

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'NİN FARKLI BÖLGELERİNDE ÜRETİLEN
EKŞİ HAMUR VE EKMEKLERİN KALİTESEL
FARKLILIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Murat DOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Enes DERTLİ

Eş Danışman

Doç. Dr. Ruşen METİN YILDIRIM

Temmuz, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'NİN FARKLI BÖLGELERİNDE ÜRETİLEN
EKŞİ HAMUR VE EKMEKLERİN KALİTESEL
FARKLILIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Murat DOĞAN tarafından hazırlanan tez çalışması 03.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Enes DERTLİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Doç. Dr. Ruşen METİN YILDIRIM
Yıldız Teknik Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Enes DERTLİ, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Salih KARASU, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Genç YILMAZ, Üye

İstanbul Gelişim Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Enes DERTLİ sorumluluğunda tarafımda hazırlanan ‘‘Türkiye'nin Farklı Bölgelerinde Üretilen Ekşi Hamur Ve Ekmeklerin Kalitesel Farklılıklarının Değerlendirilmesi’’ başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Murat DOĞAN

İmza



Aileme,

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tez çalışması için beni yüreklendiren ve destekleyen aileme teşekkür ederim. Bu tez çalışmasında bana her türlü araştırma imkânını tanıyan, tüm aşamalarda bana destek olan ve önerileriyle çalışmama yön veren, sabrı ve anlayışıyla eksikliklerimi gidermeme yardımcı olan danışman hocam Prof. Dr. Enes DERTLİ'ye, çalışmalarımda bana destek veren ve motive eden kıymetli hocam Doç. Dr. Ruşen METİN YILDIRIM'a ve deneylerimde yardımını esirgemeyen Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ndeki hocalarıma ayrıca teşekkürü borç bilirim. Deneylerimin her aşamasında bilgi ve tecrübesini benden esirgemeyen başta Yüksek Kimyager Hikmet Tuğrul TEKELİ'ye, Yüksek Moleküler Biyolog Onur GÜLBAY'a ve yardımlarını esirgemeyen çalıştığım kurumdaki arkadaşlarıma, özel gıda laboratuvarlarındaki arkadaşlarıma ve Yıldız Teknik Üniversitesi tüm araştırma görevlisi hocalarıma teşekkürlerimi sunuyorum. Son olarak, çalışmalarımda bana her zaman arkamda durarak büyük bir destek ve güven veren sevgili anne ve babama teşekkür ederim.

Murat DOĞAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
1 GİRİŞ	1
1.1 Litaratür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
2 GENEL BİLGİLER	5
2.1 Ekşi Hamur ve Özellikleri.....	5
2.2 Ekşi Hamurun Faydalı Uygulamaları ve Kalite Üzerine Etkisi	6
2.3 Ekşi Hamurda Mikrobiyota ve Özellikleri.....	10
2.4 Ekşi Hamurun Sağlık Üzerine Etkisi.....	12
2.5 Ekşi Hamur Tipleri.....	15
3 MATERYAL VE METOT	19
3.1 Materyal	19
3.2 Metotlar	20
3.2.1 Ekşi Hamurun Analizleri	20
3.2.2 Ekmek Analizleri	21
3.2.3 İstatiksel Analizler	23
4 BULGULAR VE TARTIŞMA	24
4.1 Ekşi Hamur Analizleri	24
4.1.1 LAB ve Maya Sayımı	24
4.1.2 Toplam Titrasyon Asitliği ve pH.....	26
4.1.3 Ekşi Hamurların Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	27
4.2 Ekmek Analizleri	32
4.2.1 Ekşi Hamur Ekmeklerinde Tekstürel Özelliklerin Belirlenmesi	32
4.2.2 Ekşi Hamur Ekmeklerinin Uçucu Bileşenlerinin Belirlenmesi	36
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	41
KAYNAKÇA	45
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	63

SİMGE LİSTESİ

±	Eksiği veya fazlası
\$	ABD Dolar Para Birimi
g	Gram
M	Molar
N	Newton, kuvvet birimi
pH	Potansiyel hidrojen
°C	Santigrat derece
NaOH	Sodyum hidroksit
%	Yüzde
G'	Elastik Modül
G''	Vizkoz Modül
rad/s	radyan/saniye - açısal hız
kg	Kilogram biriminin SI simgesi
g	Gram biriminin SI simgesi
ml	Mililitre
mm/s	Milimetre/ saniye
s	Saniye
n'	Elastik davranışın frekansa bağılılığı
n''	Viskoz davranışın frekansa bağılılığı
R ²	Belirleme Katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
dk.	Dakika
GC	Gaz kromatografisi
MS	Kütle spektrometresi
KOB	Koloni oluşturan birim
LA	Laktik Asit
LAB	Laktik asit bakterisi/bakterileri
MR	Maillard Reaksiyonu
MRS	De Man Rogosa Sharpe medium
DRBC	Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar
SPME	Katı faz mikroekstraksiyon
TTA	Toplam titrasyon asitliği
CAGR	Birleşik Yıllık Büyüme Oranı
Lb	Lactobacillus
SCFA	Kısa Zincirli Yağ Asitleri
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
LOG	Logaritma
FODMAP	Fermente edilebilen Oligosakkaritler Disakkaritler Monosakkaritler Ve Polioller

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 4.1 Ankara numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları 31
- Şekil 4.2 İzmir numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları 32
- Şekil 4.3 İstanbul numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları 32
- Şekil 4.4 Adana numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları 32
- Şekil 4.5 Düzce numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları 33
- Şekil 4.6 Tekirdağ numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları 33
- Şekil 4.7 Erzincan numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları 33

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Çalışmada kullanılan unun tipi ve oranları	20
Tablo 4.1 Ekşi hamurun LAB ve maya sayımı analiz sonuçları	25
Tablo 4.2 Ekşi hamurun TTA ve pH takibi.....	27
Tablo 4.3 Ekmek hamurlarının viskoelastik özellikleri	31
Tablo 4.4 Ekmek Örneklerinin TPA Değer Tablosu	36
Tablo 4.5 Ekmeklerdeki uçucu bileşen profili	38
Tablo 4.6 Ekmeklerdeki uçucu bileşen profili-Yarı Kantitatif	40

Türkiye'nin Farklı Bölgelerinde Üretilen Ekşi Hamur ve Ekmeklerin Kalitesel Farklılıklarının Değerlendirilmesi

Murat DOĞAN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Enes DERTLİ

Eş Danışman: Doç. Dr. Ruşen METİN YILDIRIM

Tahıldan yapılan temel bir gıda olan ekmeğ, antik çağlardan beri insan beslenmesinin bir parçasıdır. Tadı, aroması ve dokusu kalitesini büyük ölçüde etkiler. Ekmeğ üretiminde genellikle un ve suyun laktik asit bakterileri ve mayalarla fermente edilmesiyle oluşan ekşi hamur kullanılır. Hamurun reolojik özelliklerini iyileştirir, ekmeğın yapısını iyileştirir, hacmini artırır, kendine özgü aromatik bir tat verir, bayatlamayı geciktirir ve asidik ortam nedeniyle küf oluşumunu önler. Mikroflora çeşitliliği ve baskın mikroorganizma türleri, ekşi mayanın üretildiği bölgeye göre değişir. Ekşi hamur işleme, benzersiz kalite özelliklerine sahip ekmekler elde etmek için yaygın olarak kullanılır. Farklı unlar, malzemeler veya fermantasyon yöntemleri kullanılarak, dünya çapında kültürel ve coğrafi kimlikleri yansıtan çeşitli geleneksel ekşi mayalı ekmekler üretilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerinden ekşi hamurlar ve ekmekleri toplanarak, hamurlarda LAB ve maya sayımı, TTA, pH ve reolojik özellikleri, ekmeklerde ise tekstür ve uçucu aromatik bileşenleri analiz edilmiştir. Ekşi hamurların analizleri sonucunda, LAB sayım sonuçlarının $7,48 \pm 0,29$ (Tekirdağ) ile $8,46 \pm 0,33$ log kob/g (İstanbul), maya sayım sonuçlarının ise $5,67 \pm 0,48$ (Tekirdağ) ile $6,91 \pm 0,29$ (Ankara) log kob/g

arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca pH değerlerinin $3,74\pm 0,20$ ile $4,13\pm 0,10$ arasında, TTA değerlerinin ise $8,43\pm 0,80$ ile $12,77\pm 2,27$ mL arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek TTA ve en düşük pH değeri Erzincan iline ait örneklerde, en düşük TTA ve en yüksek pH değeri ise Tekirdağ iline ait örneklerde kaydedilmiştir. Ekmeklerin tekstür kapsamında sertlik, esneklik, kohezyon, sakızımsılık, çiğnenebilirlik ve esneklik özellikleri belirlendi. Ekmeklerin sertliği $1,34-6,94$ N arasında değişmiş olup en sert ekmeğin Adana'dan, en yumuşak ekmeğin ise Tekirdağ'dan elde edildiği belirlendi. Ayrıca, yaylılık ve kohezyon değerleri sırasıyla $0,91-1,36$ ve $0,66-0,86$ arasında değişmektedir. Tekstür profili analizinde ikincil parametre olarak hesaplanan sakızlılık ve çiğnenebilirlik değerleri dikkate alındığında, yaylılık ve kohezyon oranlarında önemli bir fark olmaması, bu değerlerin örneklerin sertlik değerine göre şekillenmesine neden olmuştur. GC/MS ile yapılan UAB analizinde tüm ekmeklerde 28 adet UAB tespit edilmiştir. Uçucu bileşenler konsantrasyonlarına göre alkoller, aldehitler, esterler, hidrokarbonlar, ketonlar, furan türevleri ve terpenler şeklinde sıralanmış olup, bölgesel farklılıkların sonuçlarda etkisi grlmştir.

Anahtar Kelimeler: Ekşi hamur, ekmek, sertlik, tekstür

Evaluation of Quality Differences of Sourdough and Bread Produced in Different Regions of Türkiye

Murat DOĞAN

Department of Food Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Enes DERTLİ

Co-Supervisor: Doç. Dr. Ruşen METİN YILDIRIM

Bread, a staple food made from cereals, has been a part of human nutrition since ancient times. Its taste, aroma, and texture significantly affect its quality. In bread production, sourdough—typically formed by fermenting flour and water with lactic acid bacteria (LAB) and yeasts—is commonly used. Sourdough improves the rheological properties of the dough, enhances the bread structure, increases its volume, provides a distinctive aromatic flavor, delays staling, and prevents mold growth due to the acidic environment. The diversity of microflora and the dominant microbial species vary depending on the region where the sourdough is produced. The sourdough process is widely used to obtain breads with unique quality characteristics. Various traditional sourdough breads reflecting cultural and geographical identities around the world are produced using different flours, ingredients, or fermentation methods.

In this study, sourdoughs and breads were collected from different regions of Turkey. LAB and yeast counts, total titratable acidity (TTA), pH, and rheological properties were analyzed in sourdough samples, while texture and volatile aromatic compounds were analyzed in bread samples. As a result of the sourdough analyses,

LAB counts ranged from 7.48 ± 0.29 log CFU/g (Tekirdağ) to 8.46 ± 0.33 log CFU/g (Istanbul), and yeast counts ranged from 5.67 ± 0.48 log CFU/g (Tekirdağ) to 6.91 ± 0.29 log CFU/g (Ankara). Additionally, pH values ranged between 3.74 ± 0.20 and 4.13 ± 0.10 , while TTA values varied from 8.43 ± 0.80 to 12.77 ± 2.27 mL. The highest TTA and lowest pH values were recorded in samples from Erzincan, while the lowest TTA and highest pH values were recorded in the sample from Tekirdağ.

In terms of texture properties of bread, hardness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness, and resilience were determined. Bread hardness ranged between 1.34 and 6.94 N, with the hardest bread from Adana and the softest from Tekirdağ. Additionally, springiness and cohesiveness values ranged between 0.91–1.36 and 0.66–0.86, respectively. Considering the gumminess and chewiness values calculated as secondary parameters in the texture profile analysis, the absence of significant differences in springiness and cohesiveness values led these parameters to be shaped primarily by the hardness of the samples.

In the volatile aromatic compound (VAC) analysis performed by GC-MS, 28 different compounds were identified in all bread samples. Based on their concentrations, the volatile compounds were classified as alcohols, aldehydes, esters, hydrocarbons, ketones, furan derivatives, and terpenes, and regional differences were found to affect the results.

Keywords: Sourdough, Bread, Texture, Hardness

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

1.1 Literatür Özeti

Ekmeğin kökeni MÖ 10.000'e dayanır ve binlerce yıldır insan beslenmesinin ve kültürünün temel bir parçasıdır. Temel bir gıda olarak, dünya çapında tüketilen karbonhidratların yaklaşık yarısını sağlar ("Role of Bread on Nutrition and Health Worldwide," 2015). Ekmeğin temel bileşeni olan tahıl taneleri, küresel gıda tedarikine önemli katkıda bulunurken, bunların başında buğday, mısır, pirinç ve arpa gelir. Bununla birlikte, tahıl tanelerinin insan tüketimi evrimsel açıdan nispeten yenidir ve yalnızca son 10.000 yılda yaygınlaşmıştır (Cordain, 1999). Ekmeğin, beslenmenin de ötesinde insanların kültüründe büyük bir önemi vardır. Ekmek türlerinin çeşitliliği, tarih boyunca yerel zevkleri, yeme alışkanlıklarını ve sosyal statüyü yansıtmıştır (W. Rubel, 2011). Dünya çapında kişi başına düşen yıllık ortalama ekmek tüketimi yaklaşık 70 kg olup üretim teknikleri, tahıl türleri ve şekillerinde farklılıklar vardır. Avrupa'da yıllık ekmek tüketimi 59 kg iken Türkiye yıllık 104 kg'lık ekmek tüketimiyle listenin başını çekmektedir. Avrupa'da yıllık en düşük ekmek tüketimi ise İngiltere'ye ait olup, yıllık 32 kg'dır (Engindeniz ve Bolatova, 2021). Küresel ekmek tüketim kalıpları, ülkelere ve sosyoekonomik gruplara göre değişiklik gösterirken, gelişmiş ülkelerde genel olarak tüketim azalma eğilimindedir. Örneğin Polonya'da ekmek tüketimi 1978'den 2020'ye kadar tüm sosyoekonomik gruplarda ve gelir seviyelerinde azalmıştır. Bunun gibi bazı ülkelerdeki düşüş eğilimine rağmen, küresel ekmek tüketimi nüfus artışı nedeniyle artmaktadır (Sadowski, Dobrowolska, Dziugan, Motyl, Liszkowska, Rydlewska-Liszkowska ve Berłowska, 2024). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde buğday hala önemini korumaktadır ve ekmek tüketimi yoğun şekilde devam etmektedir.

Son araştırmalar, tüketici tercihlerinde daha sağlıklı ekmek seçeneklerine doğru bir kayma olduğunu ve bunun da beyaz ekmek tüketiminde düşüşe yol açtığını göstermiştir. Tam tahıllı ve ekşi mayalı ekmekler, potansiyel sağlık yararları nedeniyle popülerlik kazanmıştır. Gelirin, eğitimin ve sağlık bilincinin artması

beyaz ekmek tüketiminin azalmasına ve daha sağlıklı ekmek seçeneklerine olan talebin artmasına yol açmıştır (Çobanoğlu, Kahraman ve Öğüt, 2022).

Ekmeğin kalitesi birkaç temel özelliği kapsar. Bunlardan lezzet, malzemelerden ve hazırlama yöntemlerinden etkilenen birincil faktördür; zanaatkar ekmekler genellikle ticari olanlara kıyasla daha karmaşık bir lezzet profiline sahiptir. Bir diğer ekmeğin kalitesindeki önemli nokta besin değeridir. Tam tahıllı ekmekler, rafine beyaz ekmeğe göre daha yüksek lif ve besin içeriği sunar. Örneğin, ekmeği fıstık kabukları ve üzüm çekirdekleri gibi tarımsal-endüstriyel yan ürünlerle zenginleştirmek, beyaz buğday ekmeğini güçlendirmeye yönelik bir çalışmada gösterildiği gibi, ekmeğin toplam fenolik içeriğini ve antioksidan aktivitesini artırabilir (Koç ve Atar Kayabaşı, 2023). Ekmeğin tekstürü, un türü ve pişirme işlemi gibi faktörlere bağlı olarak yumuşak ve kabarık ile yoğun ve çıgnenebilir arasında değişir. Kuraklık stresi gibi çevresel koşullar, buğday unu ve ekmek kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir. Bu durum özgül hacim ve sertlik gibi özellikleri etkileyebilir (Yu, Sun, Yuan ve Wang, 2025). Son olarak, raf ömrü hem tüketiciler hem de üreticiler için önemli olup nem içeriği, koruyucu maddeler ve depolama koşullarından etkilenir. Gelişmiş görüntüleme tekniklerinin kullanımı, doku ve renk dahil olmak üzere ekmek kalite özelliklerini değerlendirmede yaygın hale gelmiştir (Olakanmi, Jayas ve Paliwal, 2023).

1990'lardan beri ekşi maya fermantasyonuna olan ilgi yeniden canlanmış ve bu da potansiyeli ve uygulamaları hakkında kapsamlı araştırmalara yol açmıştır. Bu yenilenen odak, ekşi mayanın mikrobiyolojik, biyokimyasal, teknolojik ve besinsel yönlerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasıyla sonuçlanmıştır. Çalışmalar, ekşi mayanın fırınlanmış ürünlerin duyu özelliklerini, reolojisini ve raf ömrünü iyileştirme, mineral biyoyararlanımını artırma, glisemik indeksi düşürme ve anti-besinsel faktörleri azaltma yeteneğini göstermiştir (Arora, Ameer, Polo, Di Cagno, Rizzello ve Gobbetti, 2021). Ekşi maya fermantasyonu ayrıca glutensiz ürünler geliştirmede ve potansiyel olarak glutene karşı olumsuz reaksiyonları önlemede umut vadetmektedir (Nionelli ve Rizzello, 2016). Son gelişmeler, Lactobacillus türlerinin belirli suşlarının ve türlerinin metabolik potansiyelini değerlendirme araçlarını genişleterek endüstriyel ölçekte üretim için yeni başlangıç kültürlerinin geliştirilmesini sağlamıştır (Gänzle, Qiao ve Bechtner, 2023). Bu devam eden

araştırmalar, modern fırıncılıkta ekşi maya fermantasyon tekniklerini ve uygulamalarını geliştirmeye devam etmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Sağlık olarak faydaları klasik fırın ekmeğine göre dikkat çeken ekşi hamur ekmeklerinin kalitesi, kullanılan ekşi hamur ve mikrobiyotası açısından farklılıklar göstermektedir. Türkiye’ de İstanbul, Ankara, İzmir, Tekirdağ, Adana, Erzincan, Düzce gibi farklı coğrafi bölgelerden alınan ekşi hamur ekmekleri ve hamurlarının çeşitli kalite özellikleri üzerinde incelemeler yapılması planlanmıştır. Çalışmalarda tekstür, reoloji, uçucu bileşenler, laktik asit bakteri sayıları, maya sayısı, toplam titre edilebilir asitliği, pH değerleri belirlenerek ekmek kalitesi üzerindeki bölgesel farklılıklar veya benzerliklerin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Bu alışmada, İstanbul, Ankara, İzmir, Düzce, Erzincan, Tekirdağ ve Adana gibi farklı coğrafi bölgelerden elde edilen ekşi hamur örneklerinin mikrobiyal kompozisyonları (laktik asit bakterileri ve mayalar), fermantasyon parametreleri (pH ve TTA) ve reolojik özellikleri arasında anlamlı farklılıklar olduğu hipotez edilmektedir. Bu farklılıkların, ekşi hamur ekmeklerinin uçucu aromatik bileşik profilleri ve tekstürel özellikleri üzerinde belirleyici etkiler oluşturduğu öngörülmektedir.

Farklı coğrafi bölgelerden elde edilen ekşi hamurların mikrobiyal çeşitliliği, özellikle laktik asit bakterileri (LAB) ve maya türlerinin dağılımı, fermantasyon sürecinde üretilen organik asit miktarını ve bileşimini etkileyerek her örneğin pH ve TTA değerlerinde bölgesel değişimlere neden olur. Örneğin, LAB'lerin asit üretimi, hamurun pH'ını düşürerek fermantasyonun ilerlemesini ve mikrobiyal topluluğun yapısını etkiler.

Bu asidik ortam, hamurun gluten yapısında modifikasyonlara yol açarak dinamik reometre ile ölçülen elastik (G') ve viskoz (G'') modüller gibi reolojik özelliklerde şehre özgü farklılaşmalar ortaya çıkarır. Reolojik zellikler, ekmeklerin tekstürel özelliklerini doğrudan etkiler; örneğin, hamurun viskoelastik özellikleri ekmeğin sertlik, esneklik ve gözeneklilik gibi tekstürel özelliklerini belirler. Ayrıca, ekşi

hamurun mikrobiyal kompozisyonu ve fermantasyon parametreleri, ekmeklerde oluşan uçucu aromatik bileşiklerin profili üzerinde de etkili olur. Farklı LAB ve maya türlerinin metabolik aktiviteleri sonucu oluşan aroma bileşenleri, ekmeklerin duysal özelliklerini ve tüketici kabulünü etkiler.

Bu hipotez, ekşi hamurun coğrafi kökenine bağlı mikrobiyal farklılıkların, fermantasyon parametreleri ve reolojik davranışlar üzerinden zincirleme bir etki yaratarak ekmeğin aroma ve tekstür profilini bütünsel olarak etkilediğini öne sürmektedir.



2.1 Ekşi Hamur ve Özellikleri

Ekşi maya, su ve un (çoğunlukla buğday unu) karıştırılarak fermente edilen, genellikle heterofermantatif laktobasiller ve mayalar başta olmak üzere çeşitli mikroorganizmaların etkisiyle oluşan doğal bir mayadır. Maya ve laktik asit bakterileri (LAB), birlikte bulunduğu çok sayıda mikroorganizma ile birlikte karmaşık bir mikrobiyal ekosistem oluşturur (Fekri, Abedinzadeh, Torbati, Azadmard-Damirchi ve Savage, 2024a). Bu mikroorganizmalar, organoleptik özellikleri, tekstürü, sindirilebilirliği ve güvenliği iyileştirmek de dahil olmak üzere ekmeğin özelliklerini şekillendiren belirli roller oynar (De Vero, Iosca, Gullo ve Pulvirenti, 2021).

Maya ve LAB arasındaki etkileşimler her zaman pozitif olmasa da (Carbonetto vd., 2020), bu mikroorganizmaların karşılıklı bir ilişki içinde bir arada var olabileceği, birbirlerinin büyümesini ve hayatta kalmasını iyileştirebileceği gösterilmiştir (du Toit, Rossouw, du Toit, M., ve Bauer, 2020).

Ekmek yapımı, insanların bildiği en eski teknolojilerden biridir ve kanıtlar, Babil, Mısır, Yunanistan ve Roma'nın bunu milattan çok önce kullandığını göstermektedir. Öte yandan ekşi mayanın mayalama yöntemi olarak kullanılması, tahıl gıda üretiminde en eski biyoteknolojik süreçlerden biridir (R. Chavan ve S. Chavan, 2011). İlk ekşi maya MÖ 2000 civarında Mısır'da kullanılmıştır (Lau, Chong, Chin, Talib ve Basha, 2021). Doğal mikrobiyal ağlar kullanılarak spontan gıda fermantasyonu, eski zamanlardan beri geleneksel yaklaşımdı (Chen vd., 2023). Ekşi mayalı ekmek yapımı, bu geleneksel fermantasyonun tipik bir örneğidir. Ticari maya (ilk olarak Orta Çağ'da başlayan bira mayası ve ardından 19. yüzyılda başlayan fırıncı mayası) mayalama için kullanılabildiği kadar, hammaddelerde bulunan endojen laktik asit bakterileri (LAB) ve/veya mayaların bilinçsizce kullanılmasıyla ekmek elde etmek ekşi maya kullanımının ilk örneğiydi (De Vuyst, Comasio ve Kerrebroeck, Van. 2023). Doğal mayalara ve laktik asit bakterilerine dayanan doğal

mayalamadan farkı, modern ekmek yapımının mayalama sürecinde ticari maya kullanmasıdır. *S. cerevisiae* ile hazırlanan bu ticari maya hamurun kabarmasına yardımcı olur. (Alviani, Wahyuni, Jannah ve Oktarisya, 2023).

Günümüzde daha sağlıklı fırınlanmış ürünlere olan ilginin artmasıyla birlikte ekşi mayaya olan ilgi de artmaktadır. Ekşi maya pazarının 2029 yılına kadar 3,30 milyar ABD dolarına (\$) ulaşması ve 2024'ten 2029'a kadar %6,13'lük bileşik yıllık büyüme oranıyla (CAGR) büyümesi öngörülmektedir. Ekşi mayaya yönelik tüketici bilinci, özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkeleri gibi gelişmiş ülkelerde artmakta ve bu da ekşi mayaya olan talebi artırmaktadır. Öte yandan, Asya Pasifik'teki ekşi maya pazarı da değişen tüketici yaşam tarzları, diyet tercihleri ve büyüyen ekonomi nedeniyle gelişmektedir (M. Islam ve S. Islam, 2024). Dünyaya paralel olarak, Türkiye'deki ekşi maya pazarı da büyümektedir.

Bütün olumlu yanlarına rağmen ekşi maya üretiminin hala standardizasyon problemi vardır. Standardizasyonu sağlamak zordur ama mikrobiyotada yapılacak değişiklikler ile standardizasyon sağlayabilir. Bunun için sıcaklık, pH, hamur verimi ve un türü gibi parametrelerin ekşi maya mikrobiyotası ve ekmek kalitesi üzerindeki etkisini anlamak endüstriyel amaçlı ekşi maya üretimini iyileştirmek ve standardize etmek için önemlidir (Lima vd., 2023).

2.2 Ekşi Hamurun Faydalı Uygulamaları ve Kalite Üzerine Etkisi

Ekşi maya fermentasyonu ekmek kalitesini önemli ölçüde iyileştirir ve raf ömrünü uzatır. Buna bağlı olarak, modern ekmek yapımında yüzyıllık yoğun tüketimden sonra ekşi maya kullanımı her geçen gün artmaktadır. İlgili çalışmalar, ekşi maya eklenmesinin ekmek hacmini, dokusunu ve duyuşal özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir (ur-Rehman vd., 2007)(Banu, Vasilean ve Aprodu, 2011)

Lezzet Profili

Ekşi mayanın eklenmesinin hem hamur hem de ekmek özelliklerini geliştirdiği, ekmeğin lezzetini iyileştirdiği gösterilmiştir. Ekmek kırıntısını ve kabuğunu koyulaştırırken sertlik ve yapışkanlık gibi tekstürel parametreleri azalttığı gösterilmiştir. Bunun gösterildiği aynı çalışmada, ekşi mayanın %1-3 kadar düşük

seviyelerde eklendiğinde ekmekteki akrilamid içeriğini %50'den fazla azalttığı da gösterilmiştir (Codinã, Sarion ve Dabija, 2021). Ekşi mayalı ekmeğin lezzet profili, kendine özgü tat ve aromasını oluşturmak için etkileşime giren birkaç temel faktörden etkilenir. LAB ve maya arasındaki denge gibi mikrobiyal faktörler, lezzeti önemli ölçüde etkiler. LAB, ekşi tada katkıda bulunan laktik asit (LA) üretirken, maya, ekmeğin hacmine ve aromasına katkıda bulunur ve her ikisinden gelen metabolitler belirli bir lezzet profili kazandırır (Gobbetti, Rizzello, Di Cagno ve De Angelis, 2014). *Lactobacillus sanfranciscensis* gibi farklı LAB türleri, ekmeğin lezzetini ve aromasını artıran bileşikler üretme yetenekleriyle bilinir (Liu vd., 2020). Sıcaklık ve fermantasyon süresi gibi çevresel faktörler, LAB ve maya popülasyonları arasındaki dengeyi etkileyerek nihai lezzet profilini etkiler. Örneğin, daha düşük sıcaklıklarda daha uzun fermantasyon süreleri, artan LA (laktik asit) üretimi nedeniyle daha belirgin bir ekşi tada yol açabilir (Katina vd., 2005). Kullanılan un türü (örneğin, kavuzlu buğday gibi eski buğday türleri) gibi malzemeye ilgili faktörler, benzersiz lezzet bileşikleri sunabilir ve besin kalitesini artırabilir (Roumia, Kókai, Mihály-Langó, Csobod ve Benedek, 2023). Ek olarak, meyve veya baklagil kalıntıları gibi un dışı bileşenlerin dahil edilmesi, lezzet profilini ve besin içeriğini daha da çeşitlendirebilir (Benvenuti vd., 2025). Fermantasyon süresi ve depolama koşulları gibi işleme faktörleri de nişasta parçalanmasını ve uçucu bileşik oluşumunu etkileyerek nihai lezzeti şekillendirmede rol oynar (Kati, Kaisa ve Karin, 2004).

Tekstür

Ekşi mayalı ekmek, doğal bir maya kültürü içeren fermantasyon sürecinden büyük ölçüde etkilenen kendine özgü tekstürüyle ünlüdür. Daha yavaş fermantasyon, daha büyük hava cepleri ve bu kabarcıkların daha eşit dağılımı ile karakterize edilen daha açık bir kırıntı yapısı sağlar ve daha hafif ancak daha yoğun bir his sağlar. Bu süreç, ekşi maya mikrobiyotası ve ekmek kalitesi üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalarla desteklenmektedir. Örneğin, ekşi maya çiğnenebilirliği de artırır ve bu da daha karmaşık bir tekstürle sonuçlanır. Ek olarak, ekşi mayalı ekmeğin kabuğu, fermantasyon sırasında üretilen laktik asit sayesinde genellikle çıtır çıtır ve karamelize olur; bu da pişirme sırasında kahverengileşme reaksiyonlarını artırır. Taguchi analizi gibi teknikler kullanılarak ekşi maya formülasyonlarının optimize

edilmesi üzerine yapılan araştırmalar, farklı bileşenlerin tekstürü nasıl etkilediğine dair içgörüler sağlayabilir (Chung, Liaw, Gavahian ve Chen, 2020). Ekşi mayadaki nem içeriği genellikle mayalanma süresinin uzaması nedeniyle daha düşüktür, bu da daha fazla nemin buharlaşmasına ve daha kuru, daha rustik bir tekstüre katkıda bulunur. Dahası, yavaş fermantasyon glütenin daha eşit şekilde gelişmesine yardımcı olur ve ticari maya ile yapılan ekmeğe göre elastik ancak daha az yoğun bir hamur elde edilmesine yol açar. Bu durum da ekmeğin karakteristik çignenebilirliğine ve dayanıklılığına katkıda bulunur. Ekşi mayanın glütensiz formülasyonlarda kullanılması, tekstür özelliklerini iyileştirmedeki çok yönlülüğünü de vurgular (Üçok ve Hayta, 2015). Genel olarak, bu faktörlerin birleşimi hem rustik hem de rafine durumda, diğer ekmek türlerinden farklı benzersiz bir tekstürle sonuçlanır.

Raf Ömrü

Güncel araştırmalar ekşi maya eklemenin yalnızca lezzet profillerini ve tekstürü geliştirmekle kalmayıp aynı zamanda birden fazla mekanizma ile ürün ömrünü önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Öne çıkan mekanizmalardan birisi antimikrobiyal bileşik üretimidir. LAB, raf ömrünün uzamasına katkıda bulunan çeşitli antimikrobiyal bileşikler üretir. Bunlar arasında organik asitler (öncelikle laktik asit ve asetik asitler), diasetil, aseton, hidrojen peroksit, antifungal peptitler ve bakteriyosinler bulunur (Khorasanchi, Peighamardoust, Tafti, Hejazi ve Rafa 2011). Bu biyoaktif bileşikler, özellikle yaygın ekmek bozulma organizmalarının büyümesini engelleyerek ekmeğin raf ömrünü uzatmaya yardımcı olan antifungal özellikler olmak üzere önemli antimikrobiyal yetenekler göstermiştir. Bu bileşikler özellikle *Penicillium*, *Aspergillus* ve *Fusarium* türleri gibi yaygın ekmek bozulma mantarlarına karşı etkilidir (Coda vd., 2011; Luz, D'Opazo, Mañes ve Meca, 2019). Çok sayıda çalışma, belirgin antimikrobiyal özelliklere sahip belirli LAB suşlarını tanımlamıştır. *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus paracasei* KB28 ve *Pediococcus pentosaceus* MJK7, ekmek raf ömrünü artırma yetenekleri açısından araştırılmıştır. Bu suşlar önemli antibakteriyel aktivite göstermiş olup *L. paracasei* KB28 ve *P. pentosaceus* MJK7 içeren ekşi mayalı ekmekler, kontrol örneklerine kıyasla 2-3 gün gecikmiş küf ve bakteri büyümesi göstermiştir (Park vd., 2013). Ekşi mayalardan izole edilen dokuz *Lactobacillus* türünden 232 suşu inceleyen

araştırma, agar besiyerinde 77 suşun ve kültür üst sıvılarında 52 suşun ekşi mayayla ilişkili mikroorganizmalara karşı antagonistik aktivite gösterdiğini ortaya koydu. Özellikle, *Lactobacillus sanfrancisco* ve *Lactobacillus plantarum* suşları test edilenler arasında en geniş inhibitör spektrumunu gösterdi (Corsetti, Gobbetti ve Smacchi 1996). Bu araştırma LAB toplulukları içinde bulunan yaygın antimikrobiyal potansiyeli göstermektedir.

Bir diğer araştırmada ise *Lactobacillus plantarum* CECT 749 ve *L. bulgaricus* CECT 4005, *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.* suşları dahil olmak üzere mantar kirleticilere karşı özel bir etkinlik göstermiştir (Luz vd, 2019). Bu bulgular farklı LAB suşları arasındaki antimikrobiyal aktivite çeşitliliğini vurgular ve belirli kombinasyonların ekmeğin üretiminde koruyucu etkiyi optimize edebileceğini düşündürür.

Ekşi mayanın antifungal aktivitesi, organik asitlerle birleştirilerek veya fermantasyon koşulları optimize edilerek daha da artırılabilir (Quattrini vd., 2019). Bu doğal koruma yöntemi yalnızca raf ömrünü uzatmakla kalmaz, aynı zamanda ekmeğin kalitesini ve lezzetini de iyileştirerek fırın ürünlerindeki sentetik koruyuculara umut verici bir alternatif haline gelir (Hernández-Figueroa, Mani-López, Palou ve López-Malo, 2023).

Bir diğer öne çıkan mekanizma ise asitleştirme ve pH azaltmadır. Çalışmalar ekşi mayanın dahil edilmesinin pH'ı düşürdüğünü ve hem hamurların hem de bitmiş ekmeğin ürünlerinin asitliğini artırdığını göstermiştir (Keramari, Nouska, Hatzikamari, Biliaderis, ve Lazaridou, 2024). Bu asidik ortam, özellikle fırın ürünlerinin bozulmasının ana nedeni olan küfler olmak üzere birçok bozulma mikroorganizması için elverişsiz koşullar yaratır. Asitlenme, LAB karbonhidratları metabolize edip organik asitler ürettikçe fermantasyon sürecinde doğal olarak meydana gelir (Punia Bangar, Suri, Trif ve Ozogul, 2022).

Hacim ve Sertlik

Ekşi mayalı ekmeğin, geleneksel ekmeğe kıyasla genellikle daha açık bir kırıntı yapısına sahiptir ve bu da daha büyük bir hacme katkıda bulunabilir. Bunun nedeni, daha uzun fermantasyon süresi ve ekşi maya başlatıcısındaki yabancı maya ve laktik asit bakterilerinin daha fazla karbondioksit üretmesi ve daha hafif bir dokuya

katkıda bulunmasıdır. Örneğin, ekşi mayalı ekmeğe fındık kabuğu eklemenin somun hacmini önemli ölçüde artırdığı gösterilmiştir (Durmus, Anil ve Simsek, 2024). Ek olarak, ekşi mayalı ekmekte kırmızı patates posası kullanmak ekmeğin hacmini artırabilir (Litwinek, Gumul, Łukasiewicz, Zięba ve Kowalski, 2023).

Ekşi mayalı ekmeğin kabuğu, yüksek sıcaklıklarda pişirme sırasında amino asitler ve indirgen şekerler arasındaki kimyasal bir reaksiyon olan Maillard reaksiyonu nedeniyle genellikle daha sert ve gevrekli. Ancak iç kırıntı, daha uzun fermantasyon süreci boyunca nişastaların enzimatik parçalanması nedeniyle genellikle geleneksel ekmeğe göre daha yumuşak ve daha hassastır. Çalışmalar, kırmızı fasulye ekşi mayası kullananlar (Huang vd., 2023) veya ekşi maya aşamasına hazırlıklar ekleyenler (Litwinek vd., 2023) gibi belirli ekşi maya formülasyonlarının kırıntı sertliğini azaltabileceğini göstermiştir. Tersine, acı bakla gibi baklagil unları eklemek ekmeğin sertliğini artırabilir (Liu, Chen ve Xu, 2018)

Besin Değeri Arttırımı

Ekşi maya, minerallerin biyoyararlanımını artırarak, fitat seviyelerini düşürerek, yemek sonrası glikoz tepkilerini düşürerek ve prebiyotik özellikler gösteren ekzopolisakkaritler sağlayarak besinsel faydalar sunar (Akamine, Mansoldo ve Vermelho, 2023; Martín-Garcia, Riu-Aumatell, López-Tamames, 2023). Ekmeğin kalitesi üzerindeki etkiler kullanılan ekşi maya miktarına ve kullanılan maya kültürlerine bağlıdır. Örneğin, çalışmalar ekşi maya içeriğinin %20'den %40'a çıkarılmasının daha yoğun bir kırıntı yapısına (denser crumb structure) yol açabileceğini ve tekstürü olumsuz etkileyebileceğini ancak %20 ekşi mayanın depolama sırasında üstün tekstür özelliklerini koruduğunu göstermiştir (Banu vd., 2011).

2.3 Ekşi Hamurda Mikrobiyota ve Özellikleri

Ekşi maya fermantasyonu, LAB ve mayalardan oluşan karmaşık bir mikrobiyotayı içerir. Bu ekosistem, un türü, işlem parametreleri ve coğrafi köken gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (De Vuyst vd., 2014). Fermantasyon sırasında mikrobiyota kompozisyonu ve aktivitesi, tutarlı ürün kalitesinin korunması için çok önemlidir (Garcia, Aumatell ve Tamames, 2023)

Baskın LAB türleri *Lactobacillus sanfranciscensis*, *L. plantarum* ve *L. paralimentarius*' tur, en yaygın maya ise *Saccharomyces cerevisiae*'dir (Oshiro, Zendo ve Nakayama, 2021). LAB, ekşi maya fermantasyonunda hem homofermentatif hem de heterofermentatif türlerin sürece katkıda bulunmasıyla önemli bir rol oynar. Eğer heterofermentatif LAB, ekşi mayalardaki birincil şeker olan maltozu metabolize ederse, bu LAB laktik asit, asetik asit ve etanol üretir. Ancak, homofermentatif türler bunu yaparsa, öncelikle laktik asit üretirler (Minervini vd., 2012a). Ekşi maya mikrobiyotasında homofermentatif veya heterofermentatif LAB baskınlığı, hamur kalitesini ve ekmek özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Örneğin, heterofermentatif bir tür olan *Lactobacillus sanfranciscensis*'in Fransız organik ekşi mayalarında baskın olduğu ve mantar büyümesinin engellenmesi yoluyla reolojik özellikler, tekstür, aroma ve raf ömrü dahil olmak üzere ekşi maya ve ekmek özelliklerinin birçok yönünü olumlu yönde etkilediği bulunmuştur (De Vuyst vd., 2002).

Farklı ülkelerde ve farklı bölgelerde yapılan ekşi mayaların LAB'ları farklı olabilir. En yaygın kullanılanı, farklı ülkelerdeki ekşi mayalarda en yaygın LAB türü olan *Lactobacillus sanfranciscensis*'tir (*Fructilactobacillus sanfranciscensis*). Fransız organik ekşi mayalarında baskın olduğu (Lhomme, Orain, Courcoux, Onno ve Dousset, 2015) ve Belçika, Fransa, İngiltere ve ABD'den fırın ekşi mayalarında yaygın olduğu bulunmuştur (Comasio, Verce, Van Kerrebroeck ve De Vuyst, 2020). İtalyan ekşi mayalarında *L. sanfranciscensis*'in yanı sıra *Lactobacillus plantarum* ve *Lactobacillus paralimentarius* da yaygındır (Minervini vd., 2012b). Öte yandan, İtalya'nın batı Sicilya bölgesinde, *L. plantarum* ekşi hamurlarda zorunlu heterofermentatif LAB ile ortak baskınlık göstermektedir (Ventimiglia vd., 2015). Ülkemizde farklı LAB tipleri kullanılmakla birlikte yapılan bir çalışmada ev yapımı geleneksel ekşi mayalardan en sık izole edilen LAB türlerinin *Lactobacillus brevis* (%45,0), *Pediococcus acidilactici* (%20,0) ve *Lactobacillus plantarum* (%18,3) olduğu, diğer LAB türlerinin ise sadece %1,7-3,5 oranında izole edildiği tespit edilmiştir (Sevgili, Can, Ceyhan ve Erkmen, 2023).

Ekşi mayalarda en sık bulunan maya türleri arasında *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida humilis*, *Kazachstania exigua* ve *Wickerhamomyces anomalus* bulunur (De De Vuyst, Harth, Van Kerrebroeck ve Leroy, 2016)

Bireysel olarak değil de genel mikrobiyal topluluklar olarak düşünüldüğünde, ekşi maya ekosistemleri maya ve LAB türleri veya bazen sadece LAB türleri arasındaki istikrarlı ilişkilerle tanımlanır. Bu ekosistemler, üye olan bu mikroorganizmaların metabolizmasının sonuçlarını yansıtır. Öte yandan, bu mikroorganizmalar arasında trofik ilişkiler vardır ve bu da bu ekosistemlerde sonuçlara sahiptir. Örneğin, maya *K. exigua* maltoz negatiftir ve maltoz pozitif LAB türü *Lb. sanfranciscensis* ile istikrarlı bir ilişki oluşturur. Burada LAB bakterileri maltozu iki glikoza indirger; bunlardan biri kendisi tarafından kullanılır, diğer glikoz ise buradaki mayalar tarafından fermantasyon için kullanılır. Başka bir istikrarlı ilişkide, maltoz negatif *C. humilis* ve maltoz pozitif *Lb. sanfranciscensis* trofik bir ilişki içindedir (De Vuyst vd., 2014). Maya-laktik asit ilişkisinin neden olduğu bir diğer etki, monokültürlere kıyasla ortak kültürde artan proteoliz ve azalan organik asit üretimidir, bu da besinsel özelliklerin iyileşmesine yol açar (Fu, Wang ve Xue, 2024).

Ekşi maya kalitesi hem iç hem de dış faktörlerden etkilenir. İç faktörler; ekstraksiyon hızı, protein kalitesi ve nişasta özellikleri gibi unun özelliklerini içerir ve bunlar ekşi maya kalitesinin belirlenmesinde birincil rol oynar. Dış faktörler; fermantasyon koşulları, başlangıç kültürü türü ve hamur verimi, sıcaklık gibi işlem parametrelerini kapsar. Un, su, fermantasyon ve rejenerasyon gibi teknik faktörler, ekşi maya hazırlanmasında LAB ile maya arasındaki dengeyi değiştirebilir (M. Islam ve S. Islam, 2024b) (Martínez-Anaya, 1994). Bir türün gelişimi başka bir türün gelişimini baskılayabilmektedir. Örneğin daha yüksek sıcaklıklar (28-30 °C) genellikle LAB gelişimini desteklerken, daha düşük sıcaklıklar maya büyümesini teşvik edebilir Vrancken, Rimaux, Weckx, Leroy ve De Vuyst, 2011). Diğer bir örnek ise su aktivitesi ve oksijen bulunabilirliğinin etkisidir ve azalan oksijen, mayalara göre LAB'ı destekler (Vogelmann ve Hertel, 2011)

2.4 Ekşi Hamurun Sağlık Üzerine Etkisi

Ekşi mayalı ekmek, potansiyel sağlık yararları nedeniyle dikkat çekmekte olup bunu destekleyen klinik araştırmaların mevcudiyeti söz konusudur. Diğer yandan öne sürülen birçok yararın klinik çalışmalardan ziyade in vitro çalışmalara dayanması sebebiyle insan sağlığı üzerindeki gerçek etki hala belirsizdir. Bu

yüzden denilebilir ki ekşi mayalı ekmeğin sağlık yararlarının klinik açıdan önemini ortaya koymak için daha fazla standardizasyona ve araştırmaya ihtiyaç vardır (D'Amico vd., 2023). Ancak çokça çalışılan ve ortaya konulan sağlık etkileri mevcuttur. Öne çıkan bazı sağlık etkileri şunlardır;

Ekşi Mayanın Glisemik İndeks Üzerindeki Etkisi

Bunlardan birisi ekşi mayanın glisemik tepki üzerindeki etkisidir. Araştırmalar, ekşi mayalı ekmeğin geleneksel ekmeğe kıyasla glisemik yanıt üzerinde olumlu etkileri olabileceğini göstermektedir. Çok sayıda çalışma, ekşi mayalı ekmeğin tüketiminin daha düşük postprandiyal kan şekeri seviyelerine yol açtığını bulmuştur (Liljeberg, Lönner ve Björck, 1995; Rolim, Fortes, Von Frankenberg ve Duarte, 2024; Stamataki, Yanni ve Karathanos, 2017). Bu etki, fermantasyon sırasında üretilen ve nişasta yapısını ve sindirilebilirliğini etkileyebilen organik asitlerin varlığına bağlanmaktadır (Gobbetti vd., 2014; Stamataki vd., 2017). Ayrıca ekşi maya fermantasyon süreci protein sindirilebilirliğini artırabilir, antioksidan içeriğini artırabilir ve diyet lifi bileşimini değiştirebilir.

Mineral Biyoyararlanımı ve Fitik Asit

Fitik asit, tohum ve tahıllardaki önemli bir fosfor depolama bileşiğidir. Tahıllarda ve baklagillerde yaygın olarak bulunur ve çok değerlikli metal iyonlarını özellikle de çinko, demir ve kalsiyum gibi iyonları şelatlama yeteneğiyle çözünmeyen tuzlar oluşturabilir ve gastrointestinal sistemde mineral biyoyararlanımını azaltabilir. Bu yüzden diyetteki fitik asit içeriği arttıkça, bu minerallerin bağırsaktan emilimi azalır (Lopez, Leenhardt, Coudray ve Remesy, 2002; Zhou ve Erdman, 1995). Ekşi maya fermantasyonu fitik asit içeriğini azaltır ve böylece mineral biyoyararlanımını iyileştirir. Bu ise, buğdayda artan asitlik yoluyla fitaz aktivitesinin artmasıyla gerçekleşir. (Lopez, Leenhardt ve Rémésy, 2004). Çalışmalar, ekşi maya fermantasyonunun tam buğday unlarında fitik asidi %70'e (Lioger, Leenhardt, Demigne ve Remesy 2007) ve pidelerde %45'e (Didar, 2011) kadar etkili bir şekilde parçalayabildiğini göstermiştir. Ekşi maya fermantasyonunun bu konudaki etkinliği, hamur verimi, suş türü ve ekşi maya ekleme yüzdesi gibi faktörlere bağlıdır (Didar, 2011).

Protein Sindirilebilirliği Üzerindeki Etki

Ekşi maya fermentasyonu, ekmeğin daha yüksek protein sindirilebilirliğine yol açar ve daha uzun fermentasyon sürelerinin protein hidrolizinin artmasına yol açtığı gösterilmiştir (Terrazas-Avila vd., 2024). Bu durum, ekşi maya ekmeklerinde fırıncı mayası ekmeklerine kıyasla daha yüksek konsantrasyonlarda serbest amino asite ve gelişmiş protein kalite endekslerine yol açar. Çalışmalar buğday ekmeğinde %64'ten bakla ekşi maya ekmeğinde %73'e kadar iyileşmeler olduğunu göstermektedir (Rizzello vd., 2019; Coda, Varis, Verni, Rizzello ve Katina, 2017). Protein sindirilebilirliğindeki iyileşmenin, asidik koşullarda tahıl enzimlerinin aktive olması ve bunun sonucunda gluten proteinlerinin çözünmesi ve depolimerizasyonuna neden olmasıyla sağlandığı düşünölmektedir (Thiele, Grassl ve Gänzle, 2004a).

Tuz Azaltma Özelliği

Günlük diyetle yüksek miktarda tuz alınımı çeşitli hastalıklara yol açabilir ancak ekmekte tuz azaltımı tat kaybına yol açabilir. Bu duruma tüketicinin uyum sağlaması zordur. Oysa ekşi maya fermentasyonu, ekmekte tadı artırabilir ve bu sayede tatta ödün vermeden tuz azaltımına olanak tanıyabilir (Rannou vd., 2018). Ekzopolisakkaritler ve antifungal maddeler içeren işlevsel ekşi mayaların kullanımı, %0,3'e kadar önemli miktarda tuz azaltımına olanak tanır (Belz vd., 2019). Diğer yandan ekşi maya hamur reolojisini de etkileyerek potansiyel olarak azaltılmış tuz içeriğinin etkilerini ortadan kaldırır. Çünkü sodyum klorür hamur reolojisi üzerinde etkiye sahiptir ve eksikliği durumunda ortaya çıkacak durumu ekşi maya fermentasyonu telafi edebilir (Nogueira, Kussano ve Steel, 2015).

Bağırsak Sağlığı Üzerindeki Etki

Ekşi maya fermentasyonu, bağırsak sağlığı üzerinde de olumlu etkiye sahiptir. Bu fermentasyon bağırsak sağlığı üzerinde faydalı etkileri olduğu bilinen laktik asit ve kısa zincirli yağ asitleri (SCFAlar) gibi organik asitlerin oluşumuna neden olur. Bu bileşikler hem minerallerin biyoyararlanımını artırabilir hem de kompleks karbonhidratları ve proteinleri parçalayarak sindirimi iyileştirebilir (Koc et al., 2024; Kwon et al., 2022). Fermentasyon sürecinin yarattığı diğer bir etki ise ekşi maya başlatıcısında çeşitli bir mikrobiyom oluşturarak 50'den fazla LAB ve maya

türünün büyümesini desteklemesidir. Tüketildiklerinde bu zenginlik bağırsak mikrobiyotasını zenginleştirebilir ve bu da olumlu bir etki yaratabilir (Da Ros et al., 2021; Lau et al., 2021). Yapılan çalışmalar, ekşi mayalı ekmek tüketiminin Akkermansia, Bifidobacterium ve Lactobacillus gibi yararlı bakterileri artırdığı ve bu bakterilerin de bağışıklık düzenlemesi, kolesterol düşürme ve gastrointestinal sorunları hafifletmesi dahil çeşitli sağlık yararlarına yol açtığı gösterilmiştir (Koc, Arendt, Coffey, Ross ve Stanton, 2024; Kwon vd., 2022)

Antioksidan Potansiyeli

Ekşi maya fermantasyonu, biyoaktif bileşiklerin bulunabilirliğini artırarak ve mikrobiyal aktiviteyi teşvik ederek çeşitli bileşenlerin antioksidan potansiyelini artırır. Bu süreç, nihai üründe daha yüksek antioksidan seviyelerine yol açabilir ve ekşi mayayı, fırınlanmış ürünlerin besleyici ve sağlık geliştirici özelliklerini iyileştirmek için değerli bir yöntem haline getirir. Örneğin, inci darısının ekşi maya fermantasyonu polifenollerini, flavonoidleri ve in vitro antioksidan aktivitesini artırırken, çimlendirilmiş kahverengi pirinç ekşi mayası bağlı ve toplam fenolik bileşikleri ve antioksidan aktivitesini artırır (Sultana, Saini, Kiran, Rout ve Kanaka, 2023; Ayub vd., 2023). Benzer şekilde, portakal kabuğu unu gibi bileşenlerin ekşi maya keklerine dahil edilmesi antioksidan aktivitesini artırabilir ve glisemik indeksi azaltabilir (Sultana vd., 2023). Fermantasyonda LAB kullanımı da önemlidir, çünkü antioksidan özelliklere sahip biyoaktif bileşikler üretirler ve fermente gıdalarla ilişkili sağlık yararlarına katkıda bulunurlar. Genel olarak, ekşi mayanın antioksidan potansiyeli, mikrobiyal fermantasyon ve kullanılan bileşenlerde bulunan biyoaktif bileşiklerin birleşimi yoluyla artırılır (Sultana vd., 2023; Abdul Hakim, Xuan ve Oslan, 2023)

2.5 Ekşi Hamur Tipleri

Üretim teknolojisine göre dört tip ekşi maya vardır. Tip I (geleneksel), Tip II (maya kültürüyle başlatılan), Tip III (kurutulmuş) ve Tip IV (karışık kurutulmuş) (Fekri, Abedinzadeh, Torbati, Azadmard-Damirchi, ve Savage, 2024b).

Tip 1 Ekşi Maya

Tip I ekşi maya geleneksel ekşi maya olup, tek mayalama maddesi olarak yabani mayalar ve LAB kullanan doğal olarak fermente edilmiş hamuru ifade eder. Bu tip

ekşi maya genellikle zanaatkar(artisan) fırıncılıkta kullanılır (De Vuyst, Van Kerrebroeck ve Leroy, 2017). San Francisco Ekşi Mayası, Panettone gibi ünlü örnekleri vardır (Ottogalli, Galli ve Foschino, 1996). Tipik olarak Tip I ekşi maya diğer ekşi mayalara göre daha sıkı bir hamur kıvamına sahip olup çiğnenebilir dokusu ve sağlam kabuğu ile bilinir (Hernández-Figueroa vd., 2023; *The Characteristics and Benefits of Sourdough in Baking*, 2022) Tip I ekşi mayanın pH değeri genellikle 3,8 ile 4,5 arasında olup bu onun karakteristik ekşi lezzetine katkıda bulunur (R. Chavan ve S. Chavan, 2011). Tip I ekşi maya 20 C ila 30 C arasındaki ortam sıcaklıklarında fermente edilir. Bu sıcaklık aralığı, lezzet gelişimi için gerekli olan belirli mikrobiyal toplulukların büyümesini destekler (Vogelmann ve Hertel, 2011). Bu fermantasyon, hamurun bir kısmının düzenli olarak un ve suyla tazelandığı, geri mayalanma(backslapping) adı verilen bir işlemle gerçekleşir (De Vuyst vd, 2017). Bu yöntem, çevresel mikroorganizmaların karışımı kolonize etmesine izin verir ve bu genelde 5 – 15 gün arası sürer (Taccari vd., 2016). Tip I ekşi mayalar, fermantasyon sırasında gelişen çeşitli bir mikrobiyota ile karakterize edilir. Başlangıçta, *Lactococcus lactis* ve *Candida silvae* gibi atipik türler mevcuttur, ancak bunlar kademeli olarak *Lactobacillus brevis* ve *Saccharomyces cerevisiae* gibi daha adapte olmuş taksonlarla değiştirilir (Taccari vd., 2016). Mikrobiyal bileşim sıcaklık, backslapping zamanı ve yayılma ortamı gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Daha yüksek sıcaklıklar (30-37 °C) *Lactobacillus fermentum*'u desteklerken, daha düşük sıcaklıklar (23 °C) *Leuconostoc citreum*'u destekler (Vrancken, Rimaux, Weckx, Leroy ve De Vuyst,2011). Yayılma ortamı (zanaatkar-artisan fırınlar ve laboratuvarlar) laktik asit bakterilerinin ve mayaların çeşitliliğini ve kalıcılığını etkiler (Minervini, Lattanzi, De Angelis, Di Cagno ve Gobbetti, 2012). Ekşi mayaların uzun süreli çoğaltılması, tip I buğday ve çavdar ekşi mayalarında genellikle *Lactobacillus sanfranciscensis*'in baskın olduğu konakçıya adapte olmuş laktobasillere yol açar. Bu adapte olmuş suşlar, rekabet gücünü artıran ve ekmek yapımında ekzopolisakkarit oluşumu ve FODMAP azaltımı gibi teknolojik işlevsellik sağlayan metabolik özelliklere sahiptir (Gänzle ve Zheng, 2019).

Tip 2 Ekşi Maya

Tip II ekşi maya ekmek üretiminde popüler bir endüstriyel uygulama yöntemidir (Gu et al., 2023). Yüksek bir hamur verimiyle karakterize edilir ve tipik olarak başlatıcı kültürler kullanılarak başlatılır (Cardinali vd., 2022)(Fekri vd., 2024a). Tip II ekşi maya genellikle daha yüksek sıcaklıklarda (30 °C'den yüksek) fermente edilir ve bu fermentasyon Tip I ekşi mayanınkinden göre daha kısa sürer. Bu, daha hızlı bir asitlik ve lezzet oluşumuna neden olur ve bu da sürekliliğin önemli olduğu endüstriyel uygulamalar için daha uygundur. Tip I mayalarla karşılaştırıldığında, Tip II mayalar genellikle daha hızlı bir oluşum için daha yüksek sıcaklıklarda fermente edildiği için, bakteriyel organik asit üretimi artar ve nihayetinde daha düşük bir pH ortaya çıkar (Calvert vd., 2021). Tip II ekşi maya fermentasyonu da laktik asit bakterileri (LAB) ve mayaların hâkim olduğu karmaşık bir mikrobiyota içerir. *Lactobacillus reuteri*, stres tepkisi, amino asit edinimi ve aroma öncül maddelerin oluşumu için yüksek gen ifadesi sergileyen bu fermentasyonlarda önemli bir türdür (Dal Bello vd., 2005). Tip II ekşi mayaların mikrobiyotası tipik olarak ekmek yapımında teknolojik işlevsellik sağlayan *Lb. delbrueckii* ve *Lb. reuteri* gruplarından omurgalı konakçıya adapte olmuş laktobasilleri içerir (Gänzle ve Zheng, 2019). *L. plantarum*, *P. acidilactici* ve *L. sanfranciscensis* gibi karışık LAB kültürleri, mikrobiyal canlılığı ve meyveli tatları artırarak tip II ekşi maya sistemlerinde umut vadetmektedir (Ekinci et al., 2016). Ekşi maya ekosistemi, un türü, fermentasyon parametreleri ve aşılama yöntemi gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. *L. sanfranciscensis* ve *Candida humilis*, ekşi maya fermentasyonlarında karakteristik türler olarak kabul edilir (De Vuyst vd., 2017).

Tip 3 Ekşi Maya

Tip III Ekşi Maya, endüstriyel amaçla üretilen ve sıvı olan Tip II ekşi mayanın susuzlaştırılmış bir halidir ve bu da kullanımını, depolanmasını ve taşınmasını kolaylaştırır (Arslan-Tontul, Çetin-Babaoğlu, Aslan ve Tontul, 2024; Cucu ve Popa, 2024.). Bu tür ekşi hamur esas olarak endüstriyel uygulamalarda tatlandırıcı madde olarak kullanılır (R. Chavan ve S. Chavan, 2011). Genellikle tambur veya sprey kurutma (spray-drying) yoluyla üretilir (Brandt, 2019). Bu kurutma işlemi, sıvı ekşi mayaya kıyasla laktik asit bakteri popülasyonunu azaltır (Tafti, Peighambardoust, Hesari, Bahrami ve Bonab, 2013). Ancak son araştırmalar, tip III ekşi maya üretimi

için “refractance window drying” gibi alternatif kurutma yöntemlerini de ortaya koymuştur (Arslan-Tontul vd., 2024). Tip III ekşi maya esas olarak tip II ekşi mayanın kurutulmuş hali olduğu için fermantasyon sürecinde bir farklılık yoktur ve sadece fermantasyon sonrası kurutulma işlemi gerçekleştirilir (sprey veya tambur(drum))(De Vuyst vd., 2017). Ayrıca Tip III ekşi maya, Tip II ekşi mayadan türetildiği için her ikisi de yüksek bir asitlik seviyesini paylaşır ve her iki durumda da pH genellikle 3,5’in altındadır. Ancak kurutma işlemi sırasında gerçekleşen buharlaşma nedeniyle Tip II’ye kıyasla daha düşük asetik asit seviyeleri söz konusu olabilir (De Vuyst vd., 2017).

Tip 4 Ekşi Maya

Tip I ve Tip II ekşi mayanın bir karışımı olan Tip IV ekşi mayanın diğer adı karışık ekşi maya olup bu tür ekşi mayalar laboratuvar çalışmaları veya bazı el yapımı (artezyen) fırınlar için tipiktir. İlk olarak bir başlangıç kültürü (sadece maya ticari suşu, sadece LAB başlatıcı kültürü veya LAB-maya başlatıcı kültürü) çoğaltılır ve daha sonra ekşi mayayı başlatmak için kullanılır. Sonrasında ise ekşi maya geleneksel geri mayalama (backslopping) yoluyla çoğaltılır. Bu süreçte, başlatıcı kültür diğer mikroorganizmaların dağılması ve sürüklenmesinden etkilenebilir. Eğer daha rekabetçi veya iyi adapte olmuş suşlar hamurda dağılırsa, bu onların ekşi maya mikrobiyotasında baskın olmasına yol açar. Bu nedenle, ekşi maya ekosistemindeki gelişebilecek türler arasında doğal bir seçim meydana gelecektir. Diğer yandan, başlatıcı kültür daha az rekabetçi olabilir ve bu nedenle ekşi maya ekosistemlerinin çevresel koşullarına daha az adapte olabilir (Siepmann, Ripari, Waszczyński ve Spier, 2018). Yaklaşık 3,91’lik karakteristik bir pH ile Tip IV ekşi maya, asitlik açısından Tip I (pH 4,10) ve Tip II (pH 3,72) ekşi mayalar arasında yer alır. Ekmek üretimine, özellikle tam buğday formülasyonlarına dahil edildiğinde, kendiliğinden fermente olan varyantlardan daha öngörülebilir bir mikrobiyal ekosistemi korurken belirgin uçucu bileşik profilleri ve lezzet özellikleri sağlar (Ozulku, 2024).

3.1 Materyal

Çalışmalarda İstanbul, Düzce, Adana, İzmir, Ankara, Tekirdağ, Erzincan, bölgelerindeki üreticilerden ekşi hamur ve ekşi hamur ile yapılan ekmekler aseptik koşullar altında alınarak steril poşetlere/ambalajlara konulmuş ve analizleri gerçekleştirmek üzere laboratuvarımıza getirilmiştir. Toplanan numunelerin bileşimdeki un içeriği Tablo 3.1'de gösterilmektedir. Numune alınan lokasyonlarda pres maya (Özmaya ve Hasmaya) ürünlerinin kullanıldığı belirlenmiş olup, kullanılan suyun ise içilebilir musluk suyu olduğu görülmüştür. Temin edilen ekşi hamur numunelerinde kimyasal, reoloji ve mikrobiyolojik analizler üç paralel, ekşi hamur ekmek numunelerinde ise texture analizleri için üç paralel ve uçucu aromatik bileşiklerin analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1 Çalışmada kullanılan unun tipi ve oranları

Kodlama	Üretici İl	Üretici Bölge	Un Tipleri	Yüzde Oran (%)
1-İst	İstanbul	Marmara	Buğday unu Tam buğday unu	%50 %50
2-Ank	Ankara	İç Anadolu	Buğday unu Tam buğday unu	%50 %50
3-Adn	Adana	Akdeniz	Buğday unu Tam buğday unu	%80 %20
4-İzm	İzmir	Ege	Sarı Buğday Unu Buğday Unu Tam Buğday Unu	%40 %20 %40
5-Tkd	Tekirdağ	Marmara-Trakya Bölümü	Buğday unu Tam buğday unu	%50 %50
6- Erz	Erzincan	Doğu Anadolu	Buğday Unu Tam Buğday Unu	%50 %50
7- Dzc	Düzce	Batı Karadeniz	Buğday unu Tam buğday unu	%50 %50

3.2 Metotlar

3.2.1 Ekşi Hamurun Analizleri

7 Farklı bölgeden toplanan ekşi hamur numunelerinde, laktik asit bakteri sayımı (LAB), maya sayımı, toplam titre edilebilir asitliği (TTA), pH ve reoloji analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.1 LAB Sayımı

Temin edilen ekşi hamurlarda LAB sayım analizleri aynı koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda ISO 15214 referans metodu kullanılmıştır. Buna göre her bir ekşi hamur numunesinden 10 g tartılmış ve üzerlerine 90 ml peptone tuz çözeltisi (Millipore-Ürün No: 1.12535) eklenerek homojenizasyonu sağlanmıştır. Elde edilen başlangıç süspansiyonlarının her birinden 1 ml alınarak 9 ml dilüsyon sıvısı (Peptonlu tuz çözeltisi) bulunan tüplere eklenip homojenize edilerek seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. LAB sayımı için dökme plak ekim tekniği kullanılmıştır. Buna göre; 1 ml hazırlanan seri dilüsyon süspansiyonları sırasıyla steril boş petrilere inoküle edilmiş olup, üzerlerine yaklaşık 15 ml MRS (de Man, Rogosa and Sharpe) (Millipore-Ürün No: 1.10660) agar besiyeri dökülmüş, karıştırılmış ve katılaşması sonrası inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresince petrilere ters çevrili olarak 72±3 saat süreyle 30°C'de inkübe edilerek bakteri sayıları log kob/g (logaritma koloni oluşturan birim/ gram) cinsinden hesaplanmıştır.

3.2.1.2 Ekşi Hamurda Maya Sayımı

Temin edilen ekşi hamurlarda maya sayımı analizleri aynı koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda ekmeğin su aktivitesi 0,95' den yüksek olduğu için ISO 21527-1 referans metodu kullanılmıştır. Buna göre her bir ekşi hamur numunesinden 10 g tartılmış ve üzerlerine 90 ml peptonlu tuz çözeltisi (Millipore-Ürün No: 1.12535) eklenerek homojenizasyonu sağlanmıştır. Elde edilen başlangıç süspansiyonlarının her birinden 1 ml alınarak 9 ml dilüsyon sıvısı (peptonlu tuz çözeltisi) bulunan tüplere eklenip homojenize edilerek seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. Küf ve maya sayımı için sürme plak ekim tekniği kullanılmıştır. Buna göre; hazırlanmış dilüsyon süspansiyonları içerisinde DRBC agar (Dichloran-

rose bengal chloramphenicol) (Millipore Ürün No: 1.00466) bulunan steril boş petrilere 0,1 ml inoküle edilmiş ve steril drigalski ile besiyeri yüzeyine dağıtılmış ve sonra inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresince petrilere aerobik ve düz bir şekilde 5 gün süreyle $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de inkübe edilmiş ve bakteri sayıları log kob/g cinsinden hesaplanmıştır.

3.2.1.3 Ekşi Hamırda Toplam Titre Edilebilir Asitlik ve pH

Farklı lokasyonlardan temin edilen ekşi hamurların pH ve asitliği paralel ve aynı koşullar altında ölçülmüştür. Yöntem olarak; Ekşi hamur numunelerinden 10 g alınarak 90 ml distile su ilave edilmiş ve sonrasında homojenize edildikten sonra pH tayini gerçekleştirilmiştir. (HANNA, Almanya).

Toplam titre edilebilir asitlik (TTA), 0,1 M NaOH çözeltisinin pH 8,5'ye ulaşana kadar harcanan ml sarfiyat üzerinden değerlendirilmiştir. (Paramithiotis, Gioulatos, Tsakalidou ve Kalantzopoulos, 2006)

3.2.1.4 Ekşi Hamurun Reolojik Özelliklerin Tanımlanması

Hamur örneklerinin dinamik reolojik ölçümleri, gerilim ve sıcaklık kontrollü döner tip bir reometre (Anton Paar MCR 302, Avusturya) ile yapılmıştır. Öncelikle, lineer viskoelastik alanın tespiti için bir genlik tarama testi uygulanmış ve bu alanın %0,1 deformasyon değerinde olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra, 25°C 'de 0,628 ile 62,8 rad/s aralığında bir frekans tarama testi gerçekleştirilerek hem elastik modül (G') hem de viskoz modül (G'') bulunmuştur. (Yildirim, 2020)

Tüm ölçümler üç paralel örnekle gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama değerler olarak sunulmuştur. Ölçümler sırasında paralel plaka geometrisi (25 mm çap) kullanılmış ve örnek kalınlığı 2 mm olarak sabit tutulmuştur. Kayma önleyici silikon yağ ile örnek kenarlarının kurumaması önlenmiştir.

Örneklerin reolojik analizinde Power Law modeli ($\sigma=k\cdot\gamma^n$) uygulanarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Denklemde τ kayma gerilimesi (Pa), $\dot{\gamma}$ kayma hızı (s^{-1}), K kıvam sabiti ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) ve n akış davranış katsayısını ifade etmektedir.

3.2.2. Ekmek Analizleri

7 Farklı bölgeden toplanan ekşi hamur ekmek numunelerinde, tekstür ve uçucu aromatik bileşenler analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.1 Ekşi Hamur Ekmeklerinde Tekstürel Özelliklerin Belirlenmesi

Sertlik değeri, 5 kg yük hücresi ve 36 mm çapında silindirik sıkıştırma probu ile donatılmış bir doku analiz cihazı (TA.XT2 Plus, İngiltere) kullanılarak belirlenmiştir.

Ekmek somunları 1.25 mm kalınlığında dilimlere kesilmiş ve iki dilim aşağıdaki ayarlarla doku analizine tabi tutulmuştur: ön test hızı 5.0 mm/s; test hızı 1 mm/s; test sonrası hız 5.0 mm/s; %30 sıkıştırma; tetikleme tipi otomatik kuvvet 5 g; birinci ve ikinci sıkıştırma döngüleri arasında 5 s bekleme süresi. Deneyler üç tekrarlı olarak yürütülmüştür.

Tüm ölçümler oda sıcaklığında ($25\pm 1^{\circ}\text{C}$) yapılmıştır. Numuneler kesildikten sonra 30 dakika bekletilerek sıcaklık stabilizasyonu sağlanmıştır. Prob ile numune yüzeyi arasındaki temas kuvveti standardizasyonu için otomatik tetikleme sistemi kullanılmıştır. Elde edilen veriler Texture Exponent yazılımı ile analiz edilmiştir. (Yildirim ve Arici, 2019)

3.2.2.2 Ekşi Hamur Ekmeklerinde Uçucu Bileşenlerin Tayini

Farklı bölgelerden aynı gün üretilen numuneler, analize alınana kadar headspace vialleri (20 ml) içerisinde ürünü temsil edecek şekilde 10 g tartılarak uygun koşullarda muhafaza edilmiş olup, aynı zamanda analize alınmıştır. Uçucu bileşenlerin belirlenmesi için gaz kromatografisi kütle spektroskopisi (GC-MS) cihazı kullanılmış olup, model olarak Agilent 5977 GC-MS ve kapiler kolon fused silika (30m x 250um x 1,4 um) kullanılarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Plessas ve ark. 2008). Yedi farklı ekmek numuneleri 20 ml'lik headspace vialine 10 g tartıldıktan sonra vial Agilent 7890B Headspace autosamplerda 85°C ' de 20 dakika süreyle inkübe edilmiştir. İnlet sıcaklığı 300°C ve splitless yöntemi ile enjeksiyon yapılmıştır.

GC fırın programı sırasıyla 5 dk. 35 °C'de bekleme ardından dakikada 5°C yükselecek şekilde sıcaklık 50 °C'ye çıkarılmıştır ve 5 dakika süresince sabit tutulmuştur. Bir önceki basamakta olduğu gibi fakat bu sefer dakikada 5,5 °C yükselecek şekilde 230°C'ye çıkarılarak 5 dakika süreyle tutularak analiz tamamlanmıştır. Bir numune için çalışma süresi yaklaşık 51 dakika olarak belirlenmiştir. Akış hızı dakikada 2 mL olan helyum taşıyıcı gazı kullanılmıştır.

Kütle spektrumları, 70 elektrovolt'luk elektron enerjisinde 35 ila 650 kütle aralığında taranmıştır. MS Source 230°C, MS Quad 150°C , MSD transfer line 230°C olarak kullanılmıştır.

Metot içerisinde spesifik maddelerin tespiti için 42, 43, 44, 45, 55, 56, 57, 59, 60 ,68, 71, 77, 79, 81, 85, 88, 91, 94, 95, 104, 105, 125, 128, 146, 148, 150 iyonları (m/z) kullanılmıştır.

Uçucu bileşenlerin tespit edilmesi için NIST27 kütle spektrum kütüphanesindeki spektrumlar ile analiz sonucu elde edilen spektrumlar karşılaştırılıp tanımlaması yapılmıştır.

3.2.3 İstatistik Analizler

Tüm analizler farklı tekrar sayısı ile gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar arasındaki anlamlı farklılıkları değerlendirmek için tek yönlü varyans analizi kullanılmıştır (ANOVA; $p < 0.05$, Tukey testi). İstatistiksel hesaplamalar IBM SPSS Statistics 30 programı kullanılarak yapılmıştır.

4.1 Ekşi Hamur Analizleri

4.1.1 LAB ve Maya Sayımı

Çalışmalarda 7 farklı bölgedeki fırınlardan toplanan ekşi hamur numunelerinde laktik asit bakteri sayımı ve maya sayımı sonuçları belirlenmiş olup, Tablo.4.1 ile verilmiştir.

Tablo 4.1 Ekşi hamurun LAB ve maya sayımı analiz sonuçları

Bölge	LAB (Log kob/g)	Maya (Log kob/g)
1-İst	8,46±0,33	6,35±0,17
2- Ank	8,42±0,41	6,91±0,29
3-Adn	7,85±0,16	6,23±0,12
4-İzm	8,04±0,19	6,20±0,30
5-Tkd	7,48±0,29	5,67±0,48
6-Erz	8,23±0,16	6,00±0,19
7-Dzc	7,62±0,17	5,93±0,54

Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinden temin edilen ekşi hamur numunelerinde gerçekleştirilen mikrobiyolojik analizler sonucunda, laktik asit bakteri (LAB) sayım sonuçlarının 7,48±0,29 ile 8,46±0,33 log kob/g, maya sayım sonuçlarının ise 5,67±0,48 ile 6,91±0,29 log kob/g arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek LAB sayımları İstanbul (8,46 ± 0,33 log kob/g) ve Ankara (8,42 ± 0,41 log kob/g) örneklerinde tespit edilmiş olup, bu bulgu, söz konusu illerdeki ekşi hamurların daha yoğun LAB popülasyonu barındırdığını ve fermentatif kapasitelerinin daha yüksek olabileceğini şeklinde değerlendirilmiştir.

Buna karşın, en düşük LAB düzeyi Tekirdağ örneğinde (7,48 ± 0,29 log kob/g) kaydedilmiş olup, diğer yandan Adana (7,85 ± 0,16 log kob/g) ve İzmir (8,04 ± 0,19

log kob/g) örnekleri ise tüm şehirler içerisinde ortalama değerler (8,01 log kob/g) çevresinde LAB yoğunluğuna sahip olduğu görülmüştür.

Maya analizlerine bakıldığında, en yüksek maya sayımı Ankara iline ait örnekte ($6,91 \pm 0,29$ log kob/g) gözlenmiştir. İstanbul ($6,35 \pm 0,17$ log kob/g), Adana ($6,23 \pm 0,12$ log kob/g), Erzinan ($6,00 \pm 0,19$ log kob/g) ve İzmir ($6,20 \pm 0,30$ log kob/g) illerinden elde edilen değerler, kendi içinde benzer yoğunlukta ve tüm şehirler içinde ortalama değer ($6,18$ log kob/g) çevresinde olduğu görülmüştür. Öte yandan, en düşük maya sayımları ise Tekirdağ ($5,67 \pm 0,48$ log kob/g) ve Düzce ($5,93 \pm 0,54$ log kob/g) illerine ait örneklerde gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar, farklı bölgelerde üretilen ekşi hamurların mikrobiyal içeriklerinde önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Söz konusu durum, yerel çevresel koşullar, geleneksel üretim yöntemleri, fermantasyon süresi ve sıcaklığı gibi birçok faktöre bağlı olabilir. Nitekim (De Vuyst ve Neysens, 2005), doğal ekşi hamurlarda maya/LAB oranının genellikle 1:100 civarında olduğunu ifade etmiş ve çalışmamızda elde edilen sonuçlar da bu oranla örtüşmektedir.

Elde edilen bulgular literatürdeki diğer çalışmalarla da paralellik göstermektedir. İzmir bölgesinde 7 farklı lokasyondan toplanan 10 ekşi hamur örneğinde LAB sayım değerleri 6,94–8,72 log kob/g arasında rapor edilmiştir (Bakırcı, 2019). Türkiye'nin farklı bölgelerinde gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise 8 farklı ekşi hamurda LAB düzeyleri 6,71–9,16 log kob/g, maya düzeyleri ise 5,27–8,08 log kob/g arasında bulunmuştur (Yağmur, 2013). (Yılmaz, 2019) tarafından yürütülen çalışmada ise 10 farklı fırından alınan ekşi hamurlarda maya yoğunluklarının 5,11–7,38 log kob/g arasında olduğu belirtilmiştir. Güney Marmara bölgesine ait örneklerde yapılan analizlerde LAB düzeyleri 5,20–8,16 log kob/g, maya düzeyleri ise 4,40–7,02 log kob/g olarak tespit edilmiştir (Sökmen, 2023). Ayrıca, Mardin ve Gaziantep bölgelerinden alınan toplam 24 örnekte LAB düzeyleri 7,56–10,32 log kob/g, maya düzeyleri ise 4,57–9,03 log kob/g aralığında değişkenlik göstermiştir. (Koçaslan, 2021)

Sonuç olarak, bu çalışma Türkiye'nin farklı bölgelerinden elde edilen ekşi hamur örneklerinde LAB ve maya sayılarının bölgesel farklılıklar gösterdiğini ve bu

mikrobiyal çeşitliliğin yerel üretim koşullarıyla ilişkili olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

4.1.2 Toplam Titre Edilebilir Asitliği ve pH

Farklı bölgelerden toplanan ekşi hamur örneklerinde organik asit miktarını belirlemek amacıyla pH ölçümü ve toplam titre edilebilir asitlik (TTA) analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda ekşi hamur numunelerinde tespit edilen pH ve toplam titre edilebilir asitlik analiz sonuçları Tablo 4.2 ile paylaşılmıştır.

Tablo 4.2 Ekşi hamurun TTA ve pH takibi

Bölge	pH	TTA	TTA (% LA)
1-İst	4,12±0,15 ^a	9,90±1,18 ^{ab}	0,891 ± 0,1062 ^{ab}
2- Ank	3,87±0,09 ^a	11,07±1,59 ^{ab}	0,9963 ± 0,1431 ^{ab}
3-Adn	3,98±0,17 ^a	10,97±2,01 ^{ab}	0,9873 ± 0,1809 ^{ab}
4-İzm	3,99±0,14 ^a	9,44±0,71 ^{ab}	0,8496 ± 0,0639 ^{ab}
5-Tkd	4,13±0,10 ^a	8,43±0,80 ^a	0,7587 ± 0,072 ^a
6-Erz	3,74±0,20 ^a	12,77±2,27 ^b	1,1493 ± 0,2043 ^b
7-Dzc	3,77±0,12 ^a	9,87±1,26 ^{ab}	0,8883 ± 0,1134 ^{ab}

* Aynı kolondaki farklı küçük harfler farklı pH ve TTA sayım sonuçları arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir (p<0,05)

Gerçekleştirilen analizler sonucunda, ekşi hamurların pH değerlerinin 3,74±0,20 ile 4,13±0,10 arasında, TTA değerlerinin ise 8,43±0,80 ile 12,77±2,27 mL arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek TTA değeri Erzincan iline ait örneklerde tespit edilirken, bu aynı zamanda en düşük pH değeri ile de örtüşmektedir. Bu bulgular, Erzincan örneklerinin asitlik düzeyi açısından en kuvvetli ekşi hamurlar olduğunu göstermektedir. Öte yandan, en düşük TTA değeri Tekirdağ iline ait örnekte kaydedilmiş olup, bu örnek aynı zamanda en yüksek pH değerine sahiptir. Bu durum, Tekirdağ örneğinin diğer illere kıyasla daha düşük asiditeye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda pH açısından tüm şehirlerden alınan örneklerinin birbirine benzerlik gösterdiği ve aralarında anlamlı bir fark bulunmadığını ortaya koymuştur. (p>0.05). TTA analiz sonuçları çerçevesinden

değerlendirildiğinde ise Tekirdağ (8,43±0,80) ve Erzincan (12,77±2,27) illerinin istatistiksel olarak birbirinden anlamlı seviyede farklı olduğu görülmekte olup (P<0.05); buna karşın Düzce, İstanbul, Ankara, Adana ve İzmir örnekleri arasında anlamlı bir fark olmadığı ve benzer özellikler sergilediği görülmüştür (p>0.05).

Bu bulgular, fermentasyon süresince oluşan laktik ve asetik asit gibi organik bileşiklerin, ortamın pH düzeyini düşürerek nişasta ve proteinlerin daha kolay parçalanmasına olanak sağladığını ve mikrobiyal topluluğun gelişimini destekleyerek ekme kalitesine doğrudan katkı sunduğunu göstermektedir (Siepmann vd., 2018)(Van Kerrebroeck vd., 2016).

Elde edilen veriler, literatürde yer alan çeşitli çalışmalarla da uyumluluk göstermektedir. Örneğin, İzmir’de 7 farklı lokasyondan toplanan 10 ekşi hamur örneğinde yapılan analizlerde pH değerleri 3,78–4,21 arasında, TTA değerleri ise 8,30–11,25 mL arasında rapor edilmiştir (Bakirci, 2019) Yılmaz (2019)’a göre Türkiye’nin Doğu ve Batı Karadeniz ile Ege bölgelerinde yürütülen çalışmada, pH değerlerinin 3,8–4,9 arasında olduğu bildirilmiştir. Yağmur (2013)’ a göre ise farklı bölgelerden elde ettiği 8 ekşi hamur örneğinde pH değerlerini 3,77–5,44, TTA değerlerini ise 4,03–14,63 mL arasında bulmuştur.

Türkiye’nin farklı bölgelerinden elde edilen ekşi hamur örneklerinde TTA değerlerinin bölgesel farklılıklar gösterdiğini ve bunun da yerel üretim koşullarıyla ilişkili olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

4.1.3 Ekşi Hamurlarının Reolojisi Özelliklerin Belirlenmesi

Fermente hamurun reolojik özellikleri, çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Ekşi mayanın reolojik özellikleri, nihai hamur ve ürün kalitesini etkileyen gluten ağının yapısına bağlı viskoelastik davranışla yakından ilişkilidir (Cao, Zhang, Guo, Dong ve Li, 2019). Özellikle asit oluşumu ve aroma gelişimi gibi süreçlerle birlikte, fermentasyon sürecinin hamurun yapısal özellikleri üzerinde belirleyici bir rol oynadığı bildirilmektedir. Mikroorganizma türü, onların metabolik faaliyetleri ve pH seviyesindeki değişiklikler, reolojik davranış üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. (Z. Alkay, R. Alkay, Dertli, Kökten ve Durak, 2023). Ekşi maya fermentasyonunda daha yüksek fermentasyon sıcaklığı, süresi ve enzim aktivitesi protein hidrolizini arttıran kriterlerdendir. Gerçekleştirilen çalışmalar LAB’ nin

glütenin sekonder yapısını değiştirdiği bildirilmektedir. Glutende gerçekleşen bu değişiklikler ekşi hamur ve ekşi hamur ekmeklerinin reolojik özelliklerini ve ekmeğin kalitesini etkilendiği belirtilmiştir. (Ma vd., 2021)

Fermentasyon sureci boyunca pH seviyelerindeki azalma, enzimatik faaliyetlerin özellikle proteaz aktivitesini artırarak gluten ağının zayıflamasına yol açmasının yanında, kısmen nişasta yapısının bozulmasına da neden olmuştur. Bu durum, ekşi hamur kullanımının hamurun reolojik özelliklerini değiştirerek daha yumuşak bir yapı kazanmasına katkı sağladığını göstermektedir.(Thiele, Grassl ve Gnzle, 2004b; Loponen vd., 2004)

Çalışmamızda ekşi hamur numunelerinde kesme kontrollü reometre ile sabit sıcaklık değerinde (25°C) frekans süpürmesi testi uygulanmıştır. Tanımlanan lineer viskoelastik alanlarda 0,628 ile 62,8 rad/s aralığında frekans tarama testi gerçekleştirilmiş olup, hem elastik modül (G') hem de viskoz modül (G'') belirlenerek, sıcaklığa bağlı elatik modül ve viskoz modül değişi grafikleri sunulmuştur (şekil 1).

Ekşi hamurların viskoelastik davranışlarını değerlendirmek amacıyla uygulanan testlerden elde edilen reolojik veriler Tablo 4.3'te verilmiştir., bu verilerin frekansa (ω) bağlı değişimi ise şekil 4.1'den şekil 4.7' ye kadar grafiksel olarak gösterilmektedir. Reolojik ölümlerden elde edilen elastik modülü (G') ve kaybedilen enerji modülü (G''), ekşi hamurun elastik ve viskoz davranışını göstermektedir.

Yapılan analizlerde, G' (elastik modül) değerinin tüm örneklerde G'' (viskoz modül) değerinden yüksek olduğu ve bu farkın özellikle İstanbul (G' : 6791.10 ± 410.25 Pa) (G'' 4186.40 ± 320.3 Pa) ve Tekirdağ (G' : 7194.2 ± 570.07 Pa) (G'' 4369.55 ± 259.01 Pa) rneklerinde oldukça belirgin olduğu görülmüştür. Bu durum, söz konusu örneklerin daha belirgin elastik özelliklere sahip olduğunu ve iç yapı bakımından daha güçlü bir ağ formasyonu geliştirdiklerini göstermektedir. G'' değerlerinin de yüksek seviyelerde olmasından dolayı bu hamurların aynı zamanda viskoz dirençlerinin de yüksek olduğunu ve dolayısıyla reolojik olarak oldukça stabil sistemler oluşturduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak İstanbul ve Tekirdağ illeri anlamlı şekilde ($p < 0.05$) diğer illerden farklılık göstermiştir. Diğer yandan

İzmir (G' : 100.12 ± 1.08 Pa) (G'' : 44.15 ± 1.23 Pa) ve Adana (G' : 198.19 ± 2.94 Pa) (G'' : 92.59 ± 4.12 Pa) örneklerinde hem G' hem de G'' değerlerinin oldukça düşük seviyelerde olması, bu örneklerin daha zayıf iç yapıya sahip olduğunu ve mukavemetinin düşük olduğunu göstermektedir. Grafiklerde bu durum net bir şekilde görülmekte olup, bu hamurların daha viskoz nitelikte olduğunu ve elastik davranışlarının zayıf kaldığını gösterdiği gözlemlenmiştir.

Yapılan birçok çalışmada hamurların elastik modül (G') sonuçlarının viskoz modül sonuçlarından (G'') daha yüksek olduğu bildirilmiştir; bu durum hamurun elastik katı bir davranış sergilediğini gösterildiği şeklinde değerlendirilmiştir (Moroni, Bello, Zannini ve Arendt, 2011; Alkay vd., 2023). Bu özellik, protein içeriği ve oluşan gluten ağı ile ilişkilidir ve fermantasyon ilerledikçe elastikiyet azalacağı paylaşılmıştır (Sofou, Muliawan, Hatzikiriakos ve Mitsoulis, 2008). Bu durum bizim çalışmamızda elde edilen veriler ile örtüştüğü görülmüştür.

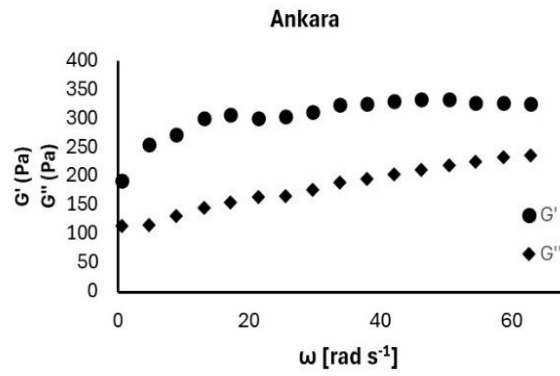
n' ve n'' sırasıyla elastik ve viskoz davranışın frekansa bağımlılığı incelendiğinde, Erzincan (n' : 0.3037, n'' : 0.2605) ve Düzce (n' : 0.2973, n'' : 0.2833) örneklerinde bu değerlerin diğer illere göre daha yüksek olması, bu hamurların viskoelastik yanıtlarının frekansa daha duyarlı olduğunu ve yapılarında bir miktar akışkanlık özelliği barındırdığını şeklinde değerlendirilmiştir. Ancak bununla birlikte örneklerin G' ve G'' değerleri orta-yüksek düzeyde seyrettiğinden, bu hamurların yapısal olarak dengeli fakat daha yumuşak dokuda olduğu görülmüştür.

Şekil 4.1' den Şekil 4.7' e kadar Frekans tarama grafikleri incelendiğinde, tüm örneklerde frekans artışına paralel olarak G' ve G'' değerlerinde artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Bu durum, test edilen tüm ekşi hamurların zayıf jel karakterinde olduğunu ve frekansla birlikte enerji elastik modül ve viskoz modül kapasitelerinin arttığını göstermektedir. Özellikle İstanbul, Tekirdağ ve Erzincan örneklerinde bu artış eğrileri daha dik olup, bu örneklerin ağ yapılarının daha gelişmiş olduğunu işaret etmektedir. Analiz edilen tüm örneklerin R^2 değerleri yüksek bulunmuş olup geliştirilen modellerin deneysel verilerle güçlü bir uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir.

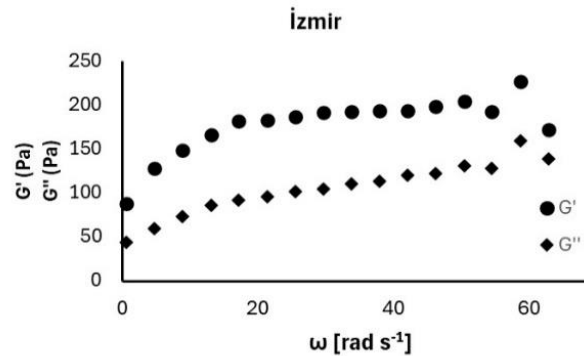
Tablo 4.3. Farklı bölgelerdeki ekmek hamurlarının viskoelastik parametreleri

	$G'=K'(\omega)^{n'}$			$G''=K''(\omega)^{n''}$		
	K' (Pa)	n'	R ²	K'' (Pa)	n''	R ²
2-Ank	210.88±15.25 ^d	0.1161	0.9532	99.98±4.25 ^d	0.1826	0.8693
4-İzm	100.12±1.08 ^e	0.1798	0.8487	44.15±1.23 ^e	0.2674	0.9287
1-İst	6791.10±410.25 ^a	0.1614	0.9838	4186.40±320.3 ^a	0.1183	0.9610
3-Adn	198.19±2.94 ^d	0.2003	0.9720	92.59±4.12 ^d	0.2135	0.9348
5-Tkd	7194.2±570.07 ^a	0.1516	0.9849	4369.55±259.01 ^a	0.1081	0.9500
7-Dzc	2118.15±602.52 ^c	0.2973	0.9897	1182.65±89.87 ^c	0.2833	0.9967
6-Erz	3854.95±198.48 ^b	0.3037	0.9913	2547.90±50.62 ^b	0.2605	0.9845

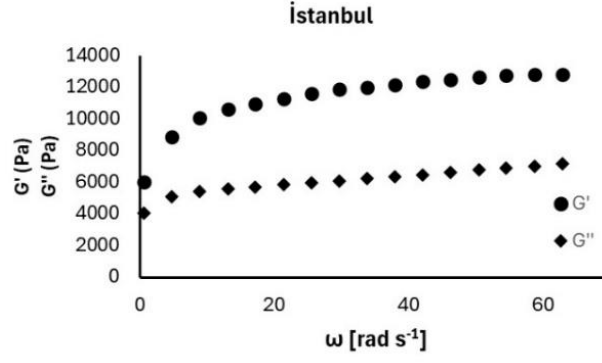
* Aynı kolondaki farklı küçük harfler farklı reolojik analiz sonuçları arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir (p<0,05)



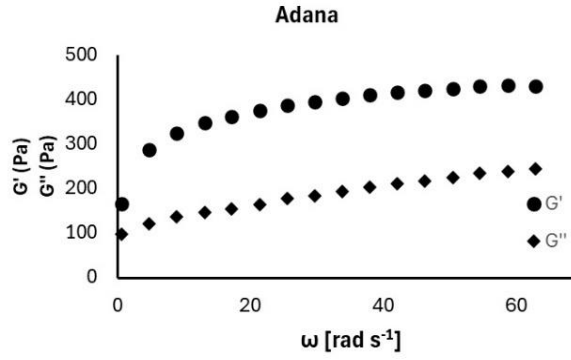
Şekil 4.1. Ankara numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları



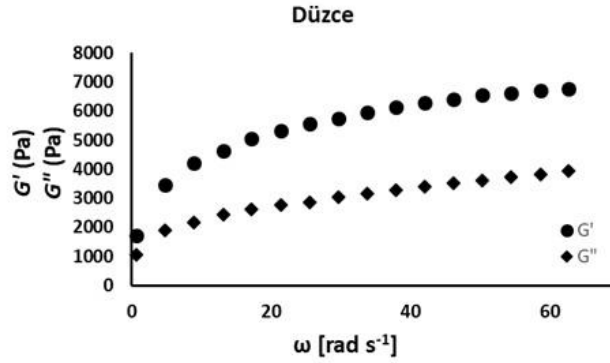
Şekil 4.2. İzmir numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları



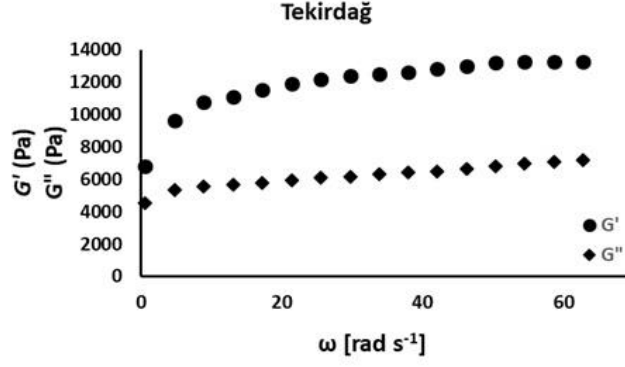
Şekil 4.3. İstanbul numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları



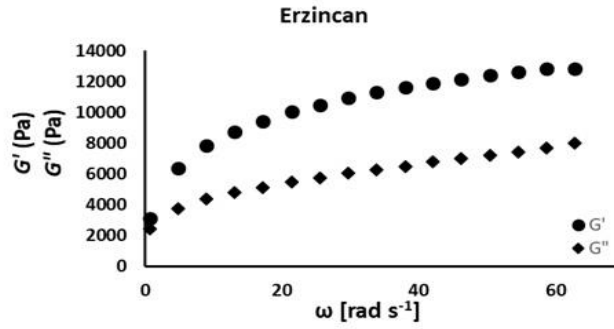
Şekil 4.4. Adana numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları



Şekil 4.5. Düzce numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları



Şekil 4.6. Tekirdağ numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları



Şekil 4.7. Erzincan numunesinde sıcaklığa etkisi ile gözlenen elastik modül (G') ve viskoz modül (G'') davranışları

Sonuç olarak, farklı coğrafi bölgelerden elde edilen ekşi hamur numuneleri arasında belirgin reolojik farklılıklar saptanmıştır. Bu farklılıklar, kullanılan unun türü, ekşi hamur mikrobiyotası, fermantasyon süresi ve sıcaklığı, su aktivitesi, yoğurma süreci ve geleneksel üretim teknikleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Reolojik açıdan en güçlü yapıya sahip ekşi hamurlar İstanbul ve Tekirdağ'dan temin edilen örnekler olarak belirlenmiş olup, İzmir ve Adana örnekleri ise en zayıf yapısal dayanıma sahip örnekler olmuştur.

4.2 Ekmek Analizleri

4.2.1 Ekşi Hamur Ekmeklerinde Tekstürel Özelliklerin Belirlenmesi

Ekşi hamur ile yapılan ekmeklere ait sertlik, esneklik, kohezyon, sakızimsılık, çiğnenebilirlik, dayanıklılık sonuçlarına ait veriler Tablo 4.4'de verilmiştir.

Ekmek numunelerindeki sertlik değerleri 1,34-6,94 N arasında değişim göstermiştir. 7 farklı bölgeden toplanan ekşi hamur ile üretilen ekmeklerde sertlik değerleri Adana (6,94 N) ve Erzincan (5,63 N) ile diğer illerden belirgin seviyede yüksek olduğu tespit edilmiştir. ($p<0,05$). En düşük sertlik değerinin ise Tekirdağ (1,34N) iline ait olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte İstanbul, Ankara, Tekirdağ, İzmir ve Düzce illerinde ekşi hamur ile üretilen ekmeklerin sertlikleri açısından kendi için anlamlı bir farklılık görülmemiştir. ($p>0,05$).

Ekmek numunelerinin esneklik değerleri 0,91 ile 1,36 arasında belirlenmiş olup, tüm ekmekler arasında anlamlı bir farklılık olmadığı görülmüştür. ($p>0,05$). Esneklik değerleri açısından ekmeklerde en düşük Adana (0,91) ilinde, en yüksek ise İzmir (1,36) ilinde olduğu görülmüş olup, ekmeklerin koparılmaları sonrasında orijinal haline dönüşlerinin benzer özellik gösterdiği belirlenmiştir.

Numunelerin kohezyon değerleri açısından en yüksek sonucun Tekirdağ (0,86) iline ait olduğu ve sonrasında sırasıyla İstanbul (0,81) ve Erzincan (0,73) illerine ait olduğu görülmüştür. En düşük kohezyon değeri ise Düzce (0,66) iline ait numunede olduğu belirlenmiştir. Buna göre Tekirdağ ili Ankara, Adana, İzmir, Erzincan ve Düzce illerinden istatistiksel olarak anlamlı şekilde farklılık göstermektedir ($p<0,05$). Ayrıca İstanbul ilinden alınan numunenin de Ankara, Adana, İzmir ve Düzce illerinden toplanan numunelerden istatistiksel olarak anlamlı şekilde farklı olduğu tespit edilmiştir. ($p<0,05$). Kohezyon değeri yüksek olan numunelerin iç yapı bütünlüğünü daha iyi koruduğu (Tekirdağ, İstanbul, Erzincan) ve düşük değerlerin (diğer iller) ise ufalanmaya daha yatkın bir özelliği olduğu görülmüştür.

Sakızımsılık değeri olarak en yüksek Adana (4,87) ili olduğu görülmüş olup, sonrasında Erzincan (4,08) ili izlemiştir. Adana ve Erzincan illeri diğer tüm şehirler ile istatistiksel olarak anlamlı seviyede farklılık göstermiştir ($p<0,05$). İstanbul, Ankara, İzmir, Tekirdağ ve Düzce illeri sakızımsılık değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamakta olup, sakızımsılık değerleri 1,05 ile 1,24 arasında değişmiştir. Sakızımsılık değeri sertlik ve yapışkanlık parametrelerinin çarpımı olmasından dolayı yüksek çıkan Adana ve Erzincan illerinin çiğnenmesi zor bir yapıda olduğunu değerlendirilmiştir.

Çiğnenebilirlik değerleri incelediğinde ise sakızimsılık değerleri ile benzer bir davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Buna göre sırasıyla en yüksek çiğnenebilirlik değerine Adana (4,72) ve Erzincan (3,89) numuneleri sahip olduğu ve diğer illerden istatistiksel olarak anlamlı seviyede farklı olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Diğer bölgelerden toplanan numuneler arasında ise anlamlı bir fark belirlenmemiştir. Elde edilen verilere göre Adana ve Erzincan numunelerin çiğnenmesinin daha zor olduğunu göstermektedir.

Dayanıklılık değerleri gözönüne alındığında en yüksek Tekirdağ (0,50) ilinin olduğu ve sonrasında sırasıyla İstanbul (0,42) ve Adana (0,39) olduğu görülmüştür. Bu iller istatistiksel olarak diğer illerden anlamlı seviyede farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Numuneler arasında en düşük dayanıklılık değerini sırasıyla Düzce (0,27), Ankara (0,29) ve İzmir (0,31) bölgelerindeki numuneler olduğu belirlenmiş olup, kendi içinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Dayanıklılık analiz sonuçlarına göre Tekirdağ, Adana ve İstanbul numunelerinin diğer bölgelerdeki numunelere oranla elastikliği ve dayanıklılığı daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.4 Ekmek Örneklerinin TPA Değerler Tablosu

Bölge	Sertlik(N)	Esneklik	Kohezyon	Sakızmsızlık	Çiğnenebilirlik	Dayanıklılık
1-İst	1,53±0,24 ^a	1,32±0,50 ^a	0,81±0,01 ^{bc}	1,24±0,20 ^a	1,57±0,35 ^a	0,42±0,02 ^c
2-Ank	1,80±0,23 ^a	0,91±0,07 ^a	0,68±0,04 ^a	1,23±0,18 ^a	1,12±0,19 ^a	0,29±0,01 ^a
3-Adn	6,94±0,35 ^c	0,97±0,01 ^a	0,70±0,05 ^a	4,87±0,57 ^c	4,72±0,51 ^b	0,39±0,04 ^c
4-İzm	1,58±0,39 ^a	1,36±0,32 ^a	0,69±0,07 ^a	1,05±0,16 ^a	1,48±0,55 ^a	0,31±0,02 ^{ab}
5-Tkd	1,34±0,26 ^a	1,30±0,13 ^a	0,86±0,02 ^c	1,16±0,21 ^a	1,52±0,37 ^a	0,50±0,01 ^d
6-Erz	5,63±0,39 ^b	0,95±0,01 ^a	0,73±0,02 ^{ab}	4,08±0,15 ^b	3,89±0,17 ^b	0,37±0,02 ^{bc}
7-Dzc	1,60±0,34 ^a	0,94±0,03 ^a	0,66±0,03 ^a	1,05±0,18 ^a	0,98±0,14 ^a	0,27±0,03 ^a

*Aynı kolondaki farklı küçük harfler farklı bölgelerden temin edilen ekmeklerin Sertlik, Esneklik, Kohezyon, Sakızmsızlık, Çiğnenebilirlik ve dayanıklılık değerleri arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir. (p<0,05)

4.2.2 Ekşi Hamur Ekmeklerinin Uçucu Bileşenlerin Belirlenmesi

Fermantasyon sürecinde oluşan uçucu bileşikler, ağırlıklı olarak mikroorganizmalar ve mayaların metabolik faaliyetlerinden, lipidlerin enzimatik tepkimeleri ya da oksidatif bozunmasından ve Maillard reaksiyonlarından (MR) meydana gelmektedir (Birch, Petersen ve Hansen, 2014).

UAB'lerin karakterizasyonu ve kantifikasyonunda gaz kromatografisi (GC), kütle spektrometrisi (MS) ve olfaktometrik port entegrasyonlu GC-MS gibi teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır (Lawless ve Heymann, 2010).

Uçucu bileşenlerin belirlenmesi için gaz kromatografisi kütle spektroskopisi (GC-MS) cihazı kullanılmıştır. UAB'lerin kimyasal sınıflandırması hidrokarbonlar, asitler, alkoller, aldehitler, aromatik bileşikler, ketonlar, terpenler, tiyoller ve türevlerini kapsamaktadır (Pennerman, AL-Maliki, Lee ve Bennett, 2016). Elde edilen UAB profillerinin literatürdeki verilerle uyumlu olduğu gözlemlenmiş olup, kalitatif ve yarı kantitatif sonuçlar Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da sunulmuştur.

Kalitatif analizde, bileşiklerin kütle spektrumları referans veri tabanları ile karşılaştırılarak identifikasyon sağlanmıştır. Yarı kantitatif analiz ise bileşiklerin göreceli konsantrasyonlarının karşılaştırılmasına dayanmakta olup, mutlak kantifikasyon içermemektedir. Ekşi maya fermentasyonu esnasında, amino asitlerin indirgenmesiyle birlikte çeşitli aldehitler ya da bunların eşdeğeri olan alkoller sentezlenir (Schieberle, 1996)

Analizler sonucunda, uçucu bileşenler konsantrasyonlarına göre alkoller, aldehitler, esterler, hidrokarbonlar, ketonlar, furan türevleri ve terpenler şeklinde sıralanmıştır. Toplamda 28 uçucu bileşen tespit edilmiştir.

Coğrafi köken farklılıklarının UAB dağılımı üzerindeki etkisi incelendiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

Alkoller arasında en yüksek konsantrasyona sahip bileşen etanol olarak belirlenmiştir. Etanol seviyeleri Düzce'de 1109,2 ppb (maksimum) ve Tekirdağ'da 247,7 ppb (minimum) olarak kaydedilmiştir. Farklı suşlar kullanılarak yapılan 5 farklı ekşi hamur ekmeğinde uçucu aromatik bileşikler incelenmiş ve alkollerin baskın olduğu gözlemlenmiştir.(Alkay vd., 2023;Ma vd., 2021;Jin vd., 2021).

Aldehitler kategorisinde asetaldehit dominant bileşen olup, Adana'da 218,3 ppb ve Ankara'da 11,0 ppb konsantrasyonları ile bölgesel farklılıklar göstermiştir. Bizim çalışmamızla da uyumlu olan bir çalışmada farklı heterofermentatif LAB'lerin çeşitli alkol ve aldehitleri sentezlediği görülmüştür (Damiani vd., 1996). Ekşi maya fermentasyonunun ekmeğin lezzetine ve aromasına katkıda bulunan birçok uçucu bileşikte, özellikle aldehitler, organik asitler ve alkollerde artışa yol açtığını görülmüştür. (Lutter, Jöudu ve Andreson, 2023)

Esterler içinde en yüksek seviyede tespit edilen etil asetat, İzmir'de 142,3 ppb ve Erzincan'da 1,9 ppb değerleri ile kayda geçmiştir.

Hidrokarbonlar arasında propan 1-nitro, Erzincan'da 30,0 ppb ile en yüksek seviyede bulunurken, Ankara ve İzmir örneklerinde tespit edilmemiştir. Gerçekleştirilen bir çalışmada, fermantasyon süreci boyunca hidrokarbon düzeylerinde bir yükseliş tespit edilmiştir. (Pizarro ve Franco, 2017)

Ketonlar grubunda aseton, Tekirdağ'da 35,1 ppb ve İzmir'de 2,9 ppb ile maksimum-minimum aralığını oluşturmuştur.

Furan türevleri içinde furan 2-metil, yalnızca Erzincan'da 24,1 ppb seviyesinde gözlemlenmiştir.

Diğer UAB'ler kapsamında asetik anhidrit, Tekirdağ'da 72,6 ppb ve İzmir'de 7,8 ppb ile en belirgin bileşen olmuştur.

Terpenler ise analiz kapsamında tespit edilememiştir.

Bu sonuçlar, bölgesel faktörlerin (örn. hammadde kaynakları, üretim koşulları) UAB profilinde istatistiksel anlamlılık taşıyabilecek farklılıklara yol açtığını düşündürmektedir.

Tablo 4.5 Ekmeklerdeki uçucu bileşen profili

Target Compounds	Örnekler (pik alanı x 10 ⁵)								
	RT	QIon	5-Tkd	4-İzm	3-Adn	6-Erz	7-Dzc	2-Ank	1-İst
Aldehitler									
Acetaldehyde	1,56	44,00	1,28	0,52	7,34	1,94	1,75	0,40	3,88
3-Cyclohexene-1-acetaldehyde, α ,4-	2,26	57,00	0,01	0,15	0,03	0,00	0,08	0,70	0,03
Butanal	4,20	72,00	0,29	0,02	0,30	0,75	0,23	0,09	0,41

Tablo 4.5 Ekmeklerdeki uçucu bileşen profili (devam)

Butanal, 3-methyl ve Butanal, 2- methyl	8,14	44,00	0,55	0,02	0,37	0,91	0,08	0,18	0,56
Pentanal	10,39	44,00	0,02	0,00	0,26	0,03	0,03	0,01	0,17
Hexanal	17,41	44,00	0,03	0,01	0,29	0,04	0,04	0,02	0,19
Toplam			2,20	0,72	8,60	3,66	2,21	1,40	5,23
Alkoller									
Ethanol	2,39	45,00	8,32	30,90	22,82	34,78	37,14	30,23	17,79
Isopropyl Alcohol	2,42	42,00	0,58	2,07	1,52	2,36	2,82	2,04	1,19
1-Propanol, 2- methyl-	7,87	43,00	0,11	0,27	0,05	0,11	0,29	0,21	0,01
1-Pentanol	14,59	55,00	0,37	0,30	0,15	0,05	0,40	0,25	0,04
1-Butanol, 3- methyl	14,59	55,00	0,37	0,30	0,15	0,05	0,40	0,25	0,04
Benzeneethanol, α,β -dimethyl-	21,25	106,00	0,08	0,04	0,11	0,08	0,06	0,06	0,05
Toplam			9,83	33,88	24,82	37,42	41,11	33,04	19,12
Ketonlar									
Acetone	2,84	58,00	1,21	0,13	0,37	0,84	0,43	0,52	0,37
2,3-Butanedione	5,69	86,00	0,14	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Toplam			11,63	34,35	25,46	38,45	42,00	33,87	19,58
Esterler									
Ethyl Acetate	6,12	43,00	0,42	4,79	0,24	0,10	0,20	2,12	0,43
Benzeneacetic acid, 2- phenylethyl ester	21,25	91,00	0,14	0,07	0,19	0,13	0,10	0,10	0,10
Toplam			13,54	39,36	26,26	39,58	42,72	36,61	20,48
Terpenler									
D-Limonene	26,00	93,00	0,10	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
Cyclohexene, 1- methyl-4- (1-methylethenyl)	26,00	79,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Toplam			14,25	44,33	26,70	39,80	43,01	38,93	21,01
Furan Türevleri									
Furan, 2-methyl	4,94	82,00	0,00	0,00	0,01	0,84	0,05	0,00	0,00
Tetrahydrofuran	6,46	42,00	0,03	0,00	0,00	0,25	0,00	0,04	0,00
Furan, 2-pentyl	24,85	81,00	0,06	0,04	0,12	0,05	0,08	0,03	0,21

Tablo 4.5 Ekmeklerdeki uçucu bileşen profili (devam)

Toplam		14,39	44,39	26,83	40,95	43,14	39,04	21,21	
Hidrokarbonlar									
Propane, 1-nitro	4,22	43,00	0,40	0,00	0,44	1,04	0,33	0,00	0,57
Ethylbenzene	19,67	91,00	0,14	0,08	0,20	0,14	0,12	0,09	0,11
Benzene, 1,3-dimethyl-	20,07	91,00	0,42	0,22	0,64	0,43	0,37	0,28	0,33
o-Xylene	20,07	91,00	0,42	0,22	0,64	0,43	0,37	0,28	0,33
p-Xylene	21,25	91,00	0,14	0,07	0,19	0,13	0,10	0,10	0,10
Styrene	21,31	104,00	0,02	0,01	0,16	0,00	0,01	0,01	0,22
Heptane, 2,2,4,6,6-pentamethyl	0,00			0,00	0,06	0,00	0,17	0,00	0,02
Toplam		1,14	0,61	1,88	1,14	1,14	0,77	1,10	
Diğerleri									
Acetic anhydride	2,84	43,00	2,47	0,30	0,52	1,67	0,87	1,07	0,75
1-Butanol, 2-nitro-	14,59	56,00	0,05	0,04	0,02	0,00	0,05	0,04	0,00
Toplam		3,67	0,95	2,63	2,81	2,25	1,89	2,09	

Tablo 4.6 Ekmeklerdeki uçucu bileşen profili- (%)

Örnekler (% Oran)									
Target Compounds	RT	QIon	5-Tkd	4-İzm	3-Adn	6-Erz	7-Dzc	2-Ank	1-İst
Aldehitler									
Acetaldehyde	1,56	44,00	7,0	1,3	19,7	4,1	3,8	1,0	13,9
3-Cyclohexene-1-acetaldehyde, α ,4-	2,26	57,00	0,1	0,4	0,1	0,0	0,2	1,8	0,1
Butanal	4,20	72,00	1,6	0,0	0,8	1,6	0,5	0,2	1,5
Butanal, 3-methyl ve Butanal, 2-methyl	8,14	44,00	3,0	0,0	1,0	1,9	0,2	0,4	2,0
Pentanal	10,39	44,00	0,1	0,0	0,7	0,1	0,1	0,0	0,6
Hexanal	17,41	44,00	0,2	0,0	0,8	0,1	0,1	0,0	0,7
Alkoller									
Ethanol	2,39	45,00	45,6	75,9	61,3	73,7	79,7	77,1	63,8
Isopropyl Alcohol	2,42	42,00	3,2	5,1	4,1	5,0	6,1	5,2	4,3

Tablo 4.6 Ekmeklerdeki uçucu bileşen profili- (%) (devam)

1-Propanol, 2-methyl-	7,87	43,00	0,6	0,7	0,1	0,2	0,6	0,5	0,0
1-Pentanol	14,59	55,00	2,0	0,7	0,4	0,1	0,9	0,6	0,1
1-Butanol, 3-methyl	14,59	55,00	2,0	0,7	0,4	0,1	0,9	0,6	0,1
Benzeneethanol, α,β -dimethyl-	21,25	106,00	0,4	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2
Ketonlar									
Acetone	2,84	58,00	6,6	0,3	1,0	1,8	0,9	1,3	1,3
2,3-Butanedione	5,69	86,00	0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Esterler									
Ethyl Acetate	6,12	43,00	2,3	11,8	0,7	0,2	0,4	5,4	1,5
Benzeneacetic acid, 2-phenylethyl ester	21,25	91,00	0,8	0,2	0,5	0,3	0,2	0,3	0,4
Terpenler									
D-Limonene	26,00	93,00	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)	26,00	79,00	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Furan Türevleri									
Furan, 2-methyl	4,94	82,00	0,0	0,0	0,0	1,8	0,1	0,0	0,0
Tetrahydrofuran	6,46	42,00	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,1	0,0
Furan, 2-entyl	24,85	81,00	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,7
Hidrokarbonlar									
Propane, 1-nitro	4,22	43,00	2,2	0,0	1,2	2,2	0,7	0,0	2,0
Ethylbenzene	19,67	91,00	0,8	0,2	0,5	0,3	0,3	0,2	0,4
Benzene, 1,3-dimethyl-	20,07	91,00	2,3	0,6	1,7	0,9	0,8	0,7	1,2
o-Xylene	20,07	91,00	2,3	0,6	1,7	0,9	0,8	0,7	1,2
p-Xylene	21,25	91,00	0,8	0,2	0,5	0,3	0,2	0,3	0,4
Styrene	21,31	104,00	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,8
Heptane, 2,2,4,6,6-pentamethyl	0,00				0,2	0,0	0,4	0,0	0,1
Diğerleri									
Acetic anhydride	2,84	43,00	13,5	0,7	1,4	3,5	1,9	2,7	2,7
1-Butanol, 2-nitro-	14,59	56,00	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0

Bu çalışmada Türkiye' nin farklı coğrafi bölgelerinden temin edilen ekşi hamur numunelerinde LAB sayımı, maya sayımı, pH, TTA ve reolojik özellikleri ile bu ekşi hamurlardan üretilen ekmeklerdeki tekstür ve uçucu aromatik bileşiklerinin özellikleri mikrobiyolojik, fizikokimyasal, fiziksel ve mekanik yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalara sonucunda elde edilen verilere ait değerlendirmeler aşağıdaki şekilde paylaşılmıştır.

- Tez kapsamında Türkiye'nin çeşitli şehirlerinden toplanan ekşi hamur örneklerinin LAB sayım sonuçları $7,48 \pm 0,29$ ile $8,46 \pm 0,33$ log kob/g, maya sayım sonuçlarının ise $5,67 \pm 0,48$ ile $6,91 \pm 0,29$ log kob/g arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek LAB sayımları İstanbul ($8,46 \pm 0,33$ log kob/g) ve Ankara ($8,42 \pm 0,41$ log kob/g) numunelerinden, en yüksek maya sayısı ise Ankara ($6,91 \pm 0,29$ log kob/g) ilinden alınan numunelerde tespit edilmiştir. En düşük LAB sayımı Tekirdağ örneğinde ($7,48 \pm 0,29$ log kob/g) ve en düşük maya sayısı ise Tekirdağ ($5,67 \pm 0,48$) ve Düzce ($5,93 \pm 0,54$) şehirlerinden alınan ait numunelerde tespit edilmiştir. Maya sayım sonuçları LAB sayım sonuçlarına oranı 1:10 ile 1:100 arasında değişim göstermiştir. Numunelerden elde edilen veriler neticesinde LAB sayımı ve maya sayım sonuçlarının kendi içinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir ($p < 0,05$). Sonuç olarak, bu çalışma Türkiye'nin farklı illerinden elde edilen ekşi hamur örneklerinde LAB ve maya sayılarının bölgesel farklılıklar gösterdiğini ve bu mikrobiyal çeşitliliğin yerel üretim koşullarıyla ilişkili olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.
- Tez kapsamında toplanan ekşi hamur numunelerinde pH değerlerinin $3,74 \pm 0,20$ ile $4,13 \pm 0,10$ arasında, TTA değerlerinin ise $8,43 \pm 0,80$ ile $12,77 \pm 2,27$ mL arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek TTA değeri Erzincan ($12,77 \pm 2,27$) iline ait örneklerde tespit edilirken, bu aynı zamanda en düşük pH değerine ($3,74 \pm 0,20$) sahip il olarak da belirlenmiştir. Bu bulgular, Erzincan örneklerinin asitlik düzeyi açısından en kuvvetli ekşi

hamurlar olduğunu göstermektedir. Öte yandan, en düşük TTA değeri Tekirdağ ($8,43 \pm 0,80$) iline ait örnekte kaydedilmiş olup, bu örnek aynı zamanda en yüksek pH ($4,13 \pm 0,10$) değerine sahiptir. Bu durum, Tekirdağ örneğinin diğer illere kıyasla daha düşük asiditeye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Gerçekleştirilen istatistiksel değerlendirmeler sonucunda pH değerlerinin kendi için benzerlik gösterdiği ve anlamlı bir fark olmadığını, TTA değerlerinin ise kendi içinde anlamlı seviyede farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. ($p < 0,05$).

- Ekmek hamurlarında gerçekleştirilen reolojik analizler neticesinde G' (elastik modül) değerinin tüm örneklerde G'' (viskoz modül) değerinden yüksek olduğu ve bu farkın özellikle İstanbul ($G': 6791.10 \pm 410.25$ Pa) ($G'' 4186.40 \pm 320.3$ Pa) ve Tekirdağ ($G': 7194.2 \pm 570.07$ Pa) ($G'' 4369.55 \pm 259.01$ Pa) örneklerinde oldukça belirgin olduğu görülmüştür. Bu durum, söz konusu örneklerin daha belirgin elastik özelliklere sahip olduğunu ve iç yapı bakımından daha güçlü bir ağ formasyonu geliştirdiklerini göstermektedir. G'' değerlerinin de yüksek seviyelerde olmasından dolayı bu hamurların aynı zamanda viskoz dirençlerinin de yüksek olduğunu ve dolayısıyla reolojik olarak stabil sistemler oluşturduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak İstanbul ve Tekirdağ illeri anlamlı şekilde ($p < 0.05$) diğer illerden farklılık göstermiştir. Diğer yandan İzmir ($G': 100.12 \pm 1.08$ Pa) ($G'': 44.15 \pm 1.23$ Pa) ve Adana ($G': 198.19 \pm 2.94$ Pa) ($G'': 92.59 \pm 4.12$ Pa) örneklerinde hem G' hem de G'' değerlerinin oldukça düşük seviyelerde olması, bu örneklerin daha zayıf iç yapıya sahip olduğunu ve mukavemetinin düşük olduğunu göstermektedir. Bu hamurların daha viskoz nitelikte olduğunu ve elastik davranışlarının zayıf kaldığını göstermiştir. n' ve n'' sırasıyla elastik ve viskoz davranışın frekansa bağımlılığı incelendiğinde, Erzincan ($n': 0.3037$, $n'': 0.2605$) ve Düzce ($n': 0.2973$, $n'': 0.2833$) örneklerinde bu değerlerin diğer illere göre daha yüksek olması, bu hamurların viskoelastik yanıtlarının frekansa daha duyarlı olduğunu ve yapılarında bir miktar akışkanlık özelliği barındırdığını şeklinde değerlendirilmiştir. Ancak bununla birlikte örneklerin G' ve G'' değerleri orta-yüksek düzeyde seyrettiğinden, bu hamurların yapısal olarak dengeli

fakat daha yumuşak dokuda olduğu görülmüştür. Tüm örneklerde frekans artışına paralel olarak G' ve G'' değerlerinde artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Bu durum, test edilen tüm ekşi hamurların zayıf jel karakterinde olduğunu ve frekansla birlikte enerji elastik modül ve vizkoz modül kapasitelerinin arttığını göstermektedir

- Tekstür değerleri açısından numuneler incelendiğinde sertlik değerlerinin Adana ve Erzincan illerinde en yüksek olduğu görülmüş olup, bu örneklerin çignenebilirlik ve sakızimsılığının da diğer illere oranla istatistiksel olarak anlamlı seviyede yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$). En düşük sertlik değerlerine sahip olan Tekirdağ ve İstanbul illeri aynı zamanda en yüksek kohezyon değerlerine de sahip olduğu tespit edilerek, bu numunelerin daha yumuşak bir yapıya sahip oldukları ve bütünlüğü yüksek iç yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Esneklik değerlerinde iller arasında anlamlı bir fark görülmemiştir ($p > 0,05$), Çalışmalar, Adana ve Erzincan illerinin sakızimsılık ve çignenebilirlik özelliklerinin diğer illere oranla istatistiksel olarak anlamlı seviyede farklılık gösterdiği görülmüş olup, daha zor çignendiği göstermiştir. Dayanıklılık değerleri gözönüne alındığında en yüksek Tekirdağ (0,50) ilinin olduğu ve sonrasında sırasıyla İstanbul (0,42) ve Adana (0,39) olduğu görülmüştür. Bu iller istatistiksel olarak diğer illerden anlamlı seviyede farklılık göstermiştir ($p < 0,05$). Numuneler arasında en düşük dayanıklılık değerini sırasıyla Düzce (0,27), Ankara (0,29) ve İzmir (0,31) bölgelerindeki numuneler olduğu belirlenmiş olup, kendi içinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Dayanıklılık analiz sonuçlarına göre Tekirdağ, Adana ve İstanbul numunelerinin diğer bölgelerdeki numunelere oranla elastikliği ve dayanıklılığı daha yüksek olduğunu göstermiştir ($p < 0,05$).
- Analizler sonucunda, uçucu bileşenler konsantrasyonlarına göre alkoller, aldehitler, esterler, hidrokarbonlar, ketonlar, furan türevleri ve terpenler şeklinde sıralanmıştır. Toplamda 28 uçucu bileşen tespit edilmiştir. Alkoller arasında en yüksek konsantrasyona sahip bileşen etanol olarak belirlenmiştir. Etanol seviyeleri Düzce'de 1109,2 ppb (maksimum) ve Tekirdağ'da 247,7 ppb (minimum) olarak kaydedilmiştir. Aldehitler

kategorisinde asetaldehit dominant bileşen olup, Adana'da 218,3 ppb ve Ankara'da 11,0 ppb konsantrasyonları ile bölgesel değişimler göstermiştir. Esterler içinde en yüksek seviyede tespit edilen etil asetat, İzmir'de 142,3 ppb ve Erzincan'da 1,9 ppb değerleri ile kayda geçmiştir. Hidrokarbonlar arasında propan 1-nitro, Erzincan'da 30,0 ppb ile en yüksek seviyede bulunurken, Ankara ve İzmir örneklerinde tespit edilmemiştir. Ketonlar grubunda aseton, Tekirdağ'da 35,1 ppb ve İzmir'de 2,9 ppb ile maksimum-minimum aralığını oluşturmuştur. Furan türevleri içinde furan 2-metil, yalnızca Erzincan'da 24,1 ppb seviyesinde gözlemlenmiştir. Diğer UAB'ler kapsamında asetik anhidrit, Tekirdağ'da 72,6 ppb ve İzmir'de 7,8 ppb ile en belirgin bileşen olmuştur. Terpenler ise analiz kapsamında tespit edilememiştir.

- Yapılan tüm çalışmalar sonucunda bölgesel olarak ekşi hamurların TTA içeriklerinin, LAB sayımlarının, maya sayımlarının ve reolojik olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca ekşi hamur ile üretilen ekmeklerin tekstürel özellikleri ve uçucu aromatik bileşik içerikleri çerçevesinde ekşi hamurlara paralel olarak bölgesel farklılık gösterdiği ve hamur ve ekmeklerin birbirine paralel özellik göstermiştir.

Türkiye'nin farklı illerinden elde edilen ekşi hamur örneklerinde bölgesel farklılıklar göstermesinin, bölgesel mikrobiyal çeşitlilik, yerel üretim proses koşulları (fermentasyon süresi, nemi ve sıcaklığı vb.) üretim sırasında kullanılan hammadde ve yardımcı madde özellikleri gibi farklı etkenler ile ilişkili olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

- Bu çalışmalar sonucunda görülen bölgesel farklılıkların daha kapsamlı çalışmalar ile araştırılması önerilmektedir. Çalışma sırasında bölgesel olarak hazırlanan ekşi hamurların ve ekmeklerin bileşimlerinde kullanılan un karışım oranları, yardımcı maddelerdeki farklılıklar, proses koşullarındaki değişkenler, bölgesel mikroflora etkileri gibi birçok değişkenin olması daha kapsamlı çalışmaların yapılması gerekliliğini göstermiştir. Ayrıca sadece bölgesel değil aynı zamanda aynı bölgedeki farklı üreticiler arasında da farklılıklar olabileceğini gözönüne alınmasını da önerilmektedir.

- Abdul Hakim, B. N., Xuan, N. J., & Oslan, S. N. H. (2023). A Comprehensive Review of Bioactive Compounds from Lactic Acid Bacteria: Potential Functions as Functional Food in Dietetics and the Food Industry. *Foods*, *12*(15), 2850. <https://doi.org/10.3390/foods12152850>
- Akamine, I. T., Mansoldo, F. R. P., & Vermelho, A. B. (2023). Probiotics in the Sourdough Bread Fermentation: Current Status. *Fermentation*, *9*(2), 90. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020090>
- Alkay, Z., Alkay, R., Dertli, E., Kökten, K., & Durak, M. Z. (2023). Rheological, textural and physicochemical properties of buckwheat sourdough bread prepared with different lactic acid bacteria strains. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, e5643. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5643>
- Alviani, N. A., Wahyuni, I., Jannah, M., & Oktarisya, T. (2023). Perbandingan Penggunaan Bakteri Asam Laktat dan Ragi Instan pada Proses Fermentasi Roti. *AGRITEKH (Jurnal Agribisnis Dan Teknologi Pangan)*, *4*(1), 46–51. <https://doi.org/10.32627/agritekh.v4i1.751>
- Arora, K., Ameer, H., Polo, A., Di Cagno, R., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2021). Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, *108*, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.008>
- Arslan-Tontul, S., Çetin-Babaoğlu, H., Aslan, M., & Tontul, I. (2024). Evaluation of refractance window-dried type 3 sourdough as an alternative to liquid sourdough in bread production. *Journal of Cereal Science*, *116*, 103882. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103882>
- Ayub, H., Nadeem, M., Mohsin, M., Ambreen, S., Khan, F. atta, Oranab, S., Rahim, M. Abdul, Zubair Khalid, M., Zongo, E., Zarlisht, M., & Ullah, S. (2023). A comprehensive review on the availability of bioactive compounds, phytochemicals, and antioxidant potential of plum (*Prunus Domestica*).

International Journal of Food Properties, 26(1), 2388–2406.

<https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2249254>

Bakırcı Fahtih. (2019). *Yöresel Ekmek Üretiminde Kullanılan Ekşi Hamur Mikrobiyal Floralarının Belirlenmesi ve Bu Ekmeklerin Uçucu Bileşenleri İle Duyusal Özelliklerinin Karakterizasyonu* [Doktora Tezi]. Manisa Celal Bayar Üniversitesi.

Banu, I., Vasilean, I. Aprodu I, (2011) *Quality evaluation of the sourdough rye breads* (Vol. 35, Issue 2).

Belz, M. C. E., Axel, C., Arendt, E. K., Lynch, K. M., Brosnan, B., Sheehan, E. M., Coffey, A., & Zannini, E. (2019). Improvement of taste and shelf life of yeasted low-salt bread containing functional sourdoughs using *Lactobacillus amylovorus* DSM 19280 and *Weissella cibaria* MG1. *International Journal of Food Microbiology*, 302, 69–79.

<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.07.015>

Benvenuti, L., Moura, F. M., Zanghelini, G., Barrera, C., Seguí, L., & Zielinski, A. A. F. (2025). An Upcycling Approach from Fruit Processing By-Products: Flour for Use in Food Products. *Foods*, 14(2), 153.

<https://doi.org/10.3390/foods14020153>

Birch, A. N., Petersen, M. A., & Hansen, Å. S. (2014). REVIEW: Aroma of Wheat Bread Crumb. *Cereal Chemistry*, 91(2), 105–114.

<https://doi.org/10.1094/CCHEM-06-13-0121-RW>

Brandt, M. J. (2019). Industrial production of sourdoughs for the baking branch – An overview. *International Journal of Food Microbiology*, 302, 3–7.

<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.09.008>

Calvert, M. D., Madden, A. A., Nichols, L. M., Haddad, N. M., Lahne, J., Dunn, R. R., & McKenney, E. A. (2021). A review of sourdough starters: ecology, practices, and sensory quality with applications for baking and recommendations for future research. *PeerJ*, 9, e11389.

<https://doi.org/10.7717/peerj.11389>

- Cao, Y., Zhang, F., Guo, P., Dong, S., & Li, H. (2019). Effect of wheat flour substitution with potato pulp on dough rheology, the quality of steamed bread and in vitro starch digestibility. *LWT*, *111*, 527–533.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.034>
- Carbonetto, B., Nidelet, T., Guezenec, S., Perez, M., Segond, D., & Sicard, D. (2020). Interactions between *Kazachstania humilis* Yeast Species and Lactic Acid Bacteria in Sourdough. *Microorganisms*, *8*(2), 240.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms8020240>
- Cardinali, F., Garofalo, C., Reale, A., Boscaino, F., Osimani, A., Milanović, V., Taccari, M., & Aquilanti, L. (2022). Liquid sourdough from stone-ground soft wheat (*Triticum aestivum*) flour: Development and exploitation in the breadmaking process. *Food Research International*, *161*, 111796.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111796>
- Chambers, E., & Koppel, K. (2013). Associations of Volatile Compounds with Sensory Aroma and Flavor: The Complex Nature of Flavor. *Molecules*, *18*(5), 4887–4905. <https://doi.org/10.3390/molecules18054887>
- Chavan, R. S., & Chavan, S. R. (2011). Sourdough Technology-A Traditional Way for Wholesome Foods: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *10*(3), 169–182. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00148.x>
- Chen, L., Wang, G., Teng, M., Wang, L., Yang, F., Jin, G., Du, H., & Xu, Y. (2023). Non-gene-editing microbiome engineering of spontaneous food fermentation microbiota—Limitation control, design control, and integration. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *22*(3), 1902–1932. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13135>
- Chung, P.-L., Liaw, E.-T., Gavahian, M., & Chen, H.-H. (2020). Development and Optimization of Djulis Sourdough Bread Using Taguchi Grey Relational Analysis. *Foods*, *9*(9), 1149. <https://doi.org/10.3390/foods9091149>
- Çobanoğlu, F., Kahraman, A. D., & Öğüt, S. (2022). Defining and Predicting Consumers Bread Choices based on Socio-Demographic Characteristics and

- Healthy Living Orientations. *Selcuk Journal of Agricultural and Food Sciences*. <https://doi.org/10.15316/SJAFS.2022.021>
- Coda, R., Cassone, A., Rizzello, C. G., Nionelli, L., Cardinali, G., & Gobbetti, M. (2011). Antifungal Activity of *Wickerhamomyces anomalus* and *Lactobacillus plantarum* during Sourdough Fermentation: Identification of Novel Compounds and Long-Term Effect during Storage of Wheat Bread. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(10), 3484–3492. <https://doi.org/10.1128/AEM.02669-10>
- Coda, R., Varis, J., Verni, M., Rizzello, C. G., & Katina, K. (2017). Improvement of the protein quality of wheat bread through faba bean sourdough addition. *LWT- Food Science and Technology*, 82, 296–302. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.062>
- Codină, G. G., Sarion, C., & Dabija, A. (2021). Effects of Dry Sourdough on Bread-Making Quality and Acrylamide Content. *Agronomy*, 11(10), 1977. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101977>
- Comasio, A., Verce, M., Van Kerrebroeck, S., & De Vuyst, L. (2020). Diverse Microbial Composition of Sourdoughs From Different Origins. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01212>
- Cordain, L. (1999). Cereal Grains: Humanity's Double-Edged Sword. In *Evolutionary Aspects of Nutrition and Health* (pp. 19–73). KARGER. <https://doi.org/10.1159/000059677>
- Corsetti, A., Gobbetti, M., & Smacchi, E. (1996). Antibacterial activity of sourdough lactic acid bacteria: isolation of a bacteriocin-like inhibitory substance from *Lactobacillus sanfrancisco* C57. *Food Microbiology*, 13(6), 447–456. <https://doi.org/10.1006/fmic.1996.0051>
- Cucu, S.-E., & Popa, M. E. (n.d.). *Improving the quality of bread by using dehydrated sourdough*.
- Dal Bello, F., Walter, J., Roos, S., Jonsson, H., & Hertel, C. (2005). Inducible Gene Expression in *Lactobacillus reuteri* LTH5531 during Type II

- Sourdough Fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(10), 5873–5878. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.10.5873-5878.2005>
- Damiani, P., Gobbetti, M., Cossignani, L., Corsetti, A., Simonetti, M. S., & Rossi, J. (1996). The Sourdough Microflora. Characterization of Hetero- and Homofermentative Lactic Acid Bacteria, Yeasts and Their Interactions on the Basis of the Volatile Compounds Produced. *LWT- Food Science and Technology*, 29(1–2), 63–70. <https://doi.org/10.1006/fstl.1996.0009>
- D’Amico, V., Gänzle, M., Call, L., Zwirzitz, B., Grausgruber, H., D’Amico, S., & Brouns, F. (2023). Does sourdough bread provide clinically relevant health benefits? *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1230043>
- Da Ros, A., Polo, A., Rizzello, C. G., Acin-Albiac, M., Montemurro, M., Di Cagno, R., & Gobbetti, M. (2021). Feeding with Sustainably Sourdough Bread Has the Potential to Promote the Healthy Microbiota Metabolism at the Colon Level. *Microbiology Spectrum*, 9(3). <https://doi.org/10.1128/Spectrum.00494-21>
- De Vero, L., Iosca, G., Gullo, M., & Pulvirenti, A. (2021). Functional and Healthy Features of Conventional and Non-Conventional Sourdoughs. *Applied Sciences*, 11(8), 3694. <https://doi.org/10.3390/app11083694>
- De Vuyst, L., Comasio, A., & Kerrebroeck, S. Van. (2023). Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(15), 2447–2479. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1976100>
- De Vuyst, L., Harth, H., Van Kerrebroeck, S., & Leroy, F. (2016). Yeast diversity of sourdoughs and associated metabolic properties and functionalities. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.018>
- De Vuyst, L., & Neysens, P. (2005). The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1–3), 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.012>

- De Vuyst, L., Schrijvers, V., Paramithiotis, S., Hoste, B., Vancanneyt, M., Swings, J., Kalantzopoulos, G., Tsakalidou, E., & Messens, W. (2002). The Biodiversity of Lactic Acid Bacteria in Greek Traditional Wheat Sourdoughs Is Reflected in Both Composition and Metabolite Formation. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(12), 6059–6069. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.12.6059-6069.2002>
- De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., Harth, H., Huys, G., Daniel, H.-M., & Weckx, S. (2014). Microbial ecology of sourdough fermentations: Diverse or uniform? *Food Microbiology*, 37, 11–29. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.06.002>
- De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., & Leroy, F. (2017). *Microbial Ecology and Process Technology of Sourdough Fermentation* (pp. 49–160). <https://doi.org/10.1016/bs.aamb.2017.02.003>
- Durmus, Y., Anil, M., & Simsek, S. (2024). Innovative use of hazelnut skin and starch modifications in sourdough bread formulation. *Journal of Food Process Engineering*, 47(1). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14517>
- du Toit, S. C., Rossouw, D., du Toit, M., & Bauer, F. F. (2020). Enforced Mutualism Leads to Improved Cooperative Behavior between *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum*. *Microorganisms*, 8(8), 1109. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081109>
- Ekinci, R., Şimşek, Ö., Küçükçuban, A., & Nas, S. (2016). Evaluation of mono or mixed cultures of lactic acid bacteria in type II sourdough system. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 46(3), 247–253. <https://doi.org/10.1080/10826068.2015.1015566>
- Engindeniz, S., & Bolatova, Z. (2021). A study on consumption of composite flour and bread in global perspective. *British Food Journal*, 123(5), 1962–1973. <https://doi.org/10.1108/BFJ-10-2018-0714>
- Fekri, A., Abedinzadeh, S., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S., & Savage, G. P. (2024a). Considering sourdough from a biochemical, organoleptic, and

- nutritional perspective. *Journal of Food Composition and Analysis*, 125, 105853. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105853>
- Fekri, A., Abedinzadeh, S., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S., & Savage, G. P. (2024b). Considering sourdough from a biochemical, organoleptic, and nutritional perspective. *Journal of Food Composition and Analysis*, 125, 105853. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105853>
- Fu, W., Wang, S., & Xue, W. (2024). Mechanism of carbohydrate and protein conversion during sourdough fermentation: An analysis based on representative Chinese sourdough microbiota. *International Journal of Food Microbiology*, 410, 110487. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110487>
- Gänzle, M. G., Qiao, N., & Bechtner, J. (2023). The quest for the perfect loaf of sourdough bread continues: Novel developments for selection of sourdough starter cultures. *International Journal of Food Microbiology*, 407, 110421. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110421>
- Gänzle, M. G., & Zheng, J. (2019). Lifestyles of sourdough lactobacilli – Do they matter for microbial ecology and bread quality? *International Journal of Food Microbiology*, 302, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.08.019>
- Gobbetti, M., Rizzello, C. G., Di Cagno, R., & De Angelis, M. (2014). How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology*, 37, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.012>
- Gu, Y., Luo, X., Qian, H., Li, Y., Fan, M., & Wang, L. (2023). Effects of freeze-dried pure strains to replace type II sourdough in bread production. *Food Bioscience*, 53, 102752. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102752>
- Hernández-Figueroa, R. H., Mani-López, E., Palou, E., & López-Malo, A. (2023). Sourdoughs as Natural Enhancers of Bread Quality and Shelf Life: A Review. *Fermentation*, 10(1), 7. <https://doi.org/10.3390/fermentation10010007>

- Huang, C., Huang, J., Zhang, B., Omedi, J. O., Chen, C., Zhou, L., Liang, L., Zou, Q., Zheng, J., Zeng, Y., & Huang, W. (2023). Rheo-Fermentation Dough Properties, Bread-Making Quality and Aroma Characteristics of Red Bean (*Vigna angularis*) Sourdough Induced by LAB *Weissella confusa* QS813 Strain Fermentation. *Foods*, *12*(3), 605.
<https://doi.org/10.3390/foods12030605>
- H. W. Lopez, F. Leenhardt, & C. Rémésy. (2004). New data on the bioavailability of bread magnesium. *Agricultural and Food Sciences*.
- Islam, M. A., & Islam, S. (2024). Sourdough Bread Quality: Facts and Factors. *Foods*, *13*(13), 2132. <https://doi.org/10.3390/foods13132132>
- Jin, J., Nguyen, T. T. H., Humayun, S., Park, S., Oh, H., Lim, S., Mok, I.-K., Li, Y., Pal, K., & Kim, D. (2021). Characteristics of sourdough bread fermented with *Pediococcus pentosaceus* and *Saccharomyces cerevisiae* and its bio-preservative effect against *Aspergillus flavus*. *Food Chemistry*, *345*, 128787.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128787>
- Kati, K., Kaisa, P., & Karin, A. (2004). Influence and Interactions of Processing Conditions and Starter Culture on Formation of Acids, Volatile Compounds, and Amino Acids in Wheat Sourdoughs. *Cereal Chemistry*, *81*(5), 598–610.
<https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.5.598>
- Katina, K., Arendt, E., Liukkonen, K.-H., Autio, K., Flander, L., & Poutanen, K. (2005). Potential of sourdough for healthier cereal products. *Trends in Food Science & Technology*, *16*(1–3), 104–112.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.03.008>
- Keramari, S., Nouska, C., Hatzikamari, M., Biliaderis, C. G., & Lazaridou, A. (2024). Impact of Sourdough from a Commercial Starter Culture on Quality Characteristics and Shelf Life of Gluten-Free Rice Breads Supplemented with Chickpea Flour. *Foods*, *13*(14), 2300.
<https://doi.org/10.3390/foods13142300>

- Khorasanchi, N., Peighambardoust, S. H., Tafti, A. G., Hejazi, M. A., & Rafa, S. R. (2011). *Evaluating the ability of liquid sourdough containing L. plantarum and L. reuteri starters in inhibition of bread mold spoilage*
- Koçaslan Sinem. (2021). *Isolation and identification of lactic acid bacteria and yeast species from the wheat sourdoughs made in Gaziantep and Mardin (Master's thesis, Republic of Turkey Gaziantep University)*.
- Koç, B., & Atar Kayabaşı, G. (2023). Enrichment of White Wheat Bread with Pistachio Hulls and Grape Seeds: Effect on Bread Quality Characteristics. *Applied Sciences*, 13(6), 3431. <https://doi.org/10.3390/app13063431>
- Koc, F., Arendt, E., Coffey, A., Ross, R. P., & Stanton, C. (2024). Impact of low FODMAP sourdough bread on gut microbiota using an in vitro colonic fermentation model. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1496022>
- Komatsuzaki, N., Izawa, M., Suzumori, M., Fujihara, S., & Shima, J. (2019). Characteristics of New Sourdough using Lactic Acid Bacteria and Wild Yeast. *Journal of Food Science and Nutrition Research*, 02(01). <https://doi.org/10.26502/jfsnr.2642-1100004>
- Kwon, J.-G., Park, S.-H., Kwak, J.-E., Cho, J. H., Kim, G., Lee, D., Kim, D. H., Kim, H. B., & Lee, J.-H. (2022). Mouse feeding study and microbiome analysis of sourdough bread for evaluation of its health effects. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.989421>
- Lau, S. W., Chong, A. Q., Chin, N. L., Talib, R. A., & Basha, R. K. (2021). Sourdough Microbiome Comparison and Benefits. *Microorganisms*, 9(7), 1355. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071355>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Lhomme, E., Orain, S., Courcoux, P., Onno, B., & Dousset, X. (2015). The predominance of *Lactobacillus sanfranciscensis* in French organic sourdoughs and its impact on related bread characteristics. *International*

- Journal of Food Microbiology*, 213, 40–48.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.05.010>
- Liljeberg, H. G. M., Lönner, C. H., & Björck, I. M. E. (1995). Sourdough Fermentation or Addition of Organic Acids or Corresponding Salts to Bread Improves Nutritional Properties of Starch in Healthy Humans. *The Journal of Nutrition*, 125(6), 1503–1511. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1503>
- Lima, T. T. M., Hosken, B. de O., De Dea Lindner, J., Menezes, L. A. A., Pirozi, M. R., & Martin, J. G. P. (2023). How to deliver sourdough with appropriate characteristics for the bakery industry? The answer may be provided by microbiota. *Food Bioscience*, 56, 103072.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103072>
- Lioger, D., Leenhardt, F., Demigne, C., & Remesy, C. (2007). Sourdough fermentation of wheat fractions rich in fibres before their use in processed food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(7), 1368–1373.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.2862>
- Litwinek, D., Gumul, D., Łukasiewicz, M., Zięba, T., & Kowalski, S. (2023). The Effect of Red Potato Pulp Preparation and Stage of Its Incorporation into Sourdough or Dough on the Quality and Health-Promoting Value of Bread. *Applied Sciences*, 13(13), 7670. <https://doi.org/10.3390/app13137670>
- Liu, T., Li, Y., Yang, Y., Yi, H., Zhang, L., & He, G. (2020). The influence of different lactic acid bacteria on sourdough flavor and a deep insight into sourdough fermentation through RNA sequencing. *Food Chemistry*, 307, 125529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125529>
- Liu, S., Chen, D. and Xu, J. (2018) The Effect of Partially Substituted Lupin, Soybean, and Navy Bean Flours on Wheat Bread Quality. *Food and Nutrition Sciences*, 9, 840-854. doi: 10.4236/fns.2018.97063.
- Lopez, H. W., Leenhardt, F., Coudray, C., & Remesy, C. (2002). Minerals and phytic acid interactions: is it a real problem for human nutrition? *International Journal of Food Science and Technology*, 37(7), 727–739.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00618.x>

- Loponen, J., Mikola, M., Katina, K., Sontag-Strohm, T., & Salovaara, H. (2004). Degradation of HMW Glutenins During Wheat Sourdough Fermentations. *Cereal Chemistry*, *81*(1), 87–93.
<https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.1.87>
- Lutter, L., Jõudu, I., & Andreson, H. (2023). Volatile organic compounds and their generation in sourdough. *Agronomy Research*, *21*(Special Issue 2), 504–536. <https://doi.org/10.15159/AR.23.017>
- Luz, C., D’Opazo, V., Mañes, J., & Meca, G. (2019). Antifungal activity and shelf life extension of loaf bread produced with sourdough fermented by *Lactobacillus* strains. *Journal of Food Processing and Preservation*, *43*(10).
<https://doi.org/10.1111/jfpp.14126>
- Maarse, H. (1991). *Volatile Compounds in Foods and Beverages* (H. Maarse, Ed.). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203734285>
- Martínez-Anaya, M. A. (1994). *Factors influencing the quality of wheat sourdough processes, and the use of chemometrics in quality assessment*.
- Martín-García, A., Riu-Aumatell, M., & López-Tamames, E. (2023). Influence of Process Parameters on Sourdough Microbiota, Physical Properties and Sensory Profile. *Food Reviews International*, *39*(1), 334–348.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1906698>
- Ma, S., Wang, Z., Guo, X., Wang, F., Huang, J., Sun, B., & Wang, X. (2021). Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: Mechanisms and challenges—A review. *Food Chemistry*, *360*, 130038.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>
- Minervini, F., Di Cagno, R., Lattanzi, A., De Angelis, M., Antonielli, L., Cardinali, G., Cappelle, S., & Gobbetti, M. (2012a). Lactic Acid Bacterium and Yeast Microbiotas of 19 Sourdoughs Used for Traditional/Typical Italian Breads: Interactions between Ingredients and Microbial Species Diversity. *Applied and Environmental Microbiology*, *78*(4), 1251–1264.
<https://doi.org/10.1128/AEM.07721-11>

- Minervini, F., Di Cagno, R., Lattanzi, A., De Angelis, M., Antonielli, L., Cardinali, G., Cappelle, S., & Gobbetti, M. (2012b). Lactic Acid Bacterium and Yeast Microbiotas of 19 Sourdoughs Used for Traditional/Typical Italian Breads: Interactions between Ingredients and Microbial Species Diversity. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(4), 1251–1264. <https://doi.org/10.1128/AEM.07721-11>
- Minervini, F., Lattanzi, A., De Angelis, M., Di Cagno, R., & Gobbetti, M. (2012). Influence of Artisan Bakery- or Laboratory-Propagated Sourdoughs on the Diversity of Lactic Acid Bacterium and Yeast Microbiotas. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(15), 5328–5340. <https://doi.org/10.1128/AEM.00572-12>
- Moroni, A. V., Bello, F. D., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2011). Impact of sourdough on buckwheat flour, batter and bread: Biochemical, rheological and textural insights. *Journal of Cereal Science*, 54(2), 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.04.008>
- Nionelli, L., & Rizzello, C. (2016). Sourdough-Based Biotechnologies for the Production of Gluten-Free Foods. *Foods*, 5(3), 65. <https://doi.org/10.3390/foods5030065>
- Nogueira, A. de C., Kussano, J. T., & Steel, C. J. (2015). Sourdough reduces sodium in wheat flour doughs. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(12), 2621–2629. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12932>
- Olakanmi, S. J., Jayas, D. S., & Paliwal, J. (2023). Applications of imaging systems for the assessment of quality characteristics of bread and other baked goods: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(3), 1817–1838. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13131>
- Oshiro, M., Zendo, T., & Nakayama, J. (2021). Diversity and dynamics of sourdough lactic acid bacteriota created by a slow food fermentation system. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 131(4), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2020.11.007>

- Ottogalli, G. , Galli, A., & Foschino, R. (1996). *Italian bakery products obtained with sour dough : Characterization of the typical microflora. Advances in food sciences. 18*, 131-144.
- Ozulku, G. (2024). Monitoring the Dough Properties, Quality Characteristics and Volatile Compounds of Whole Wheat Bread Made by Different Sourdough Types during Frozen Storage. *Foods, 13*(9), 1388.
<https://doi.org/10.3390/foods13091388>
- Paramithiotis, S., Gioulatos, S., Tsakalidou, E., & Kalantzopoulos, G. (2006). Interactions between *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria in sourdough. *Process Biochemistry, 41*(12), 2429–2433.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.07.001>
- Park, J.-M., Lee, H. M., Eom, H.-J., Kim, S. H., Song, I. G., & Yoon, H.-S. (2013). Quality Characteristics of Sourdough Bread with Lactic Acid Bacteria in the Antibacterial Activity. *The Korean Journal of Food And Nutrition, 26*(2), 199–207. <https://doi.org/10.9799/ksfan.2013.26.2.199>
- Pennerman, K. K., AL-Maliki, H. S., Lee, S., & Bennett, J. W. (2016). Fungal Volatile Organic Compounds (VOCs) and the Genus *Aspergillus*. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 95–115). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63505-1.00007-5>
- Peter Schieberle. (1996). *Intense aroma compounds—useful tools to monitor the influence of processing and storage on bread aroma. Advances in Food Science (CMTL). 18*, 237–244.
- Pizarro, F., & Franco, F. (2017). Volatile Organic Compounds at Early Stages of Sourdough Preparation Via Static Headspace and GC/MS Analysis. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal, 5*(2), 89–99.
<https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.5.2.05>
- Punia Bangar, S., Suri, S., Trif, M., & Ozogul, F. (2022). Organic acids production from lactic acid bacteria: A preservation approach. *Food Bioscience, 46*, 101615. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101615>

- Quattrini, M., Liang, N., Fortina, M. G., Xiang, S., Curtis, J. M., & Gänzle, M. (2019). Exploiting synergies of sourdough and antifungal organic acids to delay fungal spoilage of bread. *International Journal of Food Microbiology*, *302*, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.09.007>
- Rannou, C., Texier, F., Marzin, C., Nicklaus, S., Cariou, V., Courcoux, P., & Prost, C. (2018). Effect of Salt Reduction on Children's Acceptance of Bread. *Journal of Food Science*, *83*(8), 2204–2211. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14280>
- Rizzello, C. G., Portincasa, P., Montemurro, M., Di Palo, D. M., Lorusso, M. P., De Angelis, M., Bonfrate, L., Genot, B., & Gobbetti, M. (2019). Sourdough Fermented Breads are More Digestible than Those Started with Baker's Yeast Alone: An In Vivo Challenge Dissecting Distinct Gastrointestinal Responses. *Nutrients*, *11*(12), 2954. <https://doi.org/10.3390/nu11122954>
- Role of Bread on Nutrition and Health Worldwide. (2015). In *Bread and Its Fortification* (pp. 36–62). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18918-5>
- Rolim, M. E., Fortes, M. I., Von Frankenberg, A., & Duarte, C. K. (2024). Consumption of sourdough bread and changes in the glycemic control and satiety: A systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *64*(3), 801–816. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2108756>
- Roumia, H., Kókai, Z., Mihály-Langó, B., Csobod, É. C., & Benedek, C. (2023). Ancient Wheats—A Nutritional and Sensory Analysis Review. *Foods*, *12*(12), 2411. <https://doi.org/10.3390/foods12122411>
- Ruşen Metin Yıldırım. (2020). *Ekşi Hamurdan İzole Edilen Laktik Asit Bakterileri ve Mayaların Fitaz Aktivitelerinin Belirlenmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Sadowski, A., Dobrowolska, B., Dziugan, P., Motyl, I., Liszkowska, W., Rydlewska-Liszkowska, I., & Berłowska, J. (2024). Bread consumption trends in Poland: A socio-economic perspective and factors affecting current intake. *Food Science & Nutrition*, *12*(10), 7776–7787. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4383>

- Schieberle, P. (1996). Intense aroma compounds—useful tools to monitor the influence of processing and storage on bread aroma. *Advances in Food Science (CMTL)*, 18, 237–244.
- Sevgili, A., Can, C., Ceyhan, D. I., & Erkmen, O. (2023). Molecular identification of LAB and yeasts from traditional sourdoughs and their impacts on the sourdough bread quality characteristics. *Current Research in Food Science*, 6, 100479. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100479>
- Siepmann, F. B., Ripari, V., Waszczynskyj, N., & Spier, M. R. (2018). Overview of Sourdough Technology: from Production to Marketing. *Food and Bioprocess Technology*, 11(2), 242–270. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1968-2>
- Sofou, S., Muliawan, E. B., Hatzikiriakos, S. G., & Mitsoulis, E. (2008). Rheological characterization and constitutive modeling of bread dough. *Rheologica Acta*, 47(4), 369–381. <https://doi.org/10.1007/s00397-007-0248-x>
- Sökmen Özen. (2023). *Güney Marmara bölgesinden toplanan ekşi hamurlardan elde edilen laktobasil izolatları ile düşük fruktan içerikli fonksiyonel ekmek üretimi (Doktora tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi)*.
- Stamataki, N. S., Yanni, A. E., & Karathanos, V. T. (2017). Bread making technology influences postprandial glucose response: a review of the clinical evidence. *British Journal of Nutrition*, 117(7), 1001–1012. <https://doi.org/10.1017/S0007114517000770>
- Sultana, N., Saini, P. K., Kiran, K., Rout, S., & Kanaka, S. (2023). Exploring the Antioxidant Potential of Medicinal Plant Species: A Comprehensive Review. *Journal of Plant Biota*, 2(2), 9–13. <https://doi.org/10.51470/JPB.2023.02.02.09>
- Taccari, M., Aquilanti, L., Polverigiani, S., Osimani, A., Garofalo, C., Milanović, V., & Clementi, F. (2016). Microbial Diversity of Type I Sourdoughs Prepared and Back-Slopped with Wholemeal and Refined Soft (*Triticum aestivum*) Wheat Flours. *Journal of Food Science*, 81(8). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13372>

- Tafti, A. G., Peighambardoust, S. H., Hesari, J., Bahrami, A., & Bonab, E. S. (2013). Physico-chemical and functional properties of spray-dried sourdough in breadmaking. *Food Science and Technology International*, 19(3), 271–278. <https://doi.org/10.1177/1082013212452415>
- Terrazas-Avila, P., Palma-Rodríguez, H. M., Navarro-Cortez, R. O., Hernández-Uribe, J. P., Piloni-Martini, J., & Vargas-Torres, A. (2024). The effects of fermentation time on sourdough bread: An analysis of texture profile, starch digestion rate, and protein hydrolysis rate. *Journal of Texture Studies*, 55(2). <https://doi.org/10.1111/jtxs.12831>
- The characteristics and benefits of sourdough in baking.* (2022, July 19). <https://Mixing-Experts.Com/Characteristics-and-Benefits-of-Sourdough-in-Bakery/>.
- Thiele, C., Grassl, S., & Gänzle, M. (2004a). Gluten Hydrolysis and Depolymerization during Sourdough Fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1307–1314. <https://doi.org/10.1021/jf034470z>
- Thiele, C., Grassl, S., & Gänzle, M. (2004b). Gluten Hydrolysis and Depolymerization during Sourdough Fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1307–1314. <https://doi.org/10.1021/jf034470z>
- Üçok, G., & Hayta, M. (2015). Effect of sourdough addition on rice based gluten-free formulation: rheological properties of dough and bread quality. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7, 643-649.
- ur-Rehman, S.-, Nawaz, H., Hussain, S., Mushtaq Ah, M., Anjum Murt, M., & Saeed Ahma, M. (2007). Effect of Sourdough Bacteria on the Quality and Shelf Life of Bread. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6(6), 562–565. <https://doi.org/10.3923/pjn.2007.562.565>
- Van Kerrebroeck, S., Bastos, F. C. C., Harth, H., & De Vuyst, L. (2016). A low pH does not determine the community dynamics of spontaneously developed backslopped liquid wheat sourdoughs but does influence their metabolite kinetics. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.019>

- Ventimiglia, G., Alfonzo, A., Galluzzo, P., Corona, O., Francesca, N., Caracappa, S., Moschetti, G., & Settanni, L. (2015). Codominance of *Lactobacillus plantarum* and obligate heterofermentative lactic acid bacteria during sourdough fermentation. *Food Microbiology*, *51*, 57–68.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.04.011>
- Vogelmann, S. A., & Hertel, C. (2011). Impact of ecological factors on the stability of microbial associations in sourdough fermentation. *Food Microbiology*, *28*(3), 583–589. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.11.010>
- Vrancken, G., Rimaux, T., Weckx, S., Leroy, F., & De Vuyst, L. (2011). Influence of Temperature and Backslopping Time on the Microbiota of a Type I Propagated Laboratory Wheat Sourdough Fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, *77*(8), 2716–2726.
<https://doi.org/10.1128/AEM.02470-10>
- W. Rubel. (2011). Bread: A Global History. *History, Agricultural and Food Sciences*.
- Yağmur Gülten. (2013). *Ekşi hamur fermantasyonunda etkili olan laktik asit bakterilerinin ve mayaların belirlenmesi ve bunlardan elde edilen sıvı ekşi hamurun ekmek kalitesi üzerine etkisinin araştırılması (Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi)*.
- Yildirim, R. M., & Arici, M. (2019). Effect of the fermentation temperature on the degradation of phytic acid in whole-wheat sourdough bread. *LWT*, *112*, 108224. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.122>
- Yılmaz Derya. (2019). *Ekşi hamurdan mayaların izolasyonu ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi (Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi)*
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Yu, F., Sun, Y., Yuan, H., & Wang, N. (2025). Impacts of Drought Stress on Wheat Flour, Dough, and Chinese Southern-Type Steamed Bread Quality Characteristics. *Journal of Food Quality*, *2025*(1).
<https://doi.org/10.1155/jfq/9942418>

Z, Didar, (2011). Effect of Sourdough on Phytic Acid Content and Quality of Iranian Sangak Bread. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 01(05).
<https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000115>

Zhou, J. R., & Erdman, J. W. (1995). Phytic acid in health and disease. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35(6), 495–508.
<https://doi.org/10.1080/10408399509527712>



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Murat DOGAN, Rusen METIN YILDIRIM, Enes DERTLI, (2024). Determination of Textural Properties of Sourdough Breads Collected from Different Regions of Turkey presented at International Food Innovation and Sustainability Congress (IFIS2024). 16 May 2024, İstanbul.

