlı olarak daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$) (Bkz. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.11). Bu nedenle renk farklılıklarının duyuşal analiz puanlarını olumsuz etkilemesini önlemek amacıyla daha sonraki çalışmalarda standart reçeteye kakao gibi renk farklılıklarını maskeleyecek ürünlerin de eklenmesi denenebilir.

Besinlerin tekstürel özellikleri duyuşal analizlerdeki puanlamayı etkilemektedir. Keklerde istenen özelliklerden biri yumuşak dokuya sahip olmasıdır. Bu nedenle sertlik değeri artması duyuşal analiz puanlarının düşmesine yol açmaktadır (Aday ve Caner, 2006; Díaz-Ramírez vd., 2016). Çalışmamızdaki veriler bu bilgiyi destekler niteliktedir. Stevia ile tatlandırılan kekin sertlik değeri kontrol grubuna kıyasla anlamlı olarak daha yüksektir

($p<0,05$). Bu bulgu duyuşsal analizdeki doku puanları ile örtüşmektedir. Doku bakımından alınan puanlar incelendiğinde kontrol grubunun puanı anlamlı olarak stevia kekinden yüksektir. Sertlik bakımından stevia ve sükrozdan anlamlı olarak yüksek ama kendi içlerinde benzer olan agave şurubu, hurma suyu ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan keklerin de yine duyuşsal analiz sonuçlarında dokuya ilişkin puanları benzer bulunmuştur. Ayrıca bu puanlar anlamlı olarak stevia ve sükroz ile tatlandırılan kekin dokuya ilişkin puanlarından düşüktür ($p<0,05$) (Bkz. Çizelge 3.11).

Şeker ikamesi ile tatlandırılan keklerin genel beğeni puanlarına bakıldığında agave şurubu ve stevia ile tatlandırılan keklerin maksimum puanın yarısının (4,50) üzerinde puan aldığı görülmektedir. En düşük puanı ise elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kek almıştır (4,43±1,48) (Bkz. Çizelge 3.11). Literatürde elma suyu konsantresinin keklerin kalite ve duyuşsal özelliklerine etkisini araştıran çalışmaya rastlanmamıştır. Elmaya benzer olduğu ifade edilen kara elma meyvesinden (*Smallanthus Sonchifolius*) üretilen şurubun keklerde sükroza %10 oranında ikame edilmesi genel kabul edilebilirlik anlamında farklılık oluşturmazken; %20-30-40 oranlarındaki ikame sonucu keklerin genel kabul edilebilirliği anlamlı olarak daha düşük puanlanmıştır (Kim ve Lee, 2016; Ojansivu vd., 2011). Elma püresinin şeker ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada ise standart reçete yumurta, süt vb. ürünler bakımından yeniden düzenlenmiştir. Sonuç olarak elma püresi ile tatlandırılan kek genel kabul edilebilirlik bakımından sükroz ile tatlandırılan keke benzer bulunmuştur (Stavale vd., 2019). Elma suyu konsantresi ile tatlandırılmış keklerin duyuşsal özelliklerinde iyileşme sağlamak amacıyla kek formülasyonlarında bazı değişiklikler yapılması düşünülebilir.

Çalışmada kullanılan şeker ikamelerinin oranları belirlenirken üretici firmanın kullanım önerilerinde yer alan sükroza eş değer miktarları (örneğin; tariflerinizde şeker yerine 2/3 oranında kullanınız) dikkate alınmıştır. Duyusal analiz sonrasında geri dönüşlerden anlaşıldığı üzere keklerin tatlılık oranları birbirinden farklıdır. Tatlılık oranlarının eşit sağlanamamış olması bu çalışmanın sınırlılıklarından biridir. Tatlılık oranlarının eşit sağlandığı çalışmalar duyuşsal anlamda daha objektif sonuçların elde edilmesini sağlayabilir. Çalışmamızda duyuşsal analiz sırasında kokuya ilişkin herhangi bir değerlendirmeye yer verilmemesi çalışmanın diğer bir sınırlılığıdır. Çünkü şeker ikamelerinin kendine has kokuları duyuşsal analiz puanlarını da etkileyebilir. Daha sonraki çalışmalarda bu parametreye ilişkin de değerlendirme yapılması düşünülebilir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde artmış şeker tüketiminin obezite ve obezitenin yol açtığı birçok kronik hastalık ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle hem basit şeker tüketimini azaltmak hem de besinlerde arzulanan tatlı tadı elde etmek amacıyla şeker ikamelerine yönelik çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Bu çalışma günümüzde popülerliği artmış olan, doğal tatlandırıcı ismiyle anılan ve evlerimizde de sık kullanılmaya başlanan sıvı stevia, agave şurubu, hurma suyu ve elma suyu konsantresinin keklerin kalite özellikleri, duyu parametreleri ve HMF düzeylerine etkisini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Bu kapsamda sükroz içeren standart kek reçetesi oluşturulmuştur. Bu tatlandırıcı maddeler ürünlerin tedarikçi firmalarının belirlediği kullanım önerileri doğrultusunda %100 oranında sükroza ikame edilmiştir. Oluşturulan 5 farklı kekta fiziksel, kimyasal ve duyu analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmamız sonucunda dikkat çeken bulgular ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

Çalışma sonucunda şeker ikameleri ile tatlandırılan tüm keklerin hem kabuk rengi için hem iç rengi için toplam renk değişimi gözle görülebilir düzeyde farklı bulunmuştur ($\Delta E > 3$). Toplam renk değişim farkı keklerin iç renginde kabuk rengine kıyasla daha yüksektir. Kekin iç rengindeki değişikliklerin büyük oranda kullanılan malzemelerin renk farklılıklarından kaynaklandığı bilinmektedir. Bu nedenle kullanılan şeker ikamelerinin renklerindeki farklılıkların bu duruma yol açtığı düşünülmektedir. Keklerin kabuk rengi büyük ölçüde Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon ile belirlenmektedir. Stevia oldukça stabil yapısı dolayısıyla bu olaylara katılmaz. Kek kabuk kahverengileşme indeksinin anlamlı olarak stevia ile tatlandırılan kekta diğer keklerle kıyasla düşük bulunması bu bilgiyi desteklemektedir. Şeker ikamesi kullanımının meydana getirdiği renk farklılıklarının giderilmesi amacıyla renk verici maddeleri içeren formülasyonlar geliştirilebilir.

Tekstürel yapıları incelendiğinde şeker ikamesi içeren tüm kekler anlamlı olarak sükroz ile tatlandırılan keklerle kıyasla daha sert yapıda bulunmuştur. Aynı şekilde şeker ikamesi kullanılan tüm keklerin hacimleri anlamlı olarak kontrol grubuna kıyasla düşüktür. Hacim ve tekstür birbiriyle ilişkili kavramlardır. Bu nedenle keklerin hacimlerinde iyileşme sağlamanın kek dokusunu da yumuşatabileceği düşünülmüştür. Şeker ikamesi içeren keklerin formülasyonlarına kabartıcı etkide bulunan maddelerin (şeker alkolleri gibi) eklenmesi bu sorunu çözmede etkili olabilir. Alternatif olarak sükrozun %100 oranında ikame edilmesi yerine daha düşük oranlarda ikame edilerek hem sükrozu hem şeker ikamesini içeren

formülasyonlar denenebilir. Bu anlamda şeker ikamelerinin sükroza hangi oranlarda ikame edileceğinin belirlenmesi adına yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Şeker ikameleri içeren tüm keklerin su aktivitesi anlamlı olarak kontrol grubuna kıyasla yüksek bulunmuştur. En yüksek su aktivitesi değeri sıvı stevia ile ikame edilen keke aittir. Su aktivitesi gıdaların raf ömrünü etkileyen etmenlerin başında gelmektedir. Bu nedenle stevia başta olmak üzere bu tip ikamelerin kullanıldığı keklerin hızlı tüketilmesi ve saklama koşullarına özen gösterilmesi gıda güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Şeker ikamelerinin keklerde kullanımı keklerin enerji ve karbonhidrat değerlerinde istatistiksel olarak da anlamlı bulunan bir düşüşe yol açmıştır. Çalışmamızda kek formülasyonlarında yalnızca şeker ikameleri ve sükroz miktarlarında değişiklik yapılmıştır. Bu nedenle en düşük hamur ağırlığı en düşük miktarda ikame eklenen stevia ile tatlandırılmış keke aittir. Sükrozun stevia ile ikame edilmesi kekin 100 gramı için karbonhidrat miktarını düşürürken yağ miktarının artışı ile sonuçlanmıştır. Bu da enerji bakımından kontrol grubuna kıyasla yaklaşık %10'luk bir düşüş sağlamıştır. Hamur ağırlığını da göz önünde bulundurarak gerekli yağ düzeltmelerinin de yapıldığı yeni formülasyonlarla geliştirilecek daha düşük enerji değerine sahip kek üretmek mümkün görünmektedir.

Kullanılan şeker ikamelerinin HMF düzeyleri incelendiğinde hurma suyunun HMF içeriği oldukça yüksek bulunmuştur. Hurma suyunun ısı işlem görmesi, depolama ve saklama koşullarına gerekli özenin gösterilmemesi veya eski mahsul ürünlerin kullanılması yüksek HMF içeriğine yol açmış olabilir. Ülkemizde ballardaki HMF içeriği tebliğ ile sınırlandırılmakla birlikte bu tip bitki özütü/şurubu/suyu gibi maddeler için herhangi bir yasal sınır bulunmamaktadır. Bu tip şurupların insan sağlığını tehlikeye atmayacak düzeyde HMF içermesini sağlamak adına yasal düzenlemelerin oluşturulması bir gereklilik olarak düşünülmektedir.

Şeker ikameleri arasında en düşük HMF düzeyi sıvı steviaya aittir. Kekler arasında kontrol grubu dahil en düşük HMF düzeyi sıvı stevia ile tatlandırılan keke, en yüksek HMF düzeyi hurma suyu ile tatlandırılan keke ait bulunmuştur. Sıvı stevia hariç şeker ikamesi ile tatlandırılan tüm keklerin HMF içerikleri kontrol grubuna kıyasla yüksek bulunmuştur. Bu nedenle daha sağlıklı oldukları gerekçesiyle unlu mamullerde bu tip şeker ikameleri kullanılırken en önemli kimyasal kirleticilerden biri olarak kabul edilen HMF içeriğindeki artışa dikkat edilmelidir. Gıdalardaki HMF içeriklerini belirlemeye yönelik yapılan çalışmalar

incelendiğinde birbirinden çok farklı sonuçların bulunduğu görülmektedir. Bu nedenle gıdalardaki HMF içeriğinin belirlenmesi ve azaltılmasına yönelik kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Duyusal analiz sonuçlarına göre kontrol grubuna en yakın puanlar her parametre için stevia ile tatlandırılan keke ait bulunmuştur. Her parametre için agave şurubu, hurma suyu ve elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kekler benzer puana sahiptir. Genel beğeni anlamında elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kek haricinde tüm keklerin puan ortalamaları maksimum puanın yarısından ($>4,5$ puan) yüksektir. Elma suyu konsantresi ile tatlandırılan kekin genel beğeni puanı ise 4,43/9,00 bulunmuştur. Bu durum kek formülasyonlarında yapılacak küçük düzeltmeler ile duyusal analiz puanlarının daha da iyileştirilebileceğini göstermiştir. Ayrıca duyusal analizler sonucunda panelistler keklerin tatlılık oranlarında farklılıklar olduğunu belirtmiştir. Her ne kadar tedarikçi firmaların kullanım önerileri dikkate alınsa da eşit tatlılık seviyesi yakalanamamıştır. Şeker ikamelerinin tatlılık oranlarının belirlenerek kullanım önerilerinin oluşturulması ve duyusal/fiziksel/kimyasal analizlerde iyileşme sağlanacak şekilde sükroza ikame oranlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Özetle kimyasal, fiziksel ve duyusal analizlerin tümü göz önüne alındığında kekler için bu çalışmada kullanılan şeker ikameleri arasında en uygunu sıvı stevia olarak görünmektedir. Sıvı stevia kullanımı ile kekin karbonhidrat ve enerji değeri azalmıştır. Ayrıca HMF düzeyi de sükroz kullanılan keke kıyasla daha düşük bulunmuştur. Stevianın keklerde kullanım olanaklarının araştırılması ve daha uygun formülasyonların geliştirilmesi adına yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- AACC. (2000). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. American Assoc. of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
- AACC. (2010). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 11th ed. American Assoc. of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
- Abbès, F., Besbes, S., Brahimi, B., Kchaou, W., Attia, H. & Blecker, C. (2013). Effect of concentration temperature on some bioactive compounds and antioxidant proprieties of date syrup. *Food Science and Technology International*, 19(4), 323-333.
- Aday, M. S. ve Caner, C. (2006). Gıdalarda tekstür ve etki eden etmenler. *Akademik Gıda*, 4(6), 28-32.
- Akçay, A. (2022). *Gıda atığı olarak narenciye kabukları ile zenginleştirilmiş keklerin duyuusal özelliklerinin tüketici tutumları ve satın alma niyetine etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi.
- Akesowan, A. (2009). Quality of reduced-fat chiffon cakes prepared with erythritol-sucralose as replacement for sugar. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(9), 1383-1386.
- Akkaya, D. E. Karataş, Ş. (2016). Determination of hydroxymethylfurfural contents of some apple juices on the market by HPLC method. *International Journal of Food Engineering Research*, 2(2), 19-27.
- Aktaş, I. G. Gökmen, V. (2023). Acrylamide formation in apple juice concentrates during storage. *Journal of Food Composition and Analysis*, 121, 105413.
- Al-Dmoor, H. M. (2013). Cake flour: functionality and quality. *European Scientific Journal*, 9(3), 166-180.
- Ameur, L. A., Mathieu, O., Lalanne, V., Trystram, G. & Birlouez-Aragon, I. (2007). Comparison of the effects of sucrose and hexose on furfural formation and browning in cookies baked at different temperatures. *Food Chemistry*, 101(4), 1407-1416.
- Ameur, L. A., Trystram, G. & Birlouez-Aragon, I. (2006). Accumulation of 5-hydroxymethyl-2-furfural in cookies during the backing process: Validation of an extraction method. *Food chemistry*, 98(4), 790-796.
- Anese, M., Manzocco, L., Calligaris, S. & Nicoli, M. C. (2013). Industrially applicable strategies for mitigating acrylamide, furan, and 5-hydroxymethylfurfural in food. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(43), 10209-10214.
- Ansorena, D., Cartagena, L. & Astiasaran, I. (2022). A Cake Made with No Animal Origin Ingredients: Physical Properties and Nutritional and Sensory Quality. *Foods*, 12(1), 54.

- AOAC. (1990). (Association of Official Analytical Chemists). Official methods of analysis. In: Aoac Washington, DC.
- Arshad, S., Rehman, T., Saif, S., Rajoka, M. S. R., Ranjha, M. M. A. N., Hassoun, A., Cropotova, J., Trif, M., Younas, A. & Aadil, R. M. (2022). Replacement of refined sugar by natural sweeteners: focus on potential health benefits. *Heliyon*, e10711.
- Aslan, M. Ertaş, N. (2020). Possibility of using chickpea aquafaba as egg replacer in traditional cake formulation. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(1), 1-8.
- Assous, M. Sorour, M. (2014). Effect of Concentration Methods on Quality of Date Syrup (DIBS). *Transactions of the Egyptian Society of Chemical Engineers*, 40(3), 1-12.
- Ateş, G. ve Elmacı, Y. (2019). Physical, chemical and sensory characteristics of fiber-enriched cakes prepared with coffee silverskin as wheat flour substitution. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 755-763.
- Ayoubi, A. and Porabolghasem, M. (2017). Substituting sugar with date syrup in cupcake. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, 13(5), 808-819.
- Baeva, M. R., Terzieva, V. V. & Panchev, I. N. (2003). Structural development of sucrose-sweetened and sucrose-free sponge cakes during baking. *Food/Nahrung*, 47(3), 154-160.
- Baixauli, R., Salvador, A. & Fiszman, S. (2008). Textural and colour changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *European Food Research and Technology*, 226, 523-530.
- Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A. & Fiszman, S. (2008). Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 502-509.
- Baltacıoğlu, C. ve Uyar, M. (2017). Kabak (Cucubita pepo L.) tozunun kek üretiminde potansiyel kullanımı ve kek kalite parametrelerine etkisi. *Akademik Gıda*, 15(3), 274-280.
- Barathi, N. (2003). Stevia-The calorie free natural sweetener. *Natural Product Radiance*, 2(3), 120-123.
- Basaran, B., Anlar, P., Oral, Z. F. Y., Polat, Z. & Kaban, G. (2022). Risk assessment of acrylamide and 5-hydroxymethyl-2-furfural (5-HMF) exposure from bread consumption: Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107, 104409.
- Bath, D., Shelke, K. & Hoseney, R. (1992). Fat replacers in high-ratio layer cakes. *Cereal Foods World*, 37(7), 495-500.
- Batu, A., Aydoymuş, R. E. & Batu, H. S. (2014). Gıdalarda hidroksimetilfurfural (HMF) oluşumu ve insan sağlığı üzerine etkisi. *Electronic Journal of Food Technologies*, 9(1), 40-55.
- Bayram, H. M. Ozturkcan, A. (2022). Added sugars and non-nutritive sweeteners in the food supply: Are they a threat for consumers? *Clinical Nutrition ESPEN*, 49, 442-448.

- Bender, C., Graziano, S. & Zimmermann, B. F. (2015). Study of Stevia rebaudiana Bertoni antioxidant activities and cellular properties. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(5), 553-558.
- Bennion, E. B. Bamford, G. (1997). *The technology of cake making*. Springer Science & Business Media.
- Beraldo, I. M., Botelho, R. B. A., Romão, B., de Alencar, E. R. & Zandonadi, R. P. (2023). Dried apples replacing sugar in pound cakes: Physicochemical composition and sensory analysis. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 32, 100731.
- Bolger, A. M., Rastall, R. A., Oruna-Concha, M. J. & Rodriguez-Garcia, J. (2021). Effect of D-allulose, in comparison to sucrose and D-fructose, on the physical properties of cupcakes. *LWT-Food Science and Technology*, 150, 111989.
- Bourne, M. (2002). *Food texture and viscosity: concept and measurement*. Elsevier.
- Bulut, A. N. (2015). *Sugar Reduction in Soft Cookies with Stevia* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Capuano, E. and Fogliano, V. (2011). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT-Food Science and Technology*, 44(4), 793-810.
- Castro-Muñoz, R., Correa-Delgado, M., Córdova-Almeida, R., Lara-Nava, D., Chávez-Muñoz, M., Velásquez-Chávez, V. F., Hernández-Torres, C. E., Gontarek-Castro, E. & Ahmad, M. Z. (2022). Natural sweeteners: Sources, extraction and current uses in foods and food industries. *Food Chemistry*, 370, 130991.
- Chaiya, B. and Pongsawatmanit, R. (2011). Quality of batter and sponge cake prepared from wheat-tapioca flour blends. *Agriculture and Natural Resources*, 45(2), 305-313.
- Chaturvedula, V. S. P., Mubarak, C. & Prakash, I. (2012). IR spectral analysis of diterpene glycosides isolated from Stevia rebaudiana. *Food and Nutrition Sciences*, 3(10), 1467-1471.
- Choudhary, A., Kumar, V., Kumar, S., Majid, I., Aggarwal, P. & Suri, S. (2021). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) formation, occurrence and potential health concerns: Recent developments. *Toxin Reviews*, 40(4), 545-561.
- Cincotta, F., Brighina, S., Concurso, C., Arena, E., Verzera, A. & Fallico, B. (2021). Sugars Replacement as a Strategy to Control the Formation of α -Dicarbonyl and Furanic Compounds during Cookie Processing. *Foods*, 10(9), 2101.
- Clemens, R. A., Jones, J. M., Kern, M., Lee, S. Y., Mayhew, E. J., Slavin, J. L. & Zivanovic, S. (2016). Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 433-470.
- Cloke, J. D., Davis, E. A. & Gordon, J. (1984). Volume measurements calculated by several methods using cross-sectional tracings of cake. *Cereal Chemistry*, 61(4), 375-377.

- Codex Alimentarius. (1981). Standard for Honey, Ref. no CXS 12-1981. Adopted in 1981. Revised in 1987, 2001. Amended in 2019.
- Crews, C. and Castle, L. (2007). A review of the occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods. *Trends in Food Science & Technology*, 18(7), 365-372.
- Curi, P. N., Carvalho, C. d. S., Salgado, D. L., Pio, R., Pasqual, M., SOUZA, F. B. M. d. & SOUZA, V. R. d. (2017). Influence of different types of sugars in physalis jellies. *Food Science and Technology*, 37, 349-355.
- Dadkhah, A., Hashemiravan, M. & Seyedain-Ardebili, M. (2012). Effect of shortening replacement with nutrim oat bran on chemical and physical properties of shortened cakes. *Annals of Biological Research*, 3(6), 2682-2687.
- de Andrade, J. K., Komatsu, E., Perreault, H., Torres, Y. R., da Rosa, M. R. & Felsner, M. L. (2016). In house validation from direct determination of 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) in Brazilian corn and cane syrups samples by HPLC–UV. *Food Chemistry*, 190, 481-486.
- de Borba, V. S., Lemos, A. C., Rodrigues, M. H. P., Cerqueira, M. B. R. & Badiale-Furlong, E. (2023). Acrylamide and hydroxymethylfurfural in cakes: An approach to reduce the formation of processing contaminants in sweet bakery products. *Food Research International*, 165, 112518.
- De La Hera, E., Oliete, B. & Gómez, M. (2013). Batter characteristics and quality of cakes made with wheat-oats flour blends. *Journal of Food Quality*, 36(2), 146-153.
- de Lourdes Samaniego-Vaesken, M., Partearroyo, T., Cano, A., Urrialde, R. & Varela-Moreiras, G. (2019). Novel database of declared low-and no-calorie sweeteners from foods and beverages available in Spain. *Journal of Food Composition and Analysis*, 82, 103234.
- Delgado-Andrade, C., Rufian-Henares, J. A. & Morales, F. J. (2009). Hydroxymethylfurfural in commercial biscuits marketed in Spain. *Journal of Food & Nutrition Research*, 48(1), 14-19.
- Delgado-Andrade, C., Seiquer, I., Navarro, M. P. & Morales, F. J. (2007). Maillard reaction indicators in diets usually consumed by adolescent population. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(3), 341-351.
- Demir, M. K. ve Kılınç, M. (2019). Bal Tozu İkamesinin Kek Kalitesi Üzerine Etkisi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 53-58.
- Demir, R. (2020). *Ekşi hamur tozu kullanımının kekin kalite özellikleri ve raf ömrü üzerine etkileri* [Yüksek Lisans Tezi]. Akdeniz Üniversitesi.
- Derouich, M., Meziani, R., Bourkhis, B., Filali-Zegzouti, Y. & Alem, C. (2020). Nutritional, mineral and organic acid composition of syrups produced from six Moroccan date fruit (*Phoenix dactylifera* L.) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 93, 103591.
- Díaz-Ramírez, M., Calderón-Domínguez, G., García-Garibay, M., Jiménez-Guzmán, J., Villanueva-Carvajal, A., de la Paz Salgado-Cruz, M., Arizmendi-Cotero, D. & Del Moral-Ramírez, E. (2016). Effect of whey protein isolate addition on physical, structural and sensory properties of sponge cake. *Food Hydrocolloids*, 61, 633-639.

- Dinçel, E., Alçay, A. Ü. & Badayman, M. (2018). Bir biyo-tatlandırıcı olarak steavia. *Aydın Gastronomy*, 2(2), 1-8.
- Dizlek, H. Altan, A. (2015). Determination of sponge cake volume with a mathematical method. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7(4), 551-557.
- Dizlek, H., Özer, M. S., Gül, H. (2008, 21 Mayıs). *Keklerin yapısal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ölçütler* [Bildiri sunumu]. Türkiye Gıda Kongresi-10, Erzurum.
- Doi, E. Kitabatake, N. (2017). Food proteins and their applications. In S. Damodaran (Ed.), *Structure and functionality of egg proteins* (ss. 325-340). Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- Ebeler, S. and Walker, C. (1984). Effects of various sucrose fatty acid ester emulsifiers on high-ratio white layer cakes. *Journal of Food Science*, 49(2), 380-383.
- Edwards, C. H., Rossi, M., Corpe, C. P., Butterworth, P. J. & Ellis, P. R. (2016). The role of sugars and sweeteners in food, diet and health: Alternatives for the future. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 158-166.
- Ertaş, N. (2021). Improving the cake quality by using red kidney bean applied different traditional processing methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6), e15527.
- Ertaş, N. ve Doğruer, Y. (2010). Besinlerde tekstür. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 7(1), 35-42.
- Ertop, M. H. ve Sarıkaya, S. B. Ö. (2017). The relations between hydroxymethylfurfural content, antioxidant activity and colorimetric properties of various bakery products. *Gıda Journal of Food*, 42(6), 834-843.
- Ertugay, Z. (1992). *Tahıl işleme teknolojisi*. Atatürk Üniversitesi Yayınları.
- Fatima, B. and Ladislav, N. (2014). Artificial sweeteners and sugar substitutes: some properties and potential health benefits and risks. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 5, 638-649.
- Fennema, O. R. (1996). *Food chemistry* (Vol. 76). CRC Press.
- Fidler Mis, N., Braegger, C., Bronsky, J., Campoy, C., Domellöf, M., Embleton, N. D., Hojsak, I., Hulst, J., Indrio, F. & Lapillonne, A. (2017). Sugar in infants, children and adolescents: a position paper of the European society for paediatric gastroenterology, hepatology and nutrition committee on nutrition. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 65(6), 681-696.
- Fiore, A., Troise, A. D., Ataç Mogol, B. e., Roullier, V., Gourdon, A., El Mafadi Jian, S., Hamzahioğlu, B. A. I., Gökmen, V. & Fogliano, V. (2012). Controlling the Maillard reaction by reactant encapsulation: sodium chloride in cookies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(43), 10808-10814.
- Gao, J., Brennan, M. A., Mason, S. L. & Brennan, C. S. (2016). Effect of sugar replacement with stevianna and inulin on the texture and predictive glycaemic response of muffins. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(9), 1979-1987.

- Gao, J., Brennan, M. A., Mason, S. L. & Brennan, C. S. (2017). Effects of sugar substitution with “steviana” on the sensory characteristics of muffins. *Journal of Food Quality*, 2017.
- Garcia-Serna, E., Martinez-Saez, N., Mesias, M., Morales, F. J. & del Castillo, M. D. (2014). Use of coffee silverskin and stevia to improve the formulation of biscuits. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(4), 243-251.
- Gerçekaslan, K. E., Kotancılar, H. G. & Karaoğlu, M. M. (2007). Ekmek bayatlaması ve bayatlama derecesini ölçmede kullanılan yöntemler: I. *Gıda*, 32(6), 305-315.
- Godefroidt, T., Ooms, N., Pareyt, B., Brijs, K. & Delcour, J. A. (2019). Ingredient functionality during foam-type cake making: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1550-1562.
- Goh, K. M., Wong, Y. H., Abas, F., Lai, O. M., Cheong, L. Z., Wang, Y., Wang, Y. & Tan, C. P. (2019). Effects of shortening and baking temperature on quality, MCPD ester and glycidyl ester content of conventional baked cake. *LWT-Food Science and Technology*, 116, 108553.
- Goldfein, K. R. and Slavin, J. L. (2015). Why sugar is added to food: food science 101. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 644-656.
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V. & Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat–chickpea flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1701-1709.
- González-Montemayor, Á.-M., Flores-Gallegos, A. C., Serrato-Villegas, L. E., Ruelas-Chacón, X., López, M. G. & Rodríguez-Herrera, R. (2020). Processing temperature effect on the chemical content of concentrated aguamiel syrups obtained from two different Agave species. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 1733-1743.
- Gourchala, F., Mihoub, F., Lakhdar-Toumi, S. & Taïbi, K. (2022). From waste to a sustainable ingredient: Date (*Phoenix dactylifera* L.) pits incorporation enhances the physicochemical and sensory properties of Algerian date syrups. *Food Bioscience*, 48, 101734.
- Gökçe, C., Bozkurt, H. & Maskan, M. (2023). The use of carob flour and stevia as sugar substitutes in sponge cake: Optimization for reducing sugar and wheat flour in cake formulation. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 32, 100732.
- Gökmen, V., Açar, Ö. Ç., Köksel, H. & Acar, J. (2007). Effects of dough formula and baking conditions on acrylamide and hydroxymethylfurfural formation in cookies. *Food Chemistry*, 104(3), 1136-1142.
- Gökmen, V. and Morales, F. (2014). Processing contaminants: hydroxymethylfurfural. In Y. Motarjemi (Ed.), *Encyclopedia of Food Safety* (Vol. 2). Elsevier.
- Guallar-Castillón, P., Muñoz-Pareja, M., Aguilera, M. T., León-Muñoz, L. M. & Rodríguez-Artalejo, F. (2013). Food sources of sodium, saturated fat and added sugar in the Spanish hypertensive and diabetic population. *Atherosclerosis*, 229(1), 198-205.

- Guan, M.-Y., Hu, C.-Y., Peng, Q.-S., Zeng, Y., Wen-Wei, A., Wu, Z.-C., Wang, Z.-W. & Zhong, H.-N. (2023). Formation and migration of 5-hydroxymethylfurfural and furfural from food contact bamboo sticks during heating and their safety evaluation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 117, 105146.
- Guldane, M. and Herken, E. N. (2022). The Effect of Natural Sweeteners and Process Conditions on Physical Properties Antioxidant activity and HMF Content of Biscuits. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(02), 2032-2042.
- Guy, E. and Vettel, H. (1973). Effects of mixing time and emulsifier on yellow layer cakes containing butter. *Bakers Digest*, 2, 43-48.
- Gwak, M.-J., Chung, S.-J., Kim, Y. J. & Lim, C. S. (2012). Relative sweetness and sensory characteristics of bulk and intense sweeteners. *Food Science and Biotechnology*, 21, 889-894.
- Hamzah, Y., Aluwi, N. F. M., Sembok, W. Z. W. (2013, 9 Eylül). *Effect of stevia as a sweetener substitution on the quality of kuih baulu* [Bildiri sunumu]. ASEAN Food Conference-13, Singapore.
- Hao, Y., Wang, F., Huang, W., Tang, X., Zou, Q., Li, Z. & Ogawa, A. (2016). Sucrose substitution by polyols in sponge cake and their effects on the foaming and thermal properties of egg protein. *Food Hydrocolloids*, 57, 153-159.
- Hedayati, S., Ansari, S., Javaheri, Z., Golmakani, M. T. & Ansarifard, E. (2022). Multi-objective optimization of cakes formulated with fig or date syrup and different hydrocolloids based on TOPSIS. *LWT-Food Science and Technology*, 171, 114088.
- Hedayati, S., Jafari, S. M., Babajafari, S., Niakousari, M. & Mazloomi, S. M. (2022). Different food hydrocolloids and biopolymers as egg replacers: A review of their influences on the batter and cake quality. *Food Hydrocolloids*, 128, 107611.
- Heenan, S. P., Dufour, J.-P., Hamid, N., Harvey, W. & Delahunty, C. M. (2010). The influence of ingredients and time from baking on sensory quality and consumer freshness perceptions in a baked model cake system. *LWT-Food Science and Technology*, 43(7), 1032-1041.
- Hesso, N., Loisel, C., Chevallier, S., Marti, A., Le-Bail, P., Le-Bail, A. & Seetharaman, K. (2015). The role of ingredients on thermal and rheological properties of cake batters and the impact on microcake texture. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2), 1171-1178.
- Ho, L.-H., Aziz, N. A. A. & Azahari, B. (2013). Physico-chemical characteristics and sensory evaluation of wheat bread partially substituted with banana (*Musa acuminata* X *balbisiana* cv. Awak) pseudo-stem flour. *Food Chemistry*, 139(1-4), 532-539.
- Huamán Castilla, N., Allica, E., León, N. & Yupanqui, G. (2017). Use of Commercial Sweeteners as an Alternative to the Reduction of 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) in Model Cookies. *Revista de la Sociedad Química Del Perú*, 83(2), 213-220.
- Husøy, T., Haugen, M., Murkovic, M., Jöbstl, D., Stølen, L., Bjellaas, T., Rønningborg, C., Glatt, H. & Alexander, J. (2008). Dietary exposure to 5-hydroxymethylfurfural from Norwegian food and correlations with urine metabolites of short-term exposure. *Food and Chemical Toxicology*, 46(12), 3697-3702.

- Jafarnia, A., Soodi, M. & Shekarchi, M. (2016). Determination and comparison of hydroxymethylfurfural in industrial and traditional date syrup products. *Iranian Journal of Toxicology*, 10(5), 11-16.
- Jalili, M. Ansari, F. (2015). Identification and quantification of 5-hydroxymethylfurfural in food products. *Nutrition and Food Sciences Research* 2(1), 47-53.
- Jandlova, M. and Kucerovala, J. (2016). Hydroxymethylfurfural in syrups, doughs and in syrups biscuits. *MendelNet*, 76, 577-581.
- Karadeniz, F. and Ekşi, A. (2002). Sugar composition of apple juices. *European Food Research and Technology*, 215, 145-148.
- Karp, S., Wyrwicz, J., Kurek, M. A. & Wierzbicka, A. (2017). Combined use of cocoa dietary fibre and steviol glycosides in low-calorie muffins production. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(4), 944-953.
- Kaur, R. and Kaur, M. (2018). Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed. *LWT-Food Science and Technology*, 91, 278-285.
- Kavousi, P., Mirhosseini, H., Ghazali, H. & Ariffin, A. A. (2015). Formation and reduction of 5-hydroxymethylfurfural at frying temperature in model system as a function of amino acid and sugar composition. *Food Chemistry*, 182, 164-170.
- Keskin, M., Setlek, P., Demir, S. (2017, 16 Kasım). *Renk ölçüm sistemlerinin gıda bilimleri ve tarımda kullanım alanları* [Bildirimi Sunumu]. International Advanced Researches & Engineering Congress, Osmaniye.
- Khorshidpour, B., Asadolahi, S., Rezaei, M., Nateghi, L. & Mostafa, Z. (2021). Effect of Adding stevia to the oil cake formulation and investigating its effects on shelf life and physicochemical properties. *Journal of Food Safety and Processing*, 1(1), 29-47.
- Khouryieh, H. A., Aramouni, F. M. & Herald, T. J. (2005). Physical and sensory characteristics of no-sugar-added/low-fat muffin. *Journal of Food Quality*, 28(5-6), 439-451.
- Kim, K.-H. and Lee, G.-H. (2016). Characteristics of sponge cake prepared with yacon concentrates as sugar substitute. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 45(10), 1453-1459.
- Kocadağlı, T. and Gokmen, V. (2016a). Effect of sodium chloride on α -dicarbonyl compound and 5-hydroxymethyl-2-furfural formations from glucose under caramelization conditions: A multiresponse kinetic modeling approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(32), 6333-6342.
- Kocadağlı, T. and Gokmen, V. (2016b). Effects of sodium chloride, potassium chloride, and calcium chloride on the formation of α -dicarbonyl compounds and furfurals and the development of browning in cookies during baking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(41), 7838-7848.

- Koç, M., Koç, B., Susyal, G., Sakin Yilmazer, M., Kaymak Ertekin, F. & Bağdatlıoğlu, N. (2011). Functional and physicochemical properties of whole egg powder: effect of spray drying conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 48, 141-149.
- Koszucka, A. and Nowak, A. (2019). Thermal processing food-related toxicants: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(22), 3579-3596.
- Kowalski, S., Lukaszewicz, M., Duda-Chodak, A. & Ziec, G. (2013). 5-Hydroxymethyl-2-furfural (HMF)–heat-induced formation, occurrence in food and biotransformation-a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 63(4), 243-251.
- Król, K., Ponder, A. & Gantner, M. (2019). The effect of sugar substitutes on selected characteristics of shortcrust pastry. *Acta Innovations*, 2(31), 57-63.
- Kus, S., Gogus, F. & Eren, S. (2005). Hydroxymethyl furfural content of concentrated food products. *International Journal of Food Properties*, 8(2), 367-375.
- Kutyla-Kupidura, E. M., Sikora, M., Krystijan, M., Dobosz, A., Kowalski, S., Pysz, M. & Tomasik, P. (2016). Properties of sugar-free cookies with xylitol, sucralose, Acesulfame K and their blends. *Journal of Food Process Engineering*, 39(4), 321-329.
- Lajnef, I., Khemiri, S., Ben Yahmed, N., Chouaibi, M. & Smaali, I. (2021). Straightforward extraction of date palm syrup from *Phoenix dactylifera* L. byproducts: application as sucrose substitute in sponge cake formulation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(5), 3942-3952.
- Lee, C.-H., Chen, K.-T., Lin, J.-A., Chen, Y.-T., Chen, Y.-A., Wu, J.-T. & Hsieh, C.-W. (2019). Recent advances in processing technology to reduce 5-hydroxymethylfurfural in foods. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 271-280.
- Lee, J. S., Ramalingam, S., Jo, I. G., Kwon, Y. S., Bahuguna, A., Oh, Y. S., Kwon, O.-J. & Kim, M. (2018). Comparative study of the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of some commercial refined and non-centrifugal sugars. *Food Research International*, 109, 614-625.
- Lemos, A. C., de Borba, V. S., de Medeiros Burkert, J. F., Scaglioni, P. T. & Badiale-Furlong, E. (2023). Role of white bread matrix components and processing parameters on 5-hydroxymethylfurfural (HMF) and acrylamide formation. *Food Control*, 145, 109407.
- Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L. & Ah-Hen, K. (2012). Stevia rebaudiana Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chemistry*, 132(3), 1121-1132.
- Leopold, L., Diehl, H. & Socaciu, C. (2009). Quantification of glucose, fructose and sucrose in apple juices using ATR-MIR spectroscopy coupled with chemometry. *Bulletin UASMV Agriculture*, 66(2), 350-357.
- Levent, H. and Bilgiçli, N. (2013). Quality evaluation of wheat germ cake prepared with different emulsifiers. *Journal of Food Quality*, 36(5), 334-341.

- Li, J., Dai, Q., Zhu, Y., Xu, W., Zhang, W., Chen, Y. & Mu, W. (2023). Low-calorie bulk sweeteners: Recent advances in physical benefits, applications, and bioproduction. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-15.
- Li, Z., Yuan, Y., Yao, Y., Wei, X., Yue, T. & Meng, J. (2019). Formation of 5-hydroxymethylfurfural in industrial-scale apple juice concentrate processing. *Food Control*, 102, 56-68.
- Liu, Q., Zhou, P., Luo, P. & Wu, P. (2023). Occurrence of Furfural and Its Derivatives in Coffee Products in China and Estimation of Dietary Intake. *Foods*, 12(1), 200.
- Lothrop, R. S. (2012). *Physicochemical and sensory quality of chiffon cake prepared with rebaudioside-A and erythritol as replacement for sucrose* [Doktora Tezi] Colorado State University.
- Lustig, R. H., Schmidt, L. A. & Brindis, C. D. (2012). The toxic truth about sugar. *Nature*, 482(7383), 27-29.
- Manickvasagan, A., Kumar, C. S. & Al-Attabi, Z. H. (2017). Effect of sugar replacement with date paste and date syrup on texture and sensory quality of kesari (traditional Indian dessert). *Journal of Agricultural and Marine Sciences [JAMS]*, 22, 67-74.
- Manisha, G., Soumya, C. & Indrani, D. (2012). Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. *Food Hydrocolloids*, 29(2), 363-373.
- Mańkowska, D., Majak, I., Bartos, A., Słowianek, M., Łacka, A. & Leszczyńska, J. (2017). 5-hydroxymethylfurfural content in selected gluten-and gluten-free cereal food products. *Biotechnology and Food Science*, 81(1), 11-21.
- Mariotti, M. Lucisano, M. (2014). Sugar and sweeteners. In *Bakery products science and technology* (ss. 199-221).
- Martinez-Giron, J., Figuera-Molano, A. M. & ordonez-Santos, L. E. (2017). Effect of the addition of peach palm (*Bactris gasipaes*) peel flour on the color and sensory properties of cakes. *Food Science and Technology*, 37, 418-424.
- Martins, F. C., Alcantara, G. M., Silva, A. F. S., Melchert, W. R. & Rocha, F. R. (2022). The role of 5-hydroxymethylfurfural in food and recent advances in analytical methods. *Food Chemistry*, 395, 133539.
- Matsakidou, A., Blekas, G. & Paraskevopoulou, A. (2010). Aroma and physical characteristics of cakes prepared by replacing margarine with extra virgin olive oil. *LWT-Food Science and Technology*, 43(6), 949-957.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.
- Mehrabi, S., Koushki, M. & Azizi, M. H. (2017). Effect of grape syrup as a replacement for sugar on the chemical and sensory properties of sponge cake. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 5(2), 126.

- Mercan, N. ve Boyacıoğlu, M. (1999). Kek üretiminde yaygın olarak kullanılan bileşenler ve fonksiyonları. *Dünya Gıda Dergisi*, 47, 36-42.
- Merrill, A. Watt, B. (1973). Energy value of foods: basis and derivation, agriculture handbook. *Washington, DC: United States Department of Agriculture*.
- Miao, Y., Zhang, H., Zhang, L., Wu, S., Sun, Y., Shan, Y. & Yuan, Y. (2014). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation in reconstituted potato chips during frying. *Journal of food science and technology*, 51, 4005-4011.
- Milner, L., Kerry, J. P., O'Sullivan, M. G. & Gallagher, E. (2020). Physical, textural and sensory characteristics of reduced sucrose cakes, incorporated with clean-label sugar-replacing alternative ingredients. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102235.
- Mine, Y. (1995). Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 6(7), 225-232.
- Mirab, B., Gavligli, H. A., Sarteshnizi, R. A., Azizi, M. H. & Udenigwe, C. C. (2020). Production of low glycemic potential sponge cake by pomegranate peel extract (PPE) as natural enriched polyphenol extract: Textural, color and consumer acceptability. *LWT-Food Science and Technology*, 134, 109973.
- Mora, M. R. and Dando, R. (2021). The sensory properties and metabolic impact of natural and synthetic sweeteners. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1554-1583.
- Mordor Intelligence. (2023). *Cakes Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2023 - 2028)*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/cakes-market>
- Nguyen, H. T., Peters, R. J. & Van Boekel, M. A. (2016). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation during baking of biscuits: Part I: Effects of sugar type. *Food Chemistry*, 192, 575-585.
- Obreiter, M. and Roseno, A. (2017). Sucralose and Stevia Substitution in Lemon Pound Cake: A Sensory Evaluation. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 117(9), A63.
- Ojansivu, I., Ferreira, C. L. & Salminen, S. (2011). Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(1), 40-46.
- Oral, R. A., Mortas, M., Dogan, M., Sarioglu, K. & Yazici, F. (2014). New approaches to determination of HMF. *Food Chemistry*, 143, 367-370.
- Ortu, E. and Caboni, P. (2017). Levels of 5-hydroxymethylfurfural, furfural, 2-furoic acid in sapa syrup, Marsala wine and bakery products. *International journal of food properties*, 20(3), S2543-S2551.
- Ozuna, C. and Franco-Robles, E. (2022). Agave syrup: An alternative to conventional sweeteners? A review of its current technological applications and health effects. *LWT-Food Science and Technology*, 162, 113434.

- Ozuna, C., Trueba-Vázquez, E., Moraga, G., Llorca, E. & Hernando, I. (2020). Agave syrup as an alternative to sucrose in muffins: impacts on rheological, microstructural, physical, and sensorial properties. *Foods*, 9(7), 895.
- Özgür, M. (2022). *Şeker İkamesi Olarak Kullanılan D-Allulozun Keklerin Bazı Fizikokimyasal, Tekstürel ve Duyusal Özellikleri Üzerine Etkileri* [Doktora Tezi]. Ankara Üniversitesi.
- Palamutoğlu, R., Kasnak, C. & Moral, B. (2018). Şeker ikamesi olarak stevya ekstraktı kullanımının keklerin bazı fiziksel ve duyusal özellikleri üzerine etkisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 98-108.
- Paridhi, B., Madhu, G., Vimla, D. & Reema, R. (2017). Development and quality evaluation of stevia based cake and biscuits. *Food Science Research Journal*, 8(1), 64-69.
- Parseh, A., Rezazadeh Bari, M., Mohtarami, F. & Amiri, S. (2023). Optimization of a new sponge cake to investigate the replacement of acorn flour and acorn syrup with wheat flour and sugar. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 20(140), 66-79.
- Peter Ikechukwu, A., Okafor, D., Kabuo, N., Ibeabuchi, J., Odimegwu, E., Alagbaoso, S., Njideka, N. & Mbah, R. (2017). Production and evaluation of cookies from whole wheat and date palm fruit pulp as sugar substitute. *International Journal of Advancement in Engineering Technology, Management and Applied Science*, 4(04), 1-31.
- Petisca, C., Henriques, A., Pérez-Palacios, T., Pinho, O. & Ferreira, I. (2014). Assessment of hydroxymethylfurfural and furfural in commercial bakery products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(1), 20-25.
- Phillips, K. M., Carlsen, M. H. & Blomhoff, R. (2009). Total antioxidant content of alternatives to refined sugar. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(1), 64-71.
- Primo-Martín, C., Sözer, N., Hamer, R. & Van Vliet, T. (2009). Effect of water activity on fracture and acoustic characteristics of a crust model. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 277-284.
- Psimouli, V. and Oreopoulou, V. (2012). The effect of alternative sweeteners on batter rheology and cake properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(1), 99-105.
- Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products—A review. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 239-249.
- Pycarelle, S. C. and Delcour, J. A. (2021). The role and impact on quality of exogenous and endogenous lipids during sponge cake making. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 158-166.
- Pyler, E. (1988). *Baking Science and Technology*. Sosland Publishing Company.
- Raei, P., Peighambaroust, S., Azadmard-Damirchi, S. & Ghaffari, A. (2016). Effect of replacement of sucrose with date syrup on the quality characteristics of sponge cake. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 11(1), 87-94.

- Ramírez-Jiménez, A., García-Villanova, B. & Guerra-Hernández, E. (2000). Hydroxymethylfurfural and methylfurfural content of selected bakery products. *Food Research International*, 33(10), 833-838.
- Rannou, C., Laroque, D., Renault, E., Prost, C. & Sérot, T. (2016). Mitigation strategies of acrylamide, furans, heterocyclic amines and browning during the Maillard reaction in foods. *Food Research International*, 90, 154-176.
- Renzetti, S., van den Hoek, I. A. & van der Sman, R. G. (2020). Amino acids, polyols and soluble fibres as sugar replacers in bakery applications: Egg white proteins denaturation controlled by hydrogen bond density of solutions. *Food Hydrocolloids*, 108, 106034.
- Ribeiro, M. M., Diamantino, T., Domingues, J., Montanari Jr, Í., Alves, M. N. & Gonçalves, J. C. (2021). Stevia rebaudiana germplasm characterization using microsatellite markers and steviol glycosides quantification by HPLC. *Molecular Biology Reports*, 48(3), 2573-2582.
- Rodriguez-Garcia, J., Ding, R., Nguyen, T. H., Grasso, S., Chatzifragkou, A. & Methven, L. (2022). Soluble fibres as sucrose replacers: Effects on physical and sensory properties of sugar-reduced short-dough biscuits. *LWT-Food Science and Technology*, 167, 113837.
- Rodríguez-García, J., Salvador, A. & Hernando, I. (2014). Replacing fat and sugar with inulin in cakes: bubble size distribution, physical and sensory properties. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4), 964-974.
- Rodríguez, A., Magan, N. & Medina, A. (2016). Evaluation of the risk of fungal spoilage when substituting sucrose with commercial purified Stevia glycosides in sweetened bakery products. *International Journal of Food Microbiology*, 231, 42-47.
- Rodríguez García, J., Puig Gómez, C. A., Salvador, A. & Hernando Hernando, M. (2013). Functionality of several cake ingredients: a comprehensive approach. *Czech Journal of Food Sciences*, 31(4), 355-360.
- Rodríguez García, J., Sahi, S. S. & Hernando, I. (2014). Functionality of lipase and emulsifiers in low-fat cakes with inulin. *LWT-Food Science and Technology*, 58(1), 173-182.
- Rosatella, A. A., Simeonov, S. P., Frade, R. F. & Afonso, C. A. (2011). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) as a building block platform: Biological properties, synthesis and synthetic applications. *Green Chemistry*, 13(4), 754-793.
- Rufián-Henares, J. and De la Cueva, S. (2008). Assessment of hydroxymethylfurfural intake in the Spanish diet. *Food Additives and Contaminants*, 25(11), 1306-1312.
- Sağlık Bakanlığı. (2022). *Türkiye Beslenme Rehberi (TÜBER) 2022*.
- Sahin, A. W., Zannini, E., Coffey, A. & Arendt, E. K. (2019). Sugar reduction in bakery products: Current strategies and sourdough technology as a potential novel approach. *Food Research International*, 126, 108583.
- Sakač, M., Jovanov, P., Petrović, J., Pezo, L., Fišteš, A., Lončarević, I. & Pajin, B. (2019). Hydroxymethylfurfural content and colour parameters of cookies with defatted wheat germ. *Czech Journal of Food Sciences*, 37(4), 285-291.

- Sanggramasari, S. (2019). Effect of honey and stevia as sugar substitute on sensory evaluation of chiffon cake. *Journal Of Business On Hospitality And Tourism*, 5(1), 117.
- Santiago-Martínez, A., Pérez-Herrera, A., Martínez-Gutiérrez, G. & Meneses, M. (2023). Contributions of agaves to human health and nutrition. *Food Bioscience*, 102753.
- Saraç, M. G., Dedebaş, T., Hastaoğlu, E. & Arslan, E. (2022). Influence of using scarlet runner bean flour on the production and physicochemical, textural, and sensorial properties of vegan cakes: WASPAS-SWARA techniques. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27, 100489.
- Saraiva, A., Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F. & Raposo, A. (2020). Natural sweeteners: The relevance of food naturalness for consumers, food security aspects, sustainability and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6285.
- Schiatti-Sisó, I. P., Quintana, S. E. & García-Zapateiro, L. A. (2023). Stevia (*Stevia rebaudiana*) as a common sugar substitute and its application in food matrices: an updated review. *Journal of Food Science and Technology*, 60(5), 1483-1492.
- Shahidi, B., Kalantari, M. & Boostani, S. (2017). Preparation and characterization of sponge cake made with grape juice. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(2), 415-425.
- Shapla, U. M., Solayman, M., Alam, N., Khalil, M. I. & Gan, S. H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal*, 12(1), 1-18.
- Sharma, V. K., Ingle, N. A., Kaur, N., Yadav, P., Ingle, E. & Charania, Z. (2016). Sugar Substitutes and Health: A Review. *Journal of Advanced Oral Research*, 7(2), 7-11.
- Shehzad, M., Rasheed, H., Naqvi, S. A., Al-Khayri, J. M., Lorenzo, J. M., Alaghbari, M. A., Manzoor, M. F. & Aadil, R. M. (2021). Therapeutic potential of date palm against human infertility: A review. *Metabolites*, 11(6), 408.
- Shelke, K., Hoseney, R., Faubion, J. & Curran, S. (1992). Milled from Freshly Harvested Soft Wheat'. *Cereal Chemistry*, 69(2), 145-147.
- Singh, P., Ban, Y., Kashyap, L., Siraree, A. & Singh, J. (2020). Sugar and sugar substitutes: recent developments and future prospects. In N. Mohan & P. Singh (Eds.), *Sugar and Sugar Derivatives: Changing Consumer Preferences* (ss. 39-75). Springer.
- Singleton, V. L. and Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Spies, R. and Hoseney, R. C. (1982). Effect of sugars on starch gelatinization. *Cereal Chemistry*, 59(2), 128-131.
- Stavale, M. D. O., Assunção Botelho, R. B. & Zandonadi, R. P. (2019). Apple as sugar substitute in cake. *Journal of Culinary Science & Technology*, 17(3), 224-231.

- Struck, S., Jaros, D., Brennan, C. S. & Rohm, H. (2014). Sugar replacement in sweetened bakery goods. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(9), 1963-1976.
- Sulaiman, A., Hashem, H. & Nassar, A. (2022). Utilization of Stevia Leaves Powder or Stevia Leaves Aqueous Extract as a Substitute for Sugar to Produce Low Calorie Cake. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*, 47(1), 8-18.
- Surh, Y.-J., Liem, A., Miller, J. A. & Tannenbaum, S. R. (1994). 5-Sulfooxymethylfurfural as a possible ultimate mutagenic and carcinogenic metabolite of the Maillard reaction product, 5-hydroxymethylfurfural. *Carcinogenesis*, 15(10), 2375-2377.
- Suri, P. and Chhabra, P. (2020). A review presence of 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) in food products: Positive and negative impacts on human health. *International Journal of Forensic Sciences*, 5(2), 1-10.
- Taş, N. G., Kocadağlı, T., Balagiannis, D. P., Gökmen, V. & Parker, J. K. (2023). Effect of salts on the formation of acrylamide, 5-hydroxymethylfurfural and flavour compounds in a crust-like glucose/wheat flour dough system during heating. *Food Chemistry*, 410, 135358.
- Taş, N. G., Kocadağlı, T. & Gökmen, V. (2022). Safety concerns of processed foods in terms of neo-formed contaminants and NOVA classification. *Current Opinion in Food Science*, 47, 100876.
- Teng, C., Xing, B., Fan, X., Zhang, B., Li, Y. & Ren, G. (2021). Effects of Maillard reaction on the properties and anti-inflammatory, anti-proliferative activity in vitro of quinoa protein isolates. *Industrial Crops and Products*, 174, 114165.
- Torley, P., De Boer, J., Bhandari, B., Kasapis, S., Shrinivas, P. & Jiang, B. (2008). Application of the synthetic polymer approach to the glass transition of fruit leathers. *Journal of Food Engineering*, 86(2), 243-250.
- Toufeili, I., Itani, M., Zeidan, M., Al Yamani, O. & Kharroubi, S. (2022). Nutritional and Functional Potential of Carob Syrup Versus Date and Maple Syrups. *Food Technology and Biotechnology*, 60(2), 266-278.
- Tounsi, L., Ghazala, I. & Kechaou, N. (2020). Physicochemical and phytochemical properties of Tunisian carob molasses. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 20-30.
- Tsatsaragkou, K., Methven, L., Chatzifragkou, A. & Rodriguez-Garcia, J. (2021). The functionality of inulin as a sugar replacer in cakes and biscuits; highlighting the influence of differences in degree of polymerisation on the properties of cake batter and product. *Foods*, 10(5), 951.
- Türk Gıda Kodeksi. (2020). *Bal Tebliği (Tebliğ No: 2020/7)*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/04/20200422-13.htm>
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE). (2008). *TS 13375 Hazır kekler – sade, çeşnili ve dolgulu standardı*. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073087072114053097115073069079113048>

- Ukom, A. N., Ezenwigbo, M. C. & Ugwuona, F. U. (2022). Grapefruit peel powder as a functional ingredient in cake production: Effect on the physicochemical properties, antioxidant activity and sensory acceptability of cakes during storage. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28, 100517.
- Ulbricht, R. J., Northup, S. J. & Thomas, J. A. (1984). A review of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) in parenteral solutions. *Toxicological sciences*, 4(5), 843-853.
- US Food Drug Administration. (2023). *CFR-code of federal regulations title 21*. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm>
- van der Sman, R., Jurgens, A., Smith, A. & Renzetti, S. (2022). Universal strategy for sugar replacement in foods? *Food Hydrocolloids*, 133, 107966.
- Van der Sman, R. and Renzetti, S. (2021). Understanding functionality of sucrose in cake for reformulation purposes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(16), 2756-2772.
- Varzakas, T., Labropoulos, A. & Anestis, S. (2012). *Sweeteners: nutritional aspects, applications, and production technology*. CRC press.
- Vatankhah, M., Garavand, F., Elhamirad, A. & Yaghbani, M. (2015). Influence of sugar replacement by stevioside on physicochemical and sensory properties of biscuit. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7(3), 393-400.
- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K. & Delcour, J. A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science & Technology*, 30(1), 6-15.
- Willems, J. L. and Low, N. H. (2012). Major carbohydrate, polyol, and oligosaccharide profiles of agave syrup. Application of this data to authenticity analysis. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(35), 8745-8754.
- Williams, R. (2023). *Applications of Major and Minor Steviol Glycosides of Stevia rebaudiana in Complex Food Systems* [Yüksek Lisans Tezi]. Auburn University.
- World Health Organization. (2015). *Guideline: sugars intake for adults and children*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549028>
- Xu, Y., Wu, Y., Liu, Y., Li, J., Du, G., Chen, J., Lv, X. & Liu, L. (2022). Sustainable bioproduction of natural sugar substitutes: Strategies and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 129(1), 512-527.
- Yargatti, R. Muley, A. (2022). Agave syrup as a replacement for sucrose: An exploratory review. *Functional Foods in Health and Disease*, 12(10), 590-600.
- Yebra-Biurrun, M. (2013). Food and nutritional analysis| Sweeteners. In C. P. Paul Worsfold, Alan Townshend, Manuel Miró (Ed.), *Encyclopedia of Analytical Science (Third Edition)*. Elsevier.
- Yoğurtçu, H. (2019). Optimization of microwave apple drying using response surface method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(3), 1365-1376.

- Younes, M., Aquilina, G., Castle, L., Engel, K. H., Fowler, P., Frutos Fernandez, M. J., Fürst, P., Gundert-Remy, U. & Gürtler, R. (2021). Scientific Opinion on Flavouring Group Evaluation 13 Revision 3 (FGE. 13Rev3): furfuryl and furan derivatives with and without additional side-chain substituents and heteroatoms from chemical group 14. *EFSA Journal*, 19(2), e06386.
- Zhang, Y.-Y., Song, Y., Hu, X.-S., Liao, X.-J., Ni, Y.-Y. & 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.
- Zhang, Z., Zou, Y., Wu, T., Huang, C., Pei, K., Zhang, G., Lin, X., Bai, W. & Ou, S. (2016). Chlorogenic acid increased 5-hydroxymethylfurfural formation when heating fructose alone or with aspartic acid at two pH levels. *Food Chemistry*, 190, 832-835.
- Zhu, Y., Luo, Y., Sun, G., Wang, P., Hu, X. & Chen, F. (2022). The simultaneous inhibition of histidine on 5-hydroxymethylfurfural and acrylamide in model systems and cookies. *Food Chemistry*, 370, 131271.
- Zulkifli, A. H., Ismail, W. R. W., Bachok, S. & Baba, N. (2016, Kasım). *Low Calorie Cake: The Impact of Stevia Application in Baking Product* [Bildirimi Sunumu]. An International Multi-Disciplinary Graduate Conference of Terengganu, Terengganu.

EKLER

EK-1 Şekil Kullanım İzni

1.08.2023 09:57

RightsLink Printable License

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Aug 01, 2023

This Agreement between Ege University -- Rana Akder ("You") and Elsevier ("Elsevier") consists of your license details and the terms and conditions provided by Elsevier and Copyright Clearance Center.

License Number	5600070042071
License date	Aug 01, 2023
Licensed Content Publisher	Elsevier
Licensed Content Publication	Food Chemistry
Licensed Content Title	The role of 5-hydroxymethylfurfural in food and recent advances in analytical methods
Licensed Content Author	Fernanda C.O.L. Martins, Gabriela M.R.N. Alcantara, Anna Flavia S. Silva, Wanessa R. Melchert, Fábio R.P. Rocha
Licensed Content Date	Nov 30, 2022
Licensed Content Volume	395
Licensed Content Issue	n/a
Licensed Content Pages	1
Start Page	133539
End Page	0
Type of Use	reuse in a thesis/dissertation

<https://s100.copyright.com/AppDispatchServlet>

1/7

Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	1
Format	both print and electronic
Are you the author of this Elsevier article?	No
Will you be translating?	Yes, without English rights
Number of languages	1
Title	PhD student
Institution name	Ankara University
Expected presentation date	Dec 2023
Order reference number	RNA1
Portions	Figure 1 Reaction schemes of the formation of HMF via Maillard reaction from glucose (a) and fructose (b) or caramelization from frutofuronosyl cation (c))
Specific Languages	Turkish
	Ege University Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakült
Requestor Location	İzmir, 35000 Turkey Attn: Ege University
Publisher Tax ID	GB 494 6272 12
Customer VAT ID	TR15805556690
Total	0.00 USD

Ek-2 Etik Kurul Onayı



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
TIBBİ ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU
Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı 2.Kat. Erzene Ankara Cad. 35100 Bornova / İZMİR
Tel : 0 232 390 2134 e-mail: egetaek@gmail.com

ARAŞTIRMA BAŞVURUSU ONAY BELGESİ

BAŞVURU BİLGİLERİ	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Farklı Şeker İkamelerinin Keklerin Kalite Özellikleri ve Hidroksimetil Furfural (HMF) Düzeylerine Etkisi					
	SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Prof. Dr. Funda Pınar Çakıroğlu					
	YARDIMCI ARAŞTIRMACILAR	Doc. Dr. Özlem Çağındı Diğer(Hemşire, Diyetisyen vb) Rana Nagihan Akder					
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi					
	DESTEKLEYİCİ	Funda Pınar ÇAKIROĞLU					
	ARAŞTIRMA TİPİ	Niceliksel Diğer Metodolojik					
KARAR BİLGİLERİ	Karar Nu: 23-2.1T/31	Tarih: 23.02.2023					
	Yukarıda başvuru bilgileri verilen araştırma başvuru dosyası ve ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak Kurulumuzca incelenmiş, araştırma giderlerinin gönüllüye ve/veya bağlı bulunduğu sosyal güvenlik kurumuna ödetilmediği koşullarda araştırmaya başlanmasının etik açıdan uygun bulunduğu toplantıya katılan etik kurul üyelerince Oy birliği ile karar verilmiştir.						
ÇALIŞMA ESASI		EGE ÜNİVERSİTESİ TIBBİ ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU					
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:		Ege Üniversitesi Tıbbi Araştırmalar Etik Kurul Yönergesi, İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu Prof. Dr. Guzide Aksu					
Unvanı / Adı / Soyadı EK Üyeliği	Uzmanlık Dalı	Kurumu	Cinsiyeti	İlişki (*)	Katılım (**)	İmza	
Prof. Dr. Guzide Aksu Başkan	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Çocuk Sağlığı Ve Hastalıkları A.D.	K	Hayır	Evet	Online Katıldı	
Doc. Dr. Banu Sarsık Kumbaracı Başkan Yardımcısı	Tıbbi Patoloji	Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Patoloji Anabilim Dalı	K	Hayır	Evet	Online Katıldı	
Dr. Öğr. Üyesi Aysun Eksioğlu Raportör	Ebelik A.D.	Sağlık Bilimleri Fakültesi Ebelik Anabilim Dalı	K	Hayır	Evet	Online Katıldı	
Prof. Dr. Zeliha Kerry Üye	Farmakoloji	Ege Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Farmakoloji AD	K	Hayır	Evet	Online Katıldı	
Prof. Dr. Aliye Mandıracıoğlu Üye	Halk Sağlığı A.D.	Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı AD	K	Hayır	Evet	Online Katıldı	
Etik Kurul Başkanı Prof. Dr. Guzide Aksu		Araştırma Başvurusu Onay Belgesi			Belge Kodu 22	Rev. Tarihi / No.su: 28.09.2011/05	



**T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
TIBBİ ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU**

Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı 2.Kat. Erzene Ankara Cad. 35100 Bornova / İZMİR
Tel : 0 232 390 2134 e-mail: egetaek@gmail.com

ARAŞTIRMA BAŞVURUSU ONAY BELGESİ

Prof. Dr. Cengiz Çavuşoğlu Üye	Klinik Mikrobiyoloji ve Enfeksiyon Hastalıkları	Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi	E	Hayır	Evet	Online Katıldı
Prof. Dr. Ceyda Kabaroğlu Üye	Tıbbi Biyokimya Uzmanı	EGE ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ	K	Hayır	Evet	Online Katıldı
Prof. Dr. Yasemin Yıldırım Üye	İç Hastalıkları Hemşireliği	Hemşirelik Fakültesi	K	Hayır	Evet	Online Katıldı
Prof. Dr. Mehmet Çağdaş Eker Üye	Ruh Sağlığı ve Hastalıkları	Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Ruh Sağlığı ve Hastalıkları A.D.	E	Hayır	Evet	Online Katıldı
Prof. Dr. Oya Türkoğlu Üye	Periodontoloji	Ege Üniversitesi Diş Hek. Fakültesi Periodontoloji A.D.	K	Hayır	Evet	Online Katıldı
Prof. Dr. Meltem Sezgi Demirci Üye	İç Hastalıkları	Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi İç Hastalıkları A.D.	K	Hayır	Evet	Online Katıldı
Prof. Dr. Şafak Dağhan Üye	Halk Sağlığı Hemşireliği A.D.	Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Halk Sağlığı Hemşireliği AD	E	Hayır	Evet	Online Katıldı
Prof. Dr. Gülbün Rudarlı Üye	Hareket ve Antrenman Bilimleri	Ege Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Hareket ve Antrenman Bilimleri AD.	K	Hayır	Evet	Online Katıldı
Doc. Dr. Ahmet Özgür Yemiel Üye	kadın hastalıkları ve Doğum	Ege Üniversitesi tıp fakültesi kadın hastalıkları ve doğum uzmanı	E	Hayır	Evet	Online Katıldı
Doc. Dr. Tahir Atik Üye	Çocuk Sağlığı Ve Hastalıkları	Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Çocuk Sağlığı Ve Hastalıkları A.D.	E	Hayır	Evet	Online Katıldı
Doc. Dr. Fatma Sert Üye	Radyasyon Onkolojisi	Ege Üniversitesi	K	Hayır	Evet	Online Katıldı
Doc. Dr. ALİ TEKİN Üye	Çocuk Cerrahisi/Çocuk Ürolojisi	Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Çocuk Cerrahisi A.D.	E	Hayır	Evet	Online Katıldı

Etik Kurul Başkanı Prof. Dr. Guzide Aksu		Araştırma Başvurusu Onay Belgesi	Belge Kodu 22	Rev. Tarihi / No.su: 28.09.2011/05
---	--	----------------------------------	------------------	---------------------------------------

EK-3 Duyusal Analiz Formu

DUYUSAL ANALİZ PANEL FORMU						
Panelistin Adı-Soyadı:						
Bu çalışmada, farklı seker ikameleri kullanılarak 5 farklı kek üretilmiştir. Kek örneklerine ait özellikleri aşağıda verilen puan sistemine göre (1-9 skalasında) değerlendiriniz. UYARI: Kek örneklerini tatmaya başlamadan ve bir sonraki kekin tadına bakmadan önce lütfen bir miktar su içiniz. 9: mükemmel 8: çok iyi 7: iyi 6: iyunin altı - ortanın üstü 5: orta 4: ortanın altı - kötünün üstü 3: kötü 2: çok kötü 1: aşırı kötü						
DUYUSAL ÖZELLİKLER		ÖRNEK KODLARI				
		103	267	381	416	551
Görünüş						
Renk	İç Renk					
	Kabuk Rengi					
Lezzet						
Doku						
Genel Beğeni						

EK-4 Gönüllü Olur Formu

BİLGİLENDİRİLMİŞ OLUR FORMU
LÜTFEN DİKKATLİCE OKUYUNUZ!!! Bu çalışmaya katılmak üzere davet edilmiş bulunmaktasınız. Bu çalışmada yer almayı kabul etmeden önce çalışmanın ne amaçla yapılmak istendiğini anlamanız ve kararınızı bu bilgilendirme sonrası özgürce vermeniz gerekmektedir. Size özel hazırlanmış bu bilgilendirmeyi lütfen dikkatlice okuyunuz, sorularınıza açık yanıtlar isteyiniz.
Bu çalışmanın adı ne? Bu çalışmanın adı: 'Farklı Şeker İkamelerinin Keklerin Kalite Özellikleri ve Hidroksimetil Furfural (HMF) Düzeylerine Etkisi'dir.
Bu çalışmanın amacı ne? Bu çalışmanın amacı şeker ikamesi olarak yaygın kullanılan bazı maddelerin (agave şurubu, elma suyu konsantresi, hurma suyu, stevia) keklerin kalite özelliklerine ve HMF düzeyine etkisini incelemektir.
Size nasıl bir uygulama yapılacak? Kontrol kek (sükroz) formülasyonu belirlenirken literatürdeki formülasyonlar, AACC Standart Metot No:10-90.01' incelenmiş ve bu formülasyonlar ev yapımına uygun hale getirmek amacıyla araştırmacılar tarafından modifiye edilmiştir. Eklenerek şeker ikamesi miktarları kek örneklerinin eşit tatlılık derecesine sahip olması amacıyla şeker ikamelerinin tatlandırıcılık oranları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Kullanılacak bütün malzemeler yapımdan önce 1 saat oda sıcaklığında bekletilecektir. Şeker ikamesi veya şeker ile yumurta el mikseri ile 5 dk boyunca çırpılacak ardından bütün sıvı maddeler eklenerek tekrar 2 dk daha çırpılacaktır. En son elenmiş un, kabartma tozu ve vanilin eklenerek tekrar 5 dk daha çırpılacaktır. Bütün kekler 180 °C'de 30 dakika fırının orta seviyesinde Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü Beslenme İlkeleri Laboratuvarı'nda pişirilecektir. Çalışmada yer alacak kek formülasyonları (n=5) şu şekildedir: Buğday Unu (g): 100, Süt (g): 75, Yumurta (g): 60, Sıvıyağ (g): 50, Kabartma Tozu (g): 5, Vanilin (g): 2.5, Şeker veya şeker ikamesi: Sofra Şekeri (kontrol) (90g) veya agave şurubu (67.5 g) veya elma suyu konsantresi (67.5 g) veya hurma suyu (60 g) veya sıvı stevia (9 ml). Sizlerden keklerin duyuusal analizi için yapılacak olan panele katılmanız istenecektir. Her kekin kendine ait bir kodu bulunacaktır. Her kekin tadımından sonra sizden kek örneklerine ait özellikleri puan sistemine göre (1-9 skalasında) değerlendirmeniz ve aşağıdaki forma yazmanız istenecektir.
Farklı tedaviler için araştırma gruplarına rastgele atanma olasılığı nedir? Çalışmamızda herhangi bir tedavi veya randomizasyon bulunmamaktadır.

Ne kadar zamanınızı alacak?
Duyusal panel (keklerin tadımı ve duyuşsal analiz panel formunun doldurulması) toplamda 1 saat sürecektir.
Araştırmaya katılımı beklenen tahmini gönüllü sayısı kaçtır?
Araştırmaya 15 gönüllü panelistin katılımı planlanmaktadır.
Sizden alınacak biyolojik materyallere ne olacak ve analizler nerede yapılacak?
Sizden herhangi bir biyolojik materyal alınmayacaktır.
Sizden beklenen nedir? Sizin sorumluluklarınız nelerdir?
Doğru bildirimde bulunmak sizin en temel sorumluluğunuzdur. Ayrıca diğer sorumluluklarınız şöyledir: • Önceden size araştırmacı tarafından en az 1 ay öncesinde belirtilecek günde Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi'ne (İmbatı, Mah. Anadolu Cad. No:358 Karşıyaka / İZMİR) kendi imkanlarınızla gelmeniz gerekmektedir. Yol masrafınız kendinize aittir. • Keklerin tadımını yapıp ilgili formu doldurmanız gerekmektedir.
Çalışmaya katılmak size ne yarar sağlayacak?
Çalışmaya katılmanız sayesinde HMF oranı düşük keklerin tüketilebilirliği değerlendirilecek ve bilime katkı sağlamış olacaksınız.
Araştırmaya katılımının sona erdirilmesini gerektirecek durumlar nelerdir?
Araştırmaya katılmanızı sona erdirecek herhangi bir durum yoktur. Fakat panele geldiğinizde herhangi bir sebepten tadım yapmak istemezseniz araştırmaya katılmamakta özgürsünüz.
Çalışmaya katılmak size herhangi bir zarar verebilir mi?
Çalışmada bireylere zarar verebilecek herhangi bir müdahale bulunmamaktadır.
Eğer katılmak istemezseniz ne olur?
Çalışmaya katılmak istemezseniz veya çalışmaya katılmanız halinde, çalışmanın herhangi bir aşamasında çalışmadan ayrılmak isterseniz, ceza almayacaksınız, hiçbir hukuki yaptırımla karşılaşmayacaksınız veya çalışmaya başlamadan önce sahip olduğunuz haklarınızı kaybetmeyeceksiniz.
Size uygulanabilecek olan alternatif yöntemler nelerdir?
Size alternatif bir yöntem uygulanmayacaktır.
Bu çalışmaya katıldığım için bana herhangi bir ücret ödenecek mi?
Hayır, bu çalışmaya katıldığınız için size herhangi bir ücret ödenmeyecektir.
Bu çalışmaya katıldığım için ben herhangi bir ücret ödeyecek miyim?
Yapılacak her tür tetkik, fizik muayene ve diğer araştırma masrafları size veya güvencesi altında bulunduğunuz resmi ya da özel hiçbir kurum veya kuruluşa ödetilmeyecektir.
Bilgilerin gizliliği: Tüm kişisel ve tıbbi bilgileriniz gizli kalacak, sadece bilimsel amaçlarla kullanılacaktır. Araştırma sonuçlarının yayımlanması halinde dahi kimliğiniz gizli kalacaktır.

Bu çalışmanın sorumlusunun iletişim bilgileri													
1- Adı, soyadı: Funda Pınar ÇAKIROĞLU													
2- Ulaşılabilir telefon numarası: [REDACTED]													
3- Görev yeri: Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi / Beslenme ve Diyetetik Bölümü													
Çalışmaya Katılma Onayı:													
Yukarıda yer alan ve araştırmaya başlanmadan önce gönüllüye verilmesi gereken bilgileri gösteren okudum ve sözlü olarak dinledim. Aklıma gelen tüm soruları araştırmacıya sordum, yazılı ve sözlü olarak bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Çalışmaya katılmayı isteyip istemediğime karar vermem için bana yeterli zaman tanındı. Bu koşullar altında, bana ait tıbbi bilgilerin gözden geçirilmesi, transfer edilmesi ve işlenmesi konusunda araştırma yürütücüsüne yetki veriyorum ve söz konusu araştırmaya ilişkin bana yapılan katılım davetini hiçbir zorlama ve baskı olmaksızın büyük bir gönüllülük içerisinde kabul ediyorum. Araştırmaya gönüllü olarak katıldığımı, istediğim zaman gerekçeli veya gerekçesiz olarak araştırmadan ayrılabileceğimi biliyorum. Bu formu imzalamakla yerel yasaların bana sağladığı hakları kaybetmeyeceğimi biliyorum. Bilgilendirilmiş gönüllü olurunun imzalı ve tarihli bir kopyasının bana verileceğini biliyorum.													
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">GÖNÜLLÜNÜN</th><th>İMZASI</th></tr></thead><tbody><tr><td>ADI & SOYADI</td><td></td><td rowspan="4"></td></tr><tr><td>ADRESİ</td><td></td></tr><tr><td>TELEFONU</td><td></td></tr><tr><td>TARİH</td><td></td></tr></tbody></table>		GÖNÜLLÜNÜN		İMZASI	ADI & SOYADI			ADRESİ		TELEFONU		TARİH	
GÖNÜLLÜNÜN		İMZASI											
ADI & SOYADI													
ADRESİ													
TELEFONU													
TARİH													
 <table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Araştırma ekibinde yer alan ve araştırma hakkında bilgilendirmeyi yapan yetkin bir araştırmacının</th><th>İMZASI</th></tr></thead><tbody><tr><td>ADI & SOYADI</td><td>Rana Nagihan AKDER</td><td rowspan="4"></td></tr><tr><td>ADRESİ</td><td>Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü</td></tr><tr><td>TELEFONU</td><td>[REDACTED]</td></tr><tr><td>TARİH</td><td></td></tr></tbody></table> ☐		Araştırma ekibinde yer alan ve araştırma hakkında bilgilendirmeyi yapan yetkin bir araştırmacının		İMZASI	ADI & SOYADI	Rana Nagihan AKDER		ADRESİ	Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü	TELEFONU	[REDACTED]	TARİH	
Araştırma ekibinde yer alan ve araştırma hakkında bilgilendirmeyi yapan yetkin bir araştırmacının		İMZASI											
ADI & SOYADI	Rana Nagihan AKDER												
ADRESİ	Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü												
TELEFONU	[REDACTED]												
TARİH													