

**GÜNEY MARMARA BÖLGESİNDEN TOPLANAN
EKŞİ HAMURLARDAN ELDE EDİLEN LAKTOBASİL
İZOLATLARI İLE DÜŞÜK FRUKTAN İÇERİKLİ
FONKSİYONEL EKMEK ÜRETİMİ**

Özen SÖKMEN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEY MARMARA BÖLGESİNDEN TOPLANAN EKŞİ HAMURLARDAN
ELDE EDİLEN LAKTOBASİL İZOLATLARI İLE DÜŞÜK FRUKTAN
İÇERİKLİ FONKSİYONEL EKMEK ÜRETİMİ**

Özen SÖKMEN
0000-0002-2126-094X

Prof. Dr. Sine ÖZMEN TOĞAY
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Özen SÖKMEN tarafından hazırlanan “GÜNEY MARMARA BÖLGESİNDEN TOPLANAN EKŞİ HAMURLARDAN ELDE EDİLEN LAKTOBASİL İZOLATLARI İLE DÜŞÜK FRUKTAN İÇERİKLİ FONKSİYONEL EKMEK ÜRETİMİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Sine ÖZMEN TOĞAY

Başkan : Prof. Dr. Sine ÖZMEN TOĞAY
0000-0002-8851-1803
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Yasemin ŞAHAN
0000-0003-3457-251X
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. C. Ece TAMER
0000-0003-0441-1707
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ufuk BAĞCI
0000-0002-1511-2465
Trakya Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Emine AYDIN
0000-0001-9635-4791
Düzce Üniversitesi,
Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali KARA
Enstitü Müdürü

../../....

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

15/12/2023

Özen SÖKMEN

TEZ YAYINLANMA

FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Prof. Dr. Sine ÖZMEN TOĞAY

Özen SÖKMEN

Tarih

Tarih

İmza

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

GÜNEY MARMARA BÖLGESİNDEN TOPLANAN EKŞİ HAMURLARDAN ELDE EDİLEN LAKTOBASİL İZOLATLARI İLE DÜŞÜK FRUKTAN İÇERİKLİ FONKSİYONEL EKMEK ÜRETİMİ

Özen SÖKMEN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sine ÖZMEN TOĞAY

İrritabl bağırsak sendromu (İBS), en yaygın görülen gastrointestinal hastalıklardan biridir. Bu hastalıkların en önemli nedeni diyetle alınan fermente edilebilir laktoz, glikoz, fruktooligosakkaritler, galaktooligosakkaritler, sorbitol, mannitol gibi bileşenlerden oluşan oligosakkaritler, disakkaritler, monosakkaritler ve polioller (FODMAPs)'dir. Buğday, çavdar, arpa ve bunların ilavesi ile üretilen ekmeklerde bulunan başlıca FODMAPs karbonhidratları fruktanlardır. Ekşi hamur fermentasyonu, fruktan miktarını azaltarak İBS hastaları için uygun ekmek üretimine olanak sağlar. Bu çalışmada Güney Marmara bölgesinde Çanakkale, Balıkesir, Bursa, Yalova, Bilecik şehirlerinden toplanan ticari maya karıştırılmamış ekşi hamur örneklerinden elde edilen fruktan azaltıcı laktobasil izolatları ile düşük fruktan içerikli fonksiyonel ekmek üretimi ve ekmeklerin fizikokimyasal, mikrobiyolojik, reolojik ve duyuşal değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Hamurlarda yapılan fruktan analizi sonucunda ticari ekmek mayası ile üretilen kontrol örneği en yüksek değere sahip olup, ekşi hamur örnekleri ile arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) bulunmuştur. Düşük fruktan içerikli ekşi hamur örneklerinden izole edilen Balıkesir 1-2 ve Bursa 2-2 izolatlarında fruktan degradasyon özelliği tespit edilmiş ancak izolatların ekstraselüler fruktanaz enzimini kodlayan *fruA* ve *fosE* genlerini taşımadığı görülmüştür. Çalışma kapsamında fruktan azaltıcı laktobasil izolatları ile üretilen ekmek örnekleri incelendiğinde ise ticari ekmek mayası ile üretilen kontrol ekmeğinin fruktan miktarı 2200 ppm, Bursa 2-2 laktobasil izolatı ile üretilen ekmeğin fruktan miktarı 1500 ppm ve Balıkesir 1-2 laktobasil izolatı ile üretilen ekmeğinin fruktan miktarı ise 1600 ppm düzeylerinde bulunmuş ve izolatlar kullanılarak üretilen ekmeklerde fruktan değerinde kontrol örneğine göre sırasıyla %31,81 ile %27,83 oranlarında azalma görülmüştür. Duyusal olarak tüm ekmeklerin beğenildiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, çalışma kapsamında değerlendirilen ve ekmek üretiminde kullanım uygunluğu karakterize edilen ekşi hamur kaynaklı laktobasil izolatları ile üretilen ekmeklerde fruktan miktarlarının kontrol ekmeğine göre önemli ölçüde azaldığı belirlenmiş ve bu izolatların kullanılmasıyla İBS hastalarının tüketimine uygun fonksiyonel ekmek üretiminin mümkün olabildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ekmek, ekşi hamur, laktik asit bakterisi, İBS, FODMAPs, fruktan
2023, viii + 113 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

PRODUCTION OF FUNCTIONAL BREAD WITH LOW FRUCTAN CONTENT BY LACTOBACILLI ISOLATES FROM SOURDOUGHS COLLECTED FROM THE SOUTHERN MARMARA REGION

Özen SÖKMEN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineer

Supervisor: Prof. Dr. Sine ÖZMEN TOĞAY

Irritable bowel syndrome (IBS) is one of the most common gastrointestinal diseases. The most important cause of this disease is oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides, and polyols (FODMAPs), which consist of fermentable dietary lactose, glucose, fructooligosaccharides, galactooligosaccharides, sorbitol, and mannitol. Sourdough fermentation reduces fructans in wheat, rye, barley, and bread, making it suitable for IBS patients. In this study, the aim was to produce functional bread with low fructan content and to conduct physicochemical, microbiological, rheological, and sensory evaluation of bread with fructan-reducing lactobacillus isolates obtained from commercial yeast-free sourdough samples collected from the cities of Çanakkale, Balıkesir, Bursa, Yalova, and Bilecik in the Southern Marmara region. As a result of the fructan analysis performed on the dough, the control sample produced with commercial baker's yeast had the highest value, and the difference between it and the sourdough samples was found to be statistically significant ($p < 0.05$). Fructan degradation feature was detected in Balıkesir 1-2 and Bursa 2-2 isolates isolated from low fructan content sourdough samples, but it was observed that the isolates did not carry the *fruA* and *fosE* genes encoding the extracellular fructanase enzyme. When the bread samples produced with fructan-reducing *Lactobacillus* isolates were examined within the scope of the study, the fructan amount of the control bread produced with commercial baker's yeast was 2200 ppm, the fructan amount of the bread produced with Bursa 2-2 lactobacillus isolate was 1500 ppm, and the fructan amount of bread produced with Balıkesir 1-2 *Lactobacillus* isolate was found at levels of 1600 ppm, showing a decrease of 31.81% and 27.83% in the fructan value in the bread produced using the isolates, respectively, compared to the control sample. It was found that all breads were liked sensory. Consequently, it was determined that the fructan amounts in the bread produced with sourdough-derived *Lactobacillus* isolates, which were evaluated within the scope of the study and characterized for their suitability for use in bread production, were significantly reduced compared to the control bread, and it was observed that the production of functional bread suitable for consumption by IBS patients was possible by using these isolates.

Key words: Bread, sourdough, lactic acid bacteria, IBS, FODMAPs, fructan
2023, viii + 113 pages.

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen, çalışmamın her aşamasında heyecanımı paylaşan değerli danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Sine ÖZMEN TOĞAY'a

Lisansüstü eğitimim boyunca büyük emek ve özverisiyle sürekli yanımda olan, bilimsel ve manevi desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Ayşe Neslihan DÜNDAR'a

Tez izleme komitemde yer alarak desteklerini esirgemeyen, Sayın Prof. Dr. Yasemin ŞAHAN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ufuk BAĞCI'ya

Tezimde yer alan mikrobiyolojik analizlerin yapılmasında çok büyük yardımı ve desteği olan Öğr. Gör. Gamze DÜVEN'e

Tezimin gerçekleşmesinde FHIZ-2022-1160 No'lu Proje ile Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve 221O154 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a

Bugünlere ulaşmamı sağlayan, hayatta pes etmeden mücadele etmeyi öğreten, her kararımın arkasında durarak bana güvenen ve her zaman beni destekleyen, sevgili babam Ahmet SÖKMEN'e ve kıymetli annem Sura SÖKMEN'e

Fikirlerini her zaman önemseydiğim, destekleri ve sabırlarıyla yanımda olan canım ablam Özlem SÖKMEN GÜRÇAM ve eşi Kenan GÜRÇAM'a, kardeşim Doğan Can SÖKMEN'e

Sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Özen SÖKMEN

15/12/2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Ekşi Hamurun Tarihçesi.....	4
2.2. Ekşi Hamur Yapım Yöntemleri	4
2.3. Ekşi Hamur Üzerinde Etkili Olan Faktörler	7
2.4. Ekşi Hamur Mikrobiyotası.....	8
2.4.1. Ekşi hamur tiplerine göre mikrobiyota	10
2.4.2. Mayalar	11
2.5. Ekşi Hamurun Ekmeğin Teknolojik Özelliklerine Etkisi	12
2.6. Ekşi hamur mikrobiyotasının ekmeğin fonksiyonel özelliğine etkisi	15
2.7. Ekşi Hamur ve Frukthanlar	20
2.8. Ekşi Hamur ve İrritabl Bağırsak Sendromu	24
2.9. Tam Buğday Ununun Teknolojik Özellikleri	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	33
3.1. Materyal	33
3.2. Yöntem.....	33
3.2.1. Fırınlardan ekşi hamur toplanması ve mayaların aktiveleştirilmesi	33
3.2.2. Toplanan ekşi hamurların aktiveleştirilmesi.....	35
3.2.3. Hamurda fruktan analizi.....	37
3.2.4. Ekşi hamur örneklerinde LAB ve maya sayımı ve laktobasil izolasyonu	37
3.2.5. Ekşi hamur kaynaklı laktobasil izolatlarının mannitol kullanım özelliklerinin belirlenmesi	38
3.2.6. Laktobasil izolatlarında <i>fruA</i> ve <i>fosE</i> gen varlığının araştırılması.....	39
3.2.7. Frukthan azaltıcı laktobasil izolatları ile fonksiyonel ekmek üretimi ve kalite karakteristiğinin belirlenmesi.....	39
3.2.8. Ekmek üretiminde kullanılan tam buğday ununda yapılan analizler	41
3.2.9. Ekmekte yapılan analizler	42
3.2.10. İstatistiksel Analizler.....	46
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	47
4.1. Ekşi Hamur Örneklerinin Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları.....	47
4.2. Ekşi Hamurların Frukthan Analizi Sonuçları.....	51
4.3. Ekşi Hamur Kaynaklı Laktobasil İzolatlarının Mannitol Kullanım Özelliklerinin Belirlenmesi	54
4.4. Laktobasil izolatlarında <i>fruA</i> ve <i>fosE</i> Gen Varlığının Araştırılması	59
4.5. Frukthan Azaltıcı Laktobasil İzolatları ile Fonksiyonel Ekmek Üretimi ve Ekmeklerin Kalite Karakteristiğinin Belirlenmesi.....	60

4.6. Ekmek Üretiminde Kullanılan Unda Yapılan Analizler	62
4.7. Ekmekte Ağırlık, Hacim ve Spesifik Hacim Tespiti.....	66
4.8. Ekmek örneklerinde pH, Titrasyon Asitliği Analizi, Renk ve Tekstür Analizleri...	67
4.9. Organik Asit Miktarının Belirlenmesi	74
4.10. Ekmekte Frukta Analizi	77
4.11. Duyusal Analiz Sonuçları	80
5. SONUÇ	83
KAYNAKLAR	85
EKLER.....	106
EK 1	106
EK 2	107
ÖZGEÇMİŞ	108

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
°C	Santigrat Derece
<	Küçük
a*	Kırmızılık
b*	Sarılık
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
cm	Santimetre
dk	Dakika
g	Gram
kg	Kilogram
L	Litre
L*	Parlaklık
Log	Logaritma
mg	Miligram
mL	Mililitre
mM	Milimolar
N	Newton
pH	Asitlik veya Bazlık Derecesini Gösteren Ölçü Birimi
ppm	Milyonda bir kısım
rpm	Dakikada devir sayısı

Kısaltmalar	Açıklama
AACC	American Association of Cereal Chemists
FODMAPs	Fermente Edilebilir Oligosakkarit, Disakkarit, Monosakkarit ve Polioller
FOS	Fruktooligosakkarit
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
İBS	İrritabl Bağırsak Sendromu
LAB	Laktik Asit Bakterileri
MRS	De Man Rogosa Sharpe
NaOH	Sodyum Hidroksit
TTA	Titre edilebilir asitlik
YGC	Yeast Extract Glucose Chloramphenicol Agar
DL	Diyet lif
GI	Glisemik indeks
GL	Glisemik yük
DP	Polimerizasyon derecesi
LOD	Tespit limiti (Limit of Detection)
LOQ	Tayin limiti (Limit of Quantification)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Ekşi hamur ekmek yapımı yöntemleri.....	6
Şekil 3.1.	Tez çalışmasının planı	34
Şekil 3.2.	Toplanan (solda) ve aktifleştirilen (sağda) ekşi hamur örnekleri	36
Şekil 3.3.	Laktobasil saf kültürlerinin aktifleştirilmesi	37
Şekil 3.4.	Laktobasil izolatu hücre süspansiyonu	40
Şekil 3.5.	Ekmek hamurunun yapımı	40
Şekil 3.6.	Ekmeğin pişirilmesi.....	41
Şekil 3.7.	Tekstür profili analizi sonuç değerlendirme örneği.....	44
Şekil 4.1.	Mannitol standardının enjeksiyonu ile elde edilen kromotogram	56
Şekil 4.2.	HPLC analizinden elde edilen kromotogramlardan elde edilen standart kurve	57
Şekil 4.3.	Balıkesir 1-3 izolatının mannitol kromotogramı	57
Şekil 4.4.	MYP agarda mannitol kullanımına bağlı zon oluşumu.....	58
Şekil 4.5.	Farinograf analiz sonuçları	64
Şekil 4.6.	Ekstensograf analiz sonuçları	65
Şekil 4.7.	Fruktan azaltıcı laktobasil izolatları ile üretilen ekmekler	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1.	Yüksek FODMAPs içeren besinler	29
Çizelge 2.2.	Dünya Hububat Üretim Miktarı (Milyon Ton)	27
Çizelge 3.1.	Toplanan ekşi hamurların % kuru madde miktarları.....	36
Çizelge 4.1.	Ekşi hamurlardaki aktifleştirme öncesi, sonrası ve 24 saat sonunda LAB ve maya sayım sonuçları	50
Çizelge 4.2.	Ekşi hamurlardaki fruktan miktarı	52
Çizelge 4.3.	Mannitol için HPLC cihazının tayin limiti (LOQ), tespit limiti (LOD) belirsizlik (%) ve kalibrasyon aralığı	56
Çizelge 4.4.	Fruktan düşürücü laktobasil izolatlarının karakterizasyonu	58
Çizelge 4.5.	Seçilen laktobasil izolatları ile fermente edilen hamurların fruktan değerleri.....	60
Çizelge 4.6.	Tam buğday unu analiz sonuçları	62
Çizelge 4.7.	Farinograf analiz sonuçları.....	64
Çizelge 4.8.	Ekstensograf analiz sonuçları	64
Çizelge 4.9.	Laktobasil izolatları ile fermente edilen ekmeklerin fiziksel özellikleri.....	67
Çizelge 4.10.	Laktobasil izolatları ile elde edilen ekmeklerin pH ve TTA analizi	69
Çizelge 4.11.	Laktobasil izolatları ile elde edilen ekmeklerin renk değerleri.....	70
Çizelge 4.12.	Laktobasil izolatları ile elde edilen ekmeklerin renk değerleri.....	72
Çizelge 4.13.	HPLC cihazının tayin limiti (LOQ), belirsizlik (%) ve kalibrasyon aralığı.....	75
Çizelge 4.14.	Ekmeklerin organik asit miktarları.....	76
Çizelge 4.15.	Ekmeklerin fruktan miktarları.....	78
Çizelge 4.16.	Laktobasil izolatları ile elde edilen ekşi hamur ekmeği örneklerinin duyusal analiz sonuçları	82

1. GİRİŞ

Dünya genelinde en sık görülen (%7-21) bağırsak rahatsızlıklarından biri olan irritabl bağırsak sendromu (İBS) ishal, kabızlık, şişkinlik ve karın ağrısı gibi belirtilerle karakterizedir (Brandt vd., 2009; Lovell & Ford 2012; Tuck vd., 2014; Giorgio vd., 2015; Marsh vd., 2016) ve fruktooligosakkaritler (fruktanlar) İBS belirtilerine neden olan ana fermente edilebilir oligosakkaritler arasında yer almaktadır (Murray vd., 2014). Bağırsak mikrobiyotasında bulunan kolon bakterileri tarafından fermente edilen oligosakkaritler; fruktooligosakkaritler (FOS), disakkaritler, monosakkaritler ve polioller “fermente edilebilir karbonhidratlar” (FODMAPs) olarak tanımlanmaktadır. İBS rahatsızlığına sahip bireylere düşük FODMAPs diyeti önerilmektedir (Marsh vd., 2016). Düşük molekül ağırlıklı, genellikle dallanmış D-fruktoz polimerleri olan fruktanlar sindirilemeyen (prebiyotik etkili) karbonhidratlardır ve mikroorganizmaların metabolizmasını, minerallerin emilimini ve tokluk hissini etkileyen çeşitli özellikleri bulunmaktadır. Fruktanlar buğday başta olmak üzere bitki bazlı gıda ürünlerinde bulunabilmekte (Whelan vd., 2011) ve buğday ekmeğindeki baskın FODMAPs grubunu oluşturmaktadır. Tam buğday ununun %0,7-2,9 ve buğday ununun ise %1,4-1,7 düzeyinde fruktan içermesi (Huynh vd., 2008) nedeniyle bu tür unlardan üretilen ekmeklerin İBS hastalarınca tüketimi önerilmemektedir (Struyf vd., 2017; Loponen & Gänzle, 2018).

Ekmek buğday unu, tuz, su ve mayanın belli oranlarda karıştırılıp yoğurulması, tekniğine uygun biçimde şekil verilmesi ve hamurun belli bir fermantasyon süresi sonrasında pişirilmesi ile elde edilen temel gıda maddelerinden biridir (Elgün & Ertugay, 2002). İnsanlığın ekmeği tanınması ve üretimi çok eski çağlara dayanmaktadır. Ekmek üretimi ilk zamanlar, buğdayın ezilmesi ve su ile karıştırılmasından sonra kızgın taşlarda haşlanarak pişirilmesiyle yapılırken; tarihin akışı içerisinde gelişme göstermiş ve günümüzde ileri tekniklerden faydalanan bir bilim dalı haline gelmiştir (Göçmen, 2001). Birçok uygarlık ekmeğin üretiminde maya olarak ekşi hamuru kullanmaktadır. Ancak endüstri devrimine kadar yoğun olarak kullanılan ekşi hamur, artan ekmek talebiyle yerini ticari ekmek mayası olan *Saccharomyces cerevisiae*'ya bırakmıştır (Carnevali vd., 2007). Günümüzde hala ekşi hamur kullanılarak geleneksel ekmekler üretilmektedir.

Ekmek üretim aşamaları yoğurma, şekil verme, fermantasyon ve pişirmedir. Fermantasyon aşamasında kullanılan ekşi hamur, aslında insanlığın yüzyıllardır bildiği bir mayalama yöntemi olup buğday ununun su ile karıştırılarak fermente edilmesi sonucu oluşan ve yapısında çeşitli laktik asit bakteri (LAB) ve maya türlerinin bulunduğu bir hamur ortamıdır (Vogel vd., 2011; Papadimitriou vd., 2019). Ekşi hamurun duyuşal ve besleyici olarak ekmek kalitesine olumlu etkileri ekşi hamur kullanımını arttırmaktadır (Ripari vd., 2016a).

Genel olarak, ekşi mayalı ekmek üretiminde prebiyotik aktiviteye sahip bütün fermente edilebilir karbonhidratlar (sakkaroz, maltoz, glikoz ve fruktoz) fermantasyonun ilk saatlerinde hızla tükenmekte ancak fruktan ve benzeri yapıdaki daha yüksek polimerizasyon derecesine karbonhidratlar fermantasyonun ileri aşamalarında kullanılmaktadır. Bu nedenle ekşi hamur fermantasyonu ile üretilen ekmeklerde FODMAPs bileşenleri belirgin şekilde azalmaktadır (Biesiekierski vd., 2011; Loponen & Gänzle, 2018). Menezes vd., (2019)'nin yaptıkları bir çalışmada ekşi hamur fermantasyonu ile üretilen ekmeklerin ticari ekmek mayası ile üretilenlere göre daha yüksek seviyede poliol ve organik asit, daha düşük seviyede fruktan, sukroz, fruktoz ve glikoz içerdiği tespit edilmiştir.

Günlük beslenmede yer verilen tam tahıllı ürünler, diyet lifi alımına önemli ölçüde katkıda bulunmakla birlikte bu ürünlerin ana bileşenlerinden buğday ve çavdar, fruktan (%0,7–2,9 km) başta olmak üzere yüksek FODMAPs içeriğine sahiptir (Andersson vd., 2009; Biesiekierski vd., 2011; Huynh vd., 2008; Shewry & Hey, 2015; Ziegler vd., 2016). Bu durum da tam tahıllı ekmeklerin İBS hastaları tarafından kullanılabilirliğini kısıtlamaktadır.

Ekşi hamur fermantasyonu ile üretilen ekmeklerdeki FODMAPs değişiklikleri ile ilgili bugüne kadar çok az çalışma yapılmış olup (Pejcz vd., 2019; Menezes vd., 2019; Li vd., 2020; Siyi vd., 2021; Fang vd., 2021; Laurent vd., 2021; Radoš vd., 2022; Kulathunga vd., 2023; Borowska vd., 2023) ve yapılan çalışmaların çok azında FODMAPs azaltımı yönünden etkili olan LAB türleri belirlenerek starter kültür oluşturma çalışmaları yapılmıştır (Li vd., 2020; Fang 2021). Genellikle üretilen ekmeklere ekşi hamur doğrudan ilave edilmiştir (Falony vd., 2006).

Bu çalışmada fruktan miktarı azaltılmış fonksiyonel ekmek üretimi amacıyla Güney Marmara bölgesinde 5 farklı ilin 2 farklı üreticisinden ticari maya karıştırılmamış ekşi hamur örnekleri toplanarak bu hamurlardan fruktan miktarını azaltma potansiyeli olan laktobasil suşları izole ve karakterize edilmiştir. Fruktan azaltıcı özelliği olduğu belirlenen laktobasil izolatları kullanılarak fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş ekmekler üretilmiş ve bu ekmeklerin fizikokimyasal, mikrobiyolojik, reolojik ve duyuasal özellikleri ticari ekmek mayası kullanılarak üretilen ekmek örnekleri ile karşılaştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Ekşi Hamurun Tarihçesi

Ekşi maya fermentasyonunun kökeninin Nil, Dicle ve Fırat nehirlerinin vadileri de dahil olmak üzere Doğu Akdeniz bölgesinin yarım daire şeklindeki bir alanı ifade eden ve “Bereketli Hilal” olarak da bilinen bölgede olduğu ortaya çıkmıştır (Gänzle, 2014; Skov, 2019). Ekşi hamur ve diğer fırıncılık ürünlerinin tarihi, medeniyetin gelişimi, özellikle tarım uygulamalarının yaygınlaşması ile başlamakta ve günümüze kadar devam etmektedir (Cappelle vd., 2012). En eski mayalı ve fermente ekmeğe ilişkin veriler İsviçre'deki bir kazıda ortaya çıkmış ve 5.000 yıldan daha eski bir döneme dayandığı bildirilmiştir (Währen, 2000). Mısırlılar, un ve su karışımının bir süre fermentasyona bıraktıktan sonra elde edilen hamurun pişirilerek ekmek yapılmasının, fermentasyona tabi tutulmadan taze hamur ile pişirilerek elde edilen ekmeklerin daha yumuşak ve hafif ekmekler olduğunu keşfetmişlerdir. Daha sonra, Mısır'daki ekmek hamurunun mikroskobik inceleme ve asitlik ölçümleri, ekmek hamur fermentasyonunun mayalar ve laktik asit bakterileri tarafından gerçekleştirildiğini göstermiştir (Brandt, 2005). Bu sayede ekmek üretiminde ekşi hamurun kullanımı keşfedilmiştir. Dönemin en iyi buğday ununa sahip olan Mısırlılar ekmek yapımı için yenilikçi araç gereçler keşfederek yüksek derecelere sahip fırınlar kullanmışlardır (Cappelle vd. 2012).

Ekşi hamurlu ekmek, 19. yüzyıla kadar Avrupa'da yaygın olarak üretilen başlıca ekmek çeşidiyken zamanla ticari ekmek mayası (*Saccharomyces cerevisiae*) daha geniş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Ekşi hamur mayalı ekmek hala dünyanın birçok yerinde, özellikle çavdar ekmeğinin yaygın olduğu ülkelerde popülerliğini korumaktadır (Carnevali vd., 2007; Gänzle, 2014; Skov, 2019).

2.2. Ekşi Hamur Yapım Yöntemleri

Unlu mamuller, çok fazla çeşit içeren heterojen bir ürün grubudur. Bununla birlikte, hepsi tahıl unundan elde edilen gıdalar olduğundan ortak ürün matriksine dayalı olarak unlu mamulleri tanımlamak mümkündür (Cauvain & Young, 2006). Unlu mamullerde genel olarak ortak noktalar kullanılan temel bileşenlerdir. Bu temel bileşenler buğday

unu veya daha az yaygın olarak çavdar unu, su ve mayalama maddeleridir. Teknolojik işlemler farklılık gösterse de her biri karıştırma, mayalama ve fırınlamayı içermektedir. Birbirini takip eden bu aşamalar, unun veya farklı un türlerinin bir karışımının iştah açıcı ve sindirilebilir bir gıdaya dönüşmesini sağlamaktadır.

Tüketicinin damak zevkine hitap eden mayalı unlu mamullerin üretiminde kullanılan içerik seçimi oldukça önemli bir kriterdir. Bunun en temel örneği, arpa ve çavdar unları işlenebilir bir hamur sağlasa da fırıncılık sektöründe hacim gelişimi açısından en iyi sonuçların her zaman buğday unuyla alındığı uzun zaman önce fark edilmiştir. Özellikle de *Triticum durum* ve *T. aestivum* türlerinin tahıl teknolojisinde en üstün yapıya sahip olduğu görülmüştür (Corsetti vd., 2001).

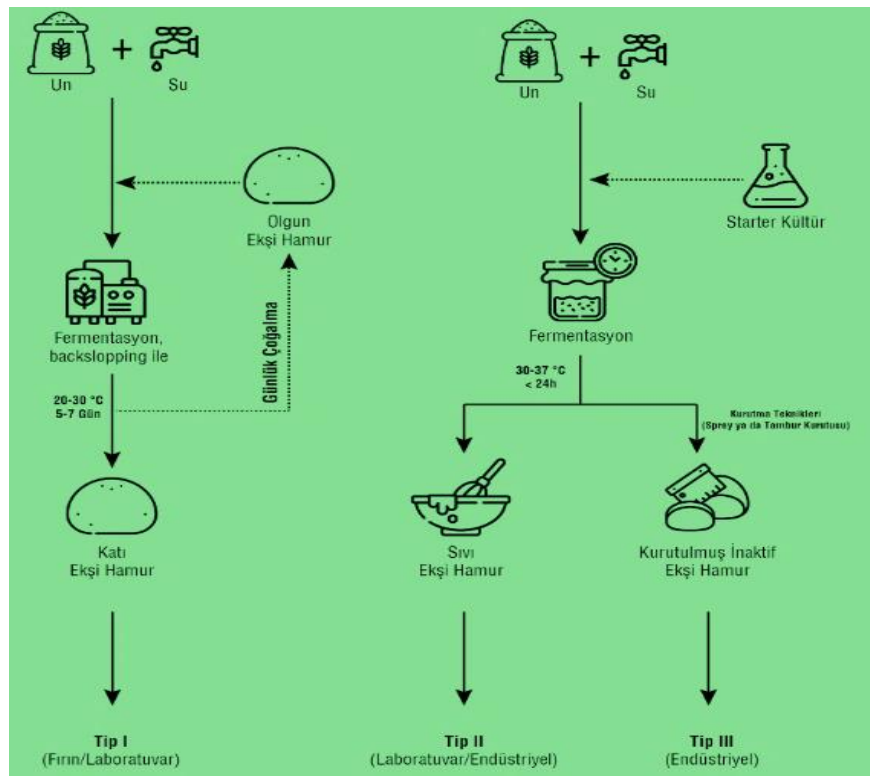
Ekşi hamur teknolojisinde ortaya çıkan ürünlerde en ayırt edici özellik duyusal olarak baskın ve farklı bir yapıdır. Aynı zamanda raf ömrünü uzatması nedeniyle de ekmek yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekşi hamur kullanılarak ekmek yapımı eski bir biyoteknolojik süreçtir ve birçok ülkede uygulanan çeşitli protokoller bulunmaktadır. Uygulanan teknoloji temel alınarak, ekşi hamurlar tip I, tip II ve tip III (Şekil 2.1) olmak üzere üç farklı çeşide ayrılmıştır (Böcker vd., 1995).

Tip I ekşi hamur, genellikle sert bir hamur kullanılarak ve geleneksel bir yöntemle üretilmektedir. Bu yöntem, ilk hamurda zaten bulunan mikrobiyal suşlar tarafından başlatılan spontan fermentasyonla karakterize edilmekte ve oda sıcaklığında (20-30 °C) gerçekleştirilmektedir (Nionelli vd., 2014; Stolz vd., 1995, Gänzle vd., 1998). İlk hamur, sadece un ve su kullanılarak veya başka bir mikroorganizma bakımından doğal olarak zengin olan bir başka hammadde eklenerek hazırlanabilmekte ve ticari ekmek mayası eklemeksizin hamurun kabarması sağlanmaktadır. Fermentasyonun son adımında ekşi hamur kabartma ajanı olarak kullanılmakta ve bu nedenle birçok mikrobiyal suş içeren doğal bir başlangıç kültürü olarak düşünülmektedir (Hammes, 1991).

Tip II ekşi hamur ise tek bir fermentasyon adımında sadece LAB veya mayalar birlikte kullanılarak gerçekleştiği için "endüstriyel yöntem" olarak bilinen bir süreçle

üretilmektedir (De Vuyst vd., 2014). Başlangıç kültürünün eklenmesi geleneksel ekşi hamurdan daha hızlı bir şekilde hamurun pH'sını düşürmektedir. Bu nedenle bu tür hamurda genellikle *Lactobacillus amylovorus*, *L. panis*, *L. pontis* ve *L. reuteri* gibi asit toleranslı LAB'lar kullanılmaktadır (Huys vd., 2013; Gänzle vd., 1998; Stolz vd.,1995).

Tip III ekşi hamur, Tip II ekşi hamurun stabilize edilmiş formu kurutulularak üretilmektedir. Başlangıç kültürünün seçimi, un-su karışımının pH'sını hızla düşürebilme kapasitelerine ve/veya özel tatlar üretebilme yeteneklerine dayanmaktadır (De Vuyst vd., 2014). Ticari olarak satışa sunulan bazı tip III ekşi hamurlarda mikrobiyotanın canlılığı kesin değildir ve bu nedenle bu tür ürünler genellikle son ürünlerin dokusunu ve aromasını iyileştirmek amacıyla daha kullanışlı olmakta, ancak mayalanmayı sağlamak için ticari ekmek mayası kullanımını gerektirmektedir (Stolz vd.,1995).



Şekil 2.1. Ekşi hamur ekmek yapımı yöntemleri (Stolz vd., 1995)

2.3. Ekşi Hamur Üzerinde Etkili Olan Faktörler

Ekşi hamur basitçe, buğday unu ve suyun karıştırılarak laktik asit bakteri ve maya türleri ile fermente edilmesiyle oluşmaktadır. LAB ve maya türleri, soluduğumuz havada ve unda doğal olarak bulunmakta bu nedenle, un-su karışımında gelişerek hamurun mayalanmasını sağlamaktadır. Kullanılan un çeşidi, unun nem miktarı, ortam sıcaklığı, tuz miktarı, pişirme süresi ve maya çeşidi gibi önemli faktörler ekmek yapım süreci ile ekmek kalitesi ve tekstürel özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir (Arendt vd., 2007).

Un çeşidi: Farklı unlar farklı tatlar üretmekte ve bu durum da ekşi hamurun tadını etkileyebilmektedir. Ekşi hamurlu ekmek geleneksel olarak tam buğday unu kullanılarak üretilmekte, ancak beyaz unla veya her ikisinin kombinasyonu ile de üretilmektedir. Tam buğday unu kullanıldığında besin içeriği zengin ve lezzetli ürün olmasına karşın mayalama prosedürü daha zor gelişebilmektedir (Arendt vd., 2007). Ayrıca kullanılan un çeşidi, farklı mikroorganizmaların ekşi hamur ortamına girmesine de yardımcı olmaktadır (Reese vd., 2020).

Nem (hidrasyon) düzeyi: Mayadaki su ile unun oranını ifade etmektedir. Yüksek nem düzeyi ekşi mayayı daha esnek ve kolay çalışabilir hale getirmekte, ancak ekmeğin yapısı daha yoğun bir kıvamda olabilmektedir. Daha düşük nem düzeyi ise ekşi mayayı daha elastik hale getirmekte ve ekmeğin daha iyi kabarmasını sağlamakta, ancak mikroorganizmaların çalışmasını zorlaştırabilmektedir. Hidrasyon, özellikle besin maddelerinin ve proteolitik enzimlerin taşınmasında, suyun difüzyonu yoluyla mikrobiyal ekoloji ve metabolik işlevler için önemli bir rol oynamaktadır (Arendt vd., 2007; Calvert vd., 2021).

Sıcaklık: Ekşi hamur ortamındaki her bir mikroorganizma türünün farklı optimal gelişme sıcaklıkları olması nedeniyle hamurun mikrobiyal çeşitliliğini ve miktarını etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Vrancken vd. (2011)'nin yaptığı çalışmada *Leuconostoc citreum*'un 23°C'deki düşük sıcaklıklara daha uyumlu olduğu ve fermantasyonlarda baskın özellik gösterdiği, *Lb. fermentum* veya *Lb. plantarum*'un ise

sırasıyla 30°C- 37°C ve 30°C'lik daha yüksek sıcaklıklarda ekşi hamur fermentasyonunda baskın hale geldiği, aynı durumun mayalar için de geçerli olduğu belirtilmiştir. *Candida humilis* veya *S. cerevisiae*'nin optimal gelişme sıcaklığı 27-28°C iken, *Pichia kudriavzevii* veya *Torulaspora delbrueckii* 35°C veya daha yüksek sıcaklıklarda gözlemlenmiştir (Vrancken vd., 2011). Bu nedenle, mevsimsel sıcaklık dalgalanmaları ekşi hamur mikrobiyotasının dinamiklerini etkileyerek ve ürün özelliklerinden sorumlu olmaktadır (De Vuyst vd., 2017).

Zaman: Hamurun fermente olma süresi ekmeğin lezzetini ve dokusunu etkilemektedir. Daha uzun bir fermentasyon süresi ekmeğe daha fazla lezzet katabilmekte, ancak ekmeği daha ekşi yapabilmektedir (De Vuyst vd., 2017).

Tuz: Fermentasyon sürecini kontrol etmeye yardımcı olmakta ve ekmeğe lezzet katmaktadır. Hamurdaki yüksek tuz içeriği fermentasyon sürecini yavaşlatırken, daha düşük tuz içeriği hızlandırmaktadır. Ekşi mayalı ekmeğin ideal tuz içeriği yaklaşık %2 düzeyindedir (Minervini vd., 2014).

Pişirme: Pişirme süreci de ekmeğin kabarmasını ve dokusunu etkileyebilmektedir. Daha yüksek bir pişirme sıcaklığı ekmeğe daha gevrek bir dış yüzey, daha düşük bir pişirme sıcaklığı ise daha yumuşak bir iç yüzey sağlamaktadır. Ayrıca uçucu bileşiklerin oluşmasında da katkıda bulunmaktadır (Lau vd., 2021).

Bu faktörlere ek olarak, kullanılan ekşi hamurun başlangıçtaki mikrobiyal kalitesi de oldukça önemlidir ve ekmeğin lezzetini ve dokusunu etkileyebilmektedir. İyi kaliteli bir ekşi hamurun kullanılması ekmeğe kompleks bir tat kazandırabilmekte, ayrıca ekmek mikrobiyotası yararlı bakteri ve mayalardan oluşabilmektedir (Bamforth, 2009; Hartmann & Voigt, 2018; Skov, 2019; White, 2019).

2.4. Ekşi Hamur Mikrobiyotası

Ekşi hamur mikrobiyotasınca oluşturulan fermentasyon süreci genellikle LAB tarafından, çoğunlukla heterofermentatif *Lactobacillus* türlerinin baskın olduğu şekilde

gerçekleşmektedir (Van Kerrebroeck vd., 2016; Hüttner vd., 2010; Moroni vd., 2011; Viiard vd., 2016; Lhomme vd., 2015). Ancak, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus* ve *Weissella* gibi diğer bakteri türleri de bulunmaktadır (Fujimoto vd., 2019; Yan vd., 2019). Ayrıca, ekşi hamurdaki bakteri türlerinin sayısı maya türlerinden daha fazladır ve genellikle 100:1 düzeyinde bir oranda bulunmaktadır (Arici vd., 2017; Corsetti vd., 1998). En yaygın türler *Lb. sanfranciscensis*, *Lb. plantarum*, *Lb. brevis*, *P. pentosaceus*, *Lb. paralimentarius* ve *Lb. fermentum*'dur (Van Kerrebroeck vd., 2016; Hüttner vd., 2010).

İnsanlar binlerce yıldır ekşi hamur ortamında bulunan LAB'ları kullanarak ekmek yapmışlardır. Ekşi hamurun geçmişi çok eski olsa bile biyolojik çeşitliliğin sadece küçük bir kısmı karakterize edilmiştir. LAB, ekzopolisakkaritler ve birkaç enzime ek olarak organik asit üretimi nedeniyle hammadde pH'sını hızla düşürebilmektedir. Bu da gelişmiş bir raf ömrü ve mikrobiyal anlamda güvenilir bir ürün ile sonuçlanmakta, nihai ekmeğin dokusunu ve duyuşal profilini geliştirmektedir (Ravyts & Vuyst, 2011).

Laktik asit bakterileri genellikle bitkiler, et ve süt ile ilişkilendirilen çeşitli bakterilerden oluşan bir gruptur (Schillinger & Lücke, 1987; Jay, 1986; Kandler & Weiss, 1986; Sharpe, 1981; Hastings & Holzapfel, 1987; Fujisawa vd., 1984). LAB, fermentasyonlarının son ürününe dayalı olarak homofermentatif LAB ve heterofermentatif LAB olarak gruplandırılmaktadır.

Homofermentatif LAB, glikoz fermentasyonunun ana ürünü olarak laktik asit üretmektedir (Ripari vd., 2016b). Homofermentatif LAB daha fazla laktik asit üretmekte, bu da pH'ı düşürerek ve toplam titre edilebilir asiditeyi (TTA) artırmaktadır (Corsetti vd., 1998). Heterofermentatif LAB, glikozun fermentasyonundan laktik asidin yanı sıra karbondioksit, asetik asit ve etanol gibi birçok ürün üretebilmektedir. Homofermentatif LAB, aldolaz enzimine sahiptir ve glikozu heterofermentatif LAB göre daha fazla laktik aside fermente edebilmektedir. Heterofermentatif LAB ise alternatif pentoz monofosfat yolunu kullanmakta glukozun fermentasyonu sırasında fosfoketolaz enzimiyle altı karbonlu şekerleri (heksozları) beş karbonlu şekerlere (pentozlar) dönüştürerek bu süreçte son derece aromatik ve lezzet artırıcı maddeler olan

aldehit ve diasetil üretebilmektedir (Jay, 1986; Singleton & Sainsbury, 1987; Frosbisher vd., 1974).

Ekşi hamur mikrobiyotasındaki çeşitlilik ve etkileşimler, ekşi hamurda oluşan mikrobiyal metabolitleri etkileyen en önemli unsurlardır. Ekşi hamur mikrobiyal yapısının ana üyeleri olan LAB ve mayalar arasında ilginç bir simbiyoz ilişki bulunmaktadır. Bu spesifik, karmaşık ve dinamik mikrobiyal simbiyoz, homo- ve hetero-fermentatif LAB, mayalar, asetik asit bakterileri ve diğer mikroorganizmalardan oluşmaktadır. Ek olarak, her bir ekşi hamur mikrobiyal topluluğunun kendine özgü üretim koşulları bulunabilmektedir. Örneğin, 25 °C yerine 37 °C'de fermentasyon ve 24 saatlik back-slopping işlemi ile elde edilen ekşi hamurlarda mayaların gelişme sınırlaması veya LAB'nin bu mikroorganizmalara göre rekabet gücünün artması nedeniyle mayaların neredeyse hiç bulunmadığı bildirilmektedir (Gänzle & Ripari, 2016; Vrancken vd., 2011).

Landis vd. (2021)'nin yaptıkları çalışmada, dört kıtadan 500 ekşi maya starterinin mikrobiyal çeşitliliği 16S ve ITS rRNA gen amplicon dizilemesi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırmada bu çeşitliliğin LAB, asetik asit bakterileri (AAB) ve *Saccharomyces cerevisiae* kombinasyonu şeklinde olabileceğini tespit edilmiştir. *L. sanfranciscensis*'in çoğu ekşi hamurda baskın bakteriyi oluşturduğu ve yaygın olan *L. plantarum* ve *L. brevis* ile antagonistik bir ilişkiye sahip olduğu, *L. plantarum* ve *L. brevis* türlerinin en yaygın takson çifti olduğu belirlenmiştir (Landis, vd., 2021).

2.4.1. Ekşi hamur tiplerine göre mikrobiyota

Tip I ekşi hamurların yaygın LAB türleri *Lactobacillus mindensis*, *Furfurilactobacillus rossiae* (önceden *Lactobacillus rossiae* olarak biliniyordu), *L. zymae*, *L. acidifarinae*, *L. hammesii*, *L. nantensis*, *Pediococcus acidilactici*, *Enterococcus hirae*, *E. faecalis*, *L. acidophilus*, *L. alimentarius*, *L. brevis*, *L. fructivorans*, *L. pentosus*, *Companilactobacillus paralimentarius* (önceden *L. paralimentarius* olarak biliniyordu), *L. paraplantarum*, *Lactiplantibacillus plantarum* (önceden *L. plantarum* olarak biliniyordu), *L. pontis*, *L. spicheri*, *L. sanfranciscensis*, *Leuconostoc mesenteroides*, *L. cremoris*, *Weissella confusa* ve *W. cibaria* olarak sıralanabilmektedir (Arendt vd., 2007;

De Vuyst & Vancanneyt, 2007). Bu tip ekşi hamurdan izole edilen mayalar ise *Pichia*, *Candida* ve *Saccharomyces* cinsleridir ve ekşi mayanın maya mikrobiyotasında 25'ten fazla tür bulunmaktadır (Arendt vd., 2007).

Tip II ekşi hamurlardan izole edilmiş LAB'ler ise *L. panis*, *L. pontis*, *L. acidophilus*, *L. crispatus*, *L. delbrueckii*, *L. fermentum*, *L. johnsonii*, *L. amylovorus*, *L. frumenti*, *L. mucosae*, *L. paracasei*'dir., *L. rhamnosus* ve *L. reuteri* olarak bilinmektedir. Bunların yanında *S. cerevisiae*, *Issatchenkia orientalis* ve *C. glabrata*, Tip II ekşi hamurlardan izole edilen maya türleri olarak belirtilmektedir (Arendt vd., 2007).

Tip III ekşi hamurları, asitleştirici, lezzet verici veya ekşi hamur için başlangıç olarak kullanılan kurutulmuş hamurlardır. Mikrobiyotası temel olarak kurumaya ve depolamaya dayanıklı LAB'den oluşmaktadır (De Vuyst & Neysens, 2005). Fermantasyonu gerçekleştirmek için saf LAB veya LAB ve maya karışımı kullanılmaktadır. Ekşi maya kültürünün seçiminde hamuru kısa sürede asitleştirme özelliği olan ve ekmek yapımında kullanıldığında kabul edilebilir aroma oluşturma yeteneğine sahip kültürler seçilmektedir (Küçükçuban, 2012). Bu amaçla, Tip II ve III ekşi hamur, ticari maya *S. cerevisiae* ilavesi gerektirmektedir (De Vuyst & Neysens, 2005).

2.4.2. Mayalar

Ekşi hamur, mayaların genellikle LAB ile ilişkili olduğu karmaşık bir biyolojik sistemdir (Corsetti vd., 1998; Banu vd., 2011; Rosenquist & Hansen, 2000). LAB, ekmeğin asitleşmesine, uçucu bileşenlerin oluşmasına ve diğer metabolik bileşiklerin üretimine katkıda bulunurken, mayalar genellikle kabartma ajanı olarak ve ekşi hamur ekmeğinin aroma bileşiği oluşumunda görev yapmaktadır (Yu vd., 2019). Ekşi hamur ortamında 30'dan fazla maya türü bulunabilmekle birlikte baskın maya türleri *Saccharomyces* ve *Candida* cinslerine dahildir (Carbonetto vd., 2018). Özellikle *Kazachstania exigua* (synonym (syn.); *Saccharomyces exiguus*), *K. humilis* (syn. *C. humilis* ve *Candida milleri*), *Pichia kudriavzevii* (syn. *Issatchenkia orientalis*) LAB ile ilişkilendirilen mayalardır (Corsetti vd., 1998). Ekşi hamur mikrobiyotasında bulunan türlerin sayısı ve türü, hamurun nem içeriği, kullanılan tahıl türü, mayalama sıcaklığı ve

un çeşidi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak büyük ölçüde değişmektedir (Gobbetti vd., 1995). İtalya'da genellikle durum buğdayı kullanılarak elde edilen kepekli un ekmeği üretiminde kullanılan mayaların %95'inden fazlasının *C. humilis* türüne ait olduğu tespit edilmiştir (Gullo vd., 2003). Ekşi hamurdaki diğer yaygın maya türleri arasında *Torulaspora delbrueckii* ve *Kazachstania exigua* yer almaktadır (De Vuyst vd., 2017; Sakandar vd., 2019; Carbonetto vd., 2018).

2.5. Ekşi Hamurun Ekmeğin Teknolojik Özelliklerine Etkisi

Yüzyıllar boyunca ekmek insanlar için önemli bir besin ögesi olmuştur. Farklı ülkelerde farklı un çeşitleri ile ürünler de yapılmaktadır. Örneğin; Akdeniz ülkelerinde buğday ekmeği ve kekler yaygınken, Almanya, Orta ve Doğu Avrupa, İskandinavya'da çavdar, buğday, arpa ve karışık unlar kullanılmaktadır (De Vuyst & Neysens, 2005). Amerika Birleşik Devletleri'nde "San Francisco" ekmeği, İtalya'da "Panettone" (De Vuyst & Vancanneyt 2007), Meksika'da "tortilla" ekmeği, Hintistan ve Pakistan'da "chappati" ekmeği, İskoçya'da "yulaf keki", Kuzey Amerikada "fonnycake" ekmeği ve Orta Doğu'da "pita" ekmeği tüketilmektedir (Küçükçuban, 2012).

Gerçekaslan vd. (2012) tarafından Türkiye için özellikle ekşi hamur açısından oldukça önemli olan "Vakfikebir" ekmeği üzerine çalışılmıştır. Araştırmada kullanılmak üzere Trabzon ilinin Vakfikebir ilçesinden 2, Akaçaabat ilçesinden 1, Trabzon merkezden 1 ve Maçka'dan 1 olmak üzere toplamda 5 farklı fırından ekşi hamur örneği alınmış ve Vakfikebir ekmek hamurlarından laktik asit bakterilerinin izolasyonu ve tanımlanması yapılmıştır. Buna göre, toplam 113 laktik asit bakterisi izole edilip tanımlanmıştır. İzolatların %54'ü *L. plantarum*, %13,2'si *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, %7,9'u *L. brevis*, %5,3'ü *L. pentosus*, %2,7'si *Leu. mesenteroides* ssp. *mesenteroides*, %2,7'si *L. fermentum*, %1,8'i *Leu. lactis*, %0,9'u *L. curvatus* ssp. *curvatus*, %0,9'u *Leu. mesenteroides* ssp. *cremoris*, %9,7'si *Lactobacillus* spp. ve %0,9'unun *Leuconostoc* sp. olduğu tespit edilmiştir.

Kotancılar vd. (2006) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, geleneksel yöntemlerle üretilen Trabzon Vakfikebir ekmeği laboratuvar koşullarında beyaz tava ekmeği olarak

modifiye edilmiş ve üretilmiştir. Bu ekmeklerin kalitesi üzerine ekşi hamurun fermentasyon süresi ve ekşi hamurun ilave edilmesinin etkisi incelenmiştir. Trabzon'un Vakfıkebir ilçesinden elde edilen ve 0, 5, 10 ve 15 saat süreyle fermente edilmiş ekşi hamurlar, 100 kg un üzerine farklı seviyelerde (%0, 10, 20 ve 30) ilave edilerek beyaz tava ekmekleri üretilmiştir. Üretilen ekmeklerin pH ve ekmek içi yumuşaklık değerleri analiz edilmiş ve 10-15 saat fermentasyon süresi ve %20-30 ekşi hamur ilavesi ile yapılan ekmeklerin ekmek içi yumuşaklık açısından yüksek kalitede olduğu belirlenmiştir. Fermentasyon süresi ve ekşi hamur ilavesi arttıkça, ekmek içi yumuşaklığında bir artış ve hamur ile ekmek pH değerlerinde bir azalma gözlenmiştir.

Plessas vd. (2011)'nin yaptığı çalışmada kefir daneleri içeren ekşi hamur eklenmiş ekmeğin aroma bileşenleri 5 günlük depolama süresi boyunca SPME GC-MS analizi ile takip edilmiştir. Ekmekler, (A) un bazında %20 w/w ve (B) un bazında %10 w/w kefir ekşi hamur ile yapılmış ve ticari ekşi hamurun %20 w/w (C) ve laboratuvarında starter kültürü eklenmeden hazırlanan ekşi hamurun (D) kullanıldığı ekmeklerle karşılaştırılmıştır. Tüm örneklerde depolama süresi boyunca uçucu bileşiklerde dramatik bir azalma gözlemlenmiş, ancak kefir ekşi hamurlu ekmekler (A ve B) depolama süresi boyunca daha karmaşık uçucu bileşen profillerine sahip olup, düşük kayıp oranları sergilemiştir. Toplam uçucu bileşiklerde esterlerin yüzdesinde farklılıklar (ekmekler A, B, C ve D için sırasıyla %6,2, %5,0, %2,8 ve %2) da gözlemlenmiştir. Müşteri odaklı duyu değerlendirmesi sonuçları, test edilen örnekler arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuş ve tüm depolama günlerinde en iyi sonuçların A ekmeğinde olduğu belirlenmiştir.

Tomić vd. (2023) çalışmalarında modern ve eski (spelt, emmer ve khorasan) buğday çeşitlerinin ekşi hamurlarının fermentasyon sürecindeki değişikliklerini ve ekmek yapımında mayalama ajanı olarak kullanılabilirliklerini incelemişlerdir. 6 saatlik fermentasyon sürecinde, ekşi hamur LAB ve maya sayıları, pH, TTA, proteolitik aktivite, reolojik ve elektroforetik profiller açısından karakterize edilmiştir. Rafine buğday unlu ekmeğin fiziko-kimyasal ve duyu özellikleri üzerine %25 ve %50 oranında ekşi hamur katkısının etkisi de araştırılmıştır. Tüm ekşi hamurlarda pH düşüşü, proteolitik aktivitede artış ve fermentasyonla gliadin ve glutenin parçalanması

gözlemlenmiş, ancak farklı un bileşimi ve mikrobiyal aktivite nedeniyle test edilen ekşi hamurlar reolojik özellikler ve ekmek yapım kalitesi açısından önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Genel olarak, eski buğday çeşitlerinin modern buğdaya kıyasla ekşi hamur ekmek yapımında büyük potansiyele sahip olduğu gösterilmiştir.

Alkay vd. (2023)'nin yaptıkları çalışmada ise, üç farklı LAB suşuyla karabuğday ekşi hamuru yaparak bu hamurun buğday ekmeği üzerindeki kalitesi belirlenmiştir. 24 saat fermentasyon sonrasında, mikrobiyolojik sayım, pH ve TTA değerleri ile karabuğday ekşi hamurlarının viskoelastik özellikleri incelenmiştir. Mikrobiyolojik sayımda en yüksek değeri sağlayan *Limosilactobacillus fermentum* 29GT-19 suşu, kimyasal olarak asitlenmiş kontrol karabuğday hamurunda gözlenmemiştir. pH değerleri 3,8 ila 4,6 arasında değişmiş, tüm ekşi hamurların elastik modülü (G') viskoz modülden (G'') daha yüksek bulunmuş ve reoloji grafiği ile asidite artışı arasında pozitif bir ilişki saptanmıştır. Hazırlanan karabuğday hamurları daha sonra buğday ununa %10 ve %20 (w/w) olarak eklenmiştir. Aynı zamanda kontrol ekmeği olarak ticari mayalı ekmek yapılmıştır. Ekmeğin kimyasal bileşiminde, *Levilactobacillus brevis* KCO48 (%20 karabuğdaylı hamur) ekşi hamur ekmeği en yüksek kül içeriğine (%1,26) ve nem içeriğine sahip olmuştur. Ancak çoğunlukla, ekmeğin kül içeriği düşük, nem miktarı ise ticari mayalı ekmeğe göre daha yüksek bulunmuştur. Ekmeklerin sertlik değerlerinin 11,48 N ile 31,34 N arasında sahip olduğu tespit edilmiştir. Karabuğday ekşi hamurunun konsantrasyonu arttıkça, ekmek sertliği artmıştır. En düşük sertlik (5,21 N) ticari mayalı buğday ekmeğinde belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, karabuğday ekşi hamurunun buğday ekmeği kalitesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.

Besin değeri yüksek gıdaların tercih edilmesi nedeniyle tam tahıl ve ekşi hamur ekmeği ürünleri üzerine ilgi artmaktadır. Bu nedenle Kulathunga vd. (2023)'nin yaptığı çalışmada, farklı starter kültürlerin ve taş değirmende öğütülmüş buğday unlarının ekşi hamur ekmeğinin besleyici özellikleri üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Üç farklı buğday çeşidinin karışımı taş değirmen kullanılarak tam tahıl ununa öğütülmüştür. Ekşi hamur ekmeği ile yapılan çavdar ve buğday unlarına starter kültür ilave edilerek yapılan ekşi hamur ekmeği arasında diyet lifi içeriği, arabinozilan içeriği, toplam nişasta içeriği

ve protein sindirilebilirliği açısından önemli farklılıklar ($p<0,05$) gözlemlenmiştir. Çavdar unu ve starter kültürü ile yapılan çoğu ekşi hamur örneğinde daha yüksek protein sindirilebilirlik değerleri gözlemlenmiştir. Ayrıca protein sindirilebilirliği, iri partiküllerle güçlü bir negatif korelasyon ($r = -0,85$) ve ince partikül boyut fraksiyonuyla pozitif bir korelasyon ($r = 0,70$) göstermiştir. Bu sonuçlar, seçilen başlatıcı kültürlerin ve istenen partikül boyutuna sahip hammadde kullanımının ekşi hamur ekmeğinin besleyici özelliklerini iyileştirebileceğini ve fırıncılık endüstrisinde potansiyel uygulama sağlayabileceğini göstermiştir.

Lai vd. (2023)'nin yaptığı çalışmada siyah pirinç ekşi mayası ekmeği üretmek için Tip III yöntemi kullanılmıştır. Siyah pirinç ekşi mayası tozuna dönüştürülen siyah pirinç ekşi hamurunu fermente etmek için *Levilactobacillus brevis* LUC 247 kullanılmıştır. Farklı oranlarda siyah pirinç tozu (%0-60) içeren ve farklı sürelerde (0-48 saat) fermente edilmiş ekşi mayalı siyah pirinç ekmeğinin bileşim analizi, antioksidan kapasitesi ve depolama stabilitesi tartışılmıştır. Sonuçlar, siyah pirinç ekşi hamurunun 12-36 saatlik fermantasyon sırasında maksimum laktik asit bakteri sayısına (9 log kob/g) sahip olduğunu göstermiştir. TTA, laktik asit ve asetik asit verimleri, fermantasyon süresi ve siyah pirinç tozu oranı ile, toplam antosiyanin içeriği ve antioksidan kapasitesi ise fermantasyon süresi ile birlikte artmıştır. Ekşi mayalı siyah pirinç ekmeğinin sertliği ve çiğnenebilirliği, siyah pirinç ekşi mayası tozu içeriği ile pozitif olarak ilişkilendirilmiş ve depolama süresi ile artmıştır.

Yukarıda bahsedilen birçok çalışmada, farklı yöntemlerle elde edilen ekşi hamur ile ekmek üretiminde, LAB kullanımının birçok parametrede farklı sonuçlara neden olduğu görülmüştür. Bu yüzden LAB ve ekşi hamur çalışmaları oldukça geniş bir veri çeşitliliğine sahiptir. Ayrıca LAB ve ekşi hamur çalışmaları her zaman güncelliğini koruyarak yeni araştırmaların yapılmasında oldukça önemli bir yere sahip olacaktır.

2.6. Ekşi hamur mikrobiyotasının ekmeğin fonksiyonel özelliğine etkisi

Tüketici sağlığı açısından fonksiyonel gıda ürünleri de dahil olmak üzere gıdanın sağlıkla ilgili belirli fizyolojik fonksiyonlarına yönelik artan bir ilgi vardır. Ancak,

başarılı bir gıda için iyi duyuşal özellikler hala bir ön koşuldur ve tüketiciler aynı zamanda gıdanın güvenli olmasını ve kullanışlılık sağlamasını beklemektedir. Ekmek, beslenmenin temel gıdalarından biridir ve dünya çapında birçok ülkede temel gıda maddesi olarak kabul edilmektedir (Yılmaz & Yüksel, 2023).

Ekşi hamur fermentasyonu, ekmeğin lezzetini ve yapısını iyileştirmede önemli bir role sahiptir. Bununla birlikte, ekşi hamur fermentasyonunun çavdar, yulaf ve buğday ürünlerinin besin özelliklerini iyileştirmeye yönelik potansiyelinin önemi günden güne artmıştır. Ekşi hamur fermentasyonu tahılların fonksiyonel özellikleri üzerine; tam tahıllı, lif açısından zengin veya glutensiz ürünlerin dokusunu ve lezzetini iyileştirerek, çeşitli biyoaktif bileşikleri stabilize ederek veya seviyelerini artırarak, nişasta biyoyararlanımını (düşük glisemik indeksli ürünlerin üretimi) geciktirerek ve mineral biyoyararlanımını arttırarak etki edebilmektedir. Ayrıca ekşi hamur fermentasyonunun fitokimyasalları (antioksidanlar vb.) etkilediği, gluten yapısını parçalandığı ve tuz tüketimini azalttığı bilinmektedir (Gobbetti vd., 2019; Ribet vd., 2023). Ekşi hamur fermentasyonunun fruktan miktarını azalttığı, bunları fruktoza, sakkaroz ve ardından laktik aside indirgediği kaydedilmiştir (Menezes vd., 2018). Uzun süreli ekşi maya fermentasyonunun, FODMAPs seviyelerini %90'a kadar azalttığı (Ziegler vd., 2016) ve İBS semptomlarının hafiflemesine yardımcı olduğu gösterilmiştir (Gobbetti vd., 2019). Ekşi hamur fermentasyonu, çavdar ve buğday ekmeği gibi gıdaların lezzetini ve yapısını geliştirmede etkin bir rol oynamaktadır (Brummer & Lorenz, 1991). Ekşi hamur fermentasyonunun çavdar, yulaf ve buğday ürünlerinin beslenme özelliklerini iyileştirme konusundaki önemli potansiyeli, geçmiş yıllarda pek ilgi görmese de teknolojinin gelişmesi ve sağlıklı beslenmenin önemi ile beraber son yıllarda artmıştır.

Ekşi hamur kullanımının, fırınlanmış ürünlerin reolojik özelliklerini, duyuşal özelliklerini ve raf ömrünü etkilediği, aynı zamanda fonksiyonel ve besleyici özellikler ortaya çıkardığı yapılan birçok çalışma ile gösterilmiştir (Gobbetti vd., 2014; Zannini vd., 2012; Zhao vd., 2016).

Diyet lifi (DL) tüketimi çeşitli hastalıkların önlenmesi veya tedavisi ile ilişkilendirilmiştir (Canja vd., 2016; McRae vd., 2018; Nirmala vd., 2020). Unlu mamullere toplam lif içeriğini artırmak için selüloz eklenmesi gibi çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Fuckerer vd., 2016; Lauková vd., 2017; Ren vd., 2020; Atzler vd., 2021; Correa vd., 2015). Esas olarak tahıllarda bulunan selüloz da dahil olmak üzere çözünmeyen lifler, kan şekerini düşürme, kardiyovasküler riskleri ve koroner arter hastalığını önleme, bağırsak hareketlerinin artması, toksik bileşikler ve bağırsak mukozası arasındaki temas süresini azaltma, bağırsak geçişini hızlandırma, detoksifikasyon sürecine yardımcı olma ve kilo verme gibi belirli sağlık yararlarını ortaya koymuştur (Ioniță-Mîndrican vd., 2022; Lattimer & Haub, 2018; McRorie vd., 2017).

Son epidemiyolojik bulgular özellikle tam tahıl ürünlerinin çeşitli batin hastalıklarına (örn: apandisit, divertiküler hastalık, ülseratif kolit, polipler, kalın bağırsak kanseri, özofajit, siroz, kronik pankreatit, Crohn hastalığı, rektal aşırı duyarlılık, anal fissürler) karşı koruyucu bir rol oynadığını göstermiştir (Jacobs vd., 1998; Quinn, 2011; Pereira vd., 2002).

DL'in önemini anlatan ve beslenme açısından önemini kanıtlamış birçok çalışma yapılmıştır. Bol kalorili, bol proteinli, bol yağlı, lifli gıdalardan fakir, kızartılmış gıdalar yönünden zengin bir beslenme şekli olan Batı diyetinde DL tüketimi günde 20 g'dan az iken, önerilen günlük alım miktarı 25-30 g'dır (Cummings & Frolich, 1993). Bu nedenle, Batı diyetindeki düşük lif seviyeleri, dış çürüğünden kabızlığa, obeziteden kolorektal kanser, koroner kalp hastalığı ve tip 2 diyabete kadar uzanan bir dizi hastalığa katkıda bulunmaktadır. Son yıllarda, DL'nin bilinen sağlık faydaları nedeniyle, çeşitli gıdaların lif içeriğini artırmak ve lif içeren gıdalar tüketmek bir trend haline gelmiştir. Sonuç olarak, yüksek lifli ürünlerin sayısı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Ancak, lif içerikli hammaddeler ekmek üretiminde kullanıldığında, tüketici tarafından kabul edilebilir yüksek kaliteli ve yüksek lifli ürünler elde etmek için çeşitli işlem parametrelerinde ayarlamalar yapılması gerekmektedir.

Ekmek yapımına, inülin, yulaf lifi gibi diyet lifi kaynakları ve ekşi hamur gibi bazı bileşenlerin eklenmesiyle tarifi değiştirilmesi, nihai üründe glisemik indeks, protein kalitesi gibi besin içerikleri ile bazı minerallerin biyoyararlanımını etkileyebilmektedir (Lopez vd., 2003; Poutanen vd., 2009; Tucker vd., 2010). İnülin, sarımsak, soğan, pırasa, hindiba ve muz gibi birçok sebze ve meyvede doğal olarak bulunan çözünür diyet lifinin bir parçasıdır. Bu karbonhidrat, bir β -D fruktoz polimeridir. Bazı veriler inülinin lipid metabolizmasını etkilediğini ve bazı minerallerin bağırsaktan emilimini artırdığını bildirmiştir (Cieřlik vd., 2005; Daubioul vd., 2000). Yulaf lifi, selüloz, hemiselüloz yapısında çözünmeyen diyet lifinden ve β -glukan yapısında çözünür diyet lifinden oluşmaktadır. Yulaf lifinin hipolipidemik etkileri birçok araştırma makalesinde bildirilmiştir (Berg vd., 2003; Czerwiński vd., 2004).

Kopeć vd. (2011)'nin yaptığı çalışmada, inovatif fırınlama teknolojisi olan kısmen pişirilmiş donmuş (PBF) ekmeğe bazı malzemelerin eklenmesinin (diyet lif, inülin, yulaf lifi ve ekşi hamur) farelerde proteinin biyo-yararlanabilirliği, lipid profili ve bazı mineral içeriği üzerindeki etkisini değerlendirilmiştir. Doğrudan ve kısmen pişmiş dondurulmuş ekmeğe lif eklenmesi, tüm gruplarla karşılaştırıldığında proteinin toplam sindirilebilirliğini önemli ölçüde azaltmıştır ($p < 0,05$).

Ekşi hamur fermentasyonu, ekmeğin glisemik indeksini (GI) düşürerek çoğunlukla organik asitlerin oluşumu ve diğer tamamlayıcı mekanizmalar aracılığıyla nişasta sindirilebilirliğini azaltmaktadır. Tam buğday ekmeğinin ortalama GI değeri yaklaşık 71 iken, 30 gram porsiyon için glisemik yükü (GL) 9'dur. Aynı değerler beyaz buğday unu ekmeği için sırasıyla yaklaşık 71 ve 10'dur. Ekşi hamur buğday ekmeğinin GI değeri ise yaklaşık 54, 30 gram porsiyon için GL değeri ise 8'dir (D'Alessandro & De Pergola, 2014). Harvard Tıp Okulu önerisine göre, GI değeri ≤ 55 olan gıdalar düşük, 56 ile 69 arasında olanlar orta ve ≥ 70 olanlar yüksek GI'lı gıdalar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu nedenle, ekşi hamur buğday ekmeği düşük GI'lı bir gıda olarak kabul edilmektedir (D'Alessandro & De Pergola, 2014).

Kepekli gıdalar, kalsiyum, potasyum, magnezyum, demir, çinko ve fosfor dahil olmak üzere diyetle iyi bir mineral kaynağı sağlamaktadır. Kepekli gıdalarda bulunan magnezyumun, tip 2 diyabet riskini azaltmaktadır. Bununla birlikte fitatlar, bitkilerde doğal olarak bulunan bir bileşiktir. Ekmek gibi tahıl ürünlerinde yüksek miktarda bulunur. Fitat, bağırsaklardan mineral emilimini engelleyen bir etkiye sahiptir. Ayrıca inositol hekzafosfat, bir fitat türüdür. Ekşi hamur, inositol hekzafosfat oluşumunu artırabilir. Bu, ekmeğin içindeki minerallerin biyoyararlılığını daha da sınırlayabilir. Beslenmeyi engelleyen bileşenlerden biri olarak değerlendirilen fitatlar ekşi hamur fermantasyon sürecinde tahıllarda bulunan enzimler tarafından parçalanarak mineral emilimi arttırabilmektedir. Fermantasyon sırasında ortamın pH'ın 5,5'e kadar hafifçe düşmesinin, unda bulunan endojen fitaz tarafından fitat içeriğini %70'e kadar azaltmak için yeterli olduğunu göstermektedir (Leenhardt vd., 2005). Fitaz aktivitesi, ekşi hamur fermantasyonu sırasında oluşan asidik ortamda hızlanmaktadır. Ayrıca mayalar (maya fitazının pH optimumu pH 3,5) fitatların hidrolizinde doğrudan görev almakta ve bu şekilde mineral biyoyararlılığını arttırmaktadırlar (De Vuyst vd., 2017).

Ekşi hamurdan izole edilen 50 adet LAB suşunun taraması, önemli bir fitaz üreticisi olmadığı belirlenmesine rağmen (Reale vd., 2007), diğer bazı çalışmalarda, ekşi hamur kökenli laktik asit bakterilerinin tek karbon kaynağı olarak sunulduğunda fitik asidi parçaladığı rapor edilmiştir (Shirai vd., 1994; Lopez vd., 2000). Yine de asit üretimi ve pH düşürme LAB'ların mineral biyoyararlılığını artırmak için kullandığı başlıca mekanizması olarak görülmektedir.

Lopez vd. (2001), kepeğin önceden laktik asit bakterileri ile fermantasyonunun fitatın parçalanmasını (%90'a kadar) ve magnezyum ve fosforun çözünürlüğünü artırdığını göstermiştir. Deney hayvanlarından ratlarda yapılan bir çalışmada ekşi hamur ekmek ile çinko, magnezyum ve demir emiliminin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Lopez vd., 2003).

2.7. Ekşi Hamur ve Frukthanlar

Oligosakkaritler, fruktooligosakkaritler (FOS), disakkaritler, monosakkaritler ve poliol (FODMAPs) bileşenleri içinde bulunan fruktanlar, kahvaltılık tahıllar, makarnalar veya bisküviler gibi yaygın olarak tüketilen ürünlerde hâkim olan FODMAPs grubunu temsil etmektedir. Ekmek çeşitlerinin tamamı dikkate alındığında çavdar ekmeği fruktanların en zengin kaynağıdır (Whelan vd., 2011).

Tahıllar ve tahıl ürünleri, dengeli bir beslenmede temel karbonhidrat kaynakları olup sağlığın devamı ve hastalıkların önlenmesi etkilerinin yanında aynı zamanda FODMAPs bileşikleri yönünden de zengindirler (Biesiekierski vd., 2011). FODMAPs bileşikleri ozmotik özellik göstererek bağırsak içine suyu çekmektedir. Bağırsak lumenine girmiş ve sindirilmemiş FODMAPs iki yol ile lumende distansiyona neden olmaktadır. İlk olarak, bağırsak lumeni içine sıvı çekmekte ve ozmotik basıncı artırmaktadır. İkinci olarak ise kolon bakterileri tarafından fermentasyona uğramaktadır. Bu yüzden bu karbonhidratlar “fermente edilebilir” olarak tanımlanmaktadır (Gibson & Shepherd, 2010; Staudacher vd., 2012). Fruktanlar ise, bir glikoz ucu ve fruktozil-fruktoz bağları yoluyla bağlanan fruktoz moleküllerinden oluşur. Tahıl fruktanları, aynı anda hem β -(2-1) hem de β -(2-6) bağlarına sahip olan dallanmış yapıdadır (Verspreet vd., 2015). Sebzelerde bulunan inülin tipi fruktanın yapısı ile karşılaştırıldığında tahıl fruktanlarının yapısı daha karmaşıktır (Gänzle, 2014; Joran vd., 2015). Medcalf ve Cheung (1971), buğday tanelerinin sırasıyla β -(2-6) veya β -(2-1) bağlarının baskın olduğu en az iki fruktan serisi içerdiğini göstermiştir. Tahıl fruktanları farklı zincir uzunluklarına sahip bir dizi oligosakkaritten oluşmaktadır; dolayısıyla tipik moleküler kütle dağılım özelliklerine sahiptirler. Buğday unu fruktanlarının yaklaşık %50'si 3-5 arası polimerizasyon derecesine (DP) sahiptir (Nilsson vd., 1986). Ortalama DP yaklaşık 4'tür (Verspreet vd., 2012) ve maksimum DP 19'a ulaşabilir (Haskå vd., 2008). Tahıl fruktanları karmaşık bir molekül karışımıdır; bu moleküller sadece DP açısından farklılık göstermekle kalmaz, aynı zamanda farklı fruktan sınıflarına, fruktan yapısına da ait olabilmektedir. Bu karmaşıklık nedeniyle çoğu tahıldaki fruktanların detaylı yapısı henüz net değildir (Verspreet vd., 2015).

Fruktanlar, maya hücreleri tarafından salgılanan invertaz enzimi tarafından fruktoz ve glukoz'a hidrolize edilir. Daha önce yapılan araştırmalar, yeterli süre ve yüksek maya konsantrasyonları verildiğinde, tam buğday ununun içinde başlangıçta bulunan fruktanların %80 kadarının karıştırma ve fermantasyon sırasında invertaz etkisiyle parçalandığını göstermiştir (Verspreet vd., 2012). Maya invertazı, organizmanın periplazmik alanında bulunmakta ve fruktan ve sukrozu hücre dışında parçalayarak, ardından hidroliz ürünleri kolaylaştırılmış difüzyon yoluyla hücre tarafından alınmaktadır (Menese vd., 2002).

Fruktan parçalanması:

Fruktanlar, bir veya daha fazla fruktozil-fruktoz bağlantısının, bağlantıların çoğunluğunu oluşturduğu herhangi bir bileşik olarak tanımlanır. Bu, polimerik materyalin yanı sıra disakkarit inulobiyoz kadar küçük oligomerleri ifade etmektedir. Bu tanıma dahil olan, D-glukosil ikame edicileri içerebilir veya içermeyebilir. Oligomer ve polimer terimleri, fruktan araştırmacıları tarafından spesifik olarak karakterize edilebilen ve edilemeyen materyalleri ayırt etmek için kullanılmaktadır. Fruktanlar, bitkiler aleminde yaygın olarak dağılmıştır. Tek çeneklilerde, çift çeneklilerde ve yeşil alglerde bulunmaktadır. Fruktanlar moleküler yapı ve moleküler ağırlık bakımından farklılık göstermektedir. İnülin grubu, levan grubu ve dallı gruplar şeklinde üç ana tipe ayrılabilir. Bitki materyali ve gıda ürünlerinde fruktan ölçümü için çeşitli prosedürler tarif edilmiştir, ancak genel olarak bunların en iyi şekilde glikozun hidroliz olarak D-fruktoz ve D-glukozun ölçüldüğü yöntem kabul edilmektedir (Pontis, 1966).

Fruktanın parçalanması, bitkilerde ve mikroorganizmalarda yaygın olarak bulunan fruktan parçalayıcı enzimlerin varlığını gerektirmektedir. Klasik hamurda, ortalama 5–6 polimerizasyon derecesine sahip buğday veya çavdar unu fruktanlarının kısmi parçalanması maya (*S. cerevisiae*) invertaz enzimi (fruktanaz) ile sağlanmaktadır. Maya invertazının aktivitesi, FOS'un artan moleküler boyutu ile azalmaktadır, çünkü bu enzimler uzun zincirli substratlara uyum sağlayamazlar. Çoğu laktobasil türünün fruktan metabolizmasına, düşük DP'li fruktanların taşınması ve ardından hücre içi

hidrolizleri aracılık etmekte, bu nedenle buğday ve çavdardaki fruktanların yalnızca kısmi bozunması sağlanmaktadır (Verspreet vd., 2012; Loponen & Gänzle, 2018). Ayrıca fruktanlar, bağırsak bakterileri tarafından (bifidobakteriler ve *Faecalibacterium prausnitzii*) enerji kaynağı olarak kısa zincirli yağ asidi üretiminin sağlanmasında rol oynamaktadır. Düşük FODMAPs diyetleri genellikle diyet lifi alımını azaltarak sağlanmaktadır. Ancak bu şekilde bağırsakta bifidobakterilerin artması engellenmekte ve kısa zincirli yağ asitlerinin oluşumu azaltılmaktadır. Diyet lifi içeriğini azaltmadan düşük FODMAPs ekmeğinin üretimi için mevcut stratejiler; yavaş fermente olabilen laktik asit fermantasyonu veya hücre dışı fruktanaz ilavesidir. Bu şekilde üretilen ekmeklerin tüketiminde İBS semptomları hafifletilebilmektedir. Çoğu laktobasil türünde fruktan metabolizması, düşük DP'ye sahip fruktanların hücre içi hidrolizini takiben taşınması şeklinde gerçekleşmektedir. Bu durum da buğdayda bulunan fruktanların ancak kısmi parçalanmasını sağlamaktadır (Loponen, 2016; Loponen & Gänzle, 2018; Struyf vd., 2017). Bununla birlikte, tahıllar ve tahıl bazlı ürünler düşük FODMAPs içeriğine sahip olmasına rağmen bu gıdaların yüksek miktardaki tüketimleri onları günlük FODMAPs alımının önemli bir potansiyel kaynağı haline getirmektedir (Biesiekierski vd., 2011).

Farklı ekmeklerin FODMAPs içerikleri seçilen tahıl çeşidi, hamur hazırlama ve prosese bağlı olarak değişmekle birlikte en önemli faktörün fermantasyon olduğu ortaya konulmuştur. *S. cerevisiae* ile kısa süreli (0,5-3 saat) gerçekleştirilen fermantasyon sırasında protein ve FODMAPs da dahil olmak üzere tahıl bileşenlerinin bir kısmı sınırlı düzeyde hidrolize olmaktadır (De Vuyst vd., 2014; Gobbetti vd., 2016). Öte yandan ekşi hamur ile gerçekleştirilen uzun süreli fermantasyonda ilk aşamada mikrobiyal invertaz hızlı bir şekilde unda bulunan sakkarozu glikoz ve fruktoza parçalamakta (Gänzle, 2014) ve laktobasiller de bu glikoz ve fruktozu enerji kaynağı olarak kullanmaktadır (Gobbetti vd., 2005). Genel olarak, bütün fermente edilebilir karbonhidratlar (sakkaroz, maltoz, glikoz ve fruktoz) fermantasyonun ilk saatlerinde hızla tükenmekte, fakat daha yüksek polimerizasyon derecesine sahip karbonhidratlar (fruktanlar gibi) daha sonra kullanılmaktadır. Bu yüzden ekşi hamur fermantasyonu ile üretilen ekmeklerde FODMAPs bileşenleri belirgin şekilde azalmaktadır (Biesiekierski vd., 2011; Loponen

& Gänzle, 2018). Menezes vd. (2018)'nin yaptıkları bir çalışmada ekmekte bulunan FODMAPs'ın ekşi hamur ile etkileşimi araştırılmış, ekşi hamur ile fermente edilen ekmeklerde FODMAPs değerlerinin düşük olduğu belirlenmiştir. Ekmek üretiminde ekşi hamur ile fermentasyon süresinin 150 dakikaya çıkartılması fruktan miktarını önemli ölçüde azaltmıştır (Pejcz vd., 2019). Yapılan bir diğer çalışmada, ekşi hamur ile fermente edilen buğday ekmeklerinin FODMAPs içeriğinin (0,06 g/100 g), ticari maya ile fermente edilene (fruktan 0,23 g/100 g) kıyasla %74 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu ekmeklerin İBS semptomlarını hafiflettiği iki klinik çalışmada ortaya konulmuştur (Laatikainen vd., 2017; Pirkola vd., 2018). Yapılan bir diğer çalışmada ekşi hamur yöntemiyle hazırlanan çavdar ekmeklerinde (%62 azalma), mayalı çavdar ekmeklerine (%32 azalma) göre daha düşük fruktan içerikleri belirlenmiştir. Bunun, bakteriyel hidrolitik enzimlerin etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ekşi hamurda bulunan fruktoz, heterofermentatif laktobasillerin mannitol dehidrojenaz enzimleri ile mannitole dönüştürülebilmekte ancak konsantrasyonu mannitolü kullanan suşlar tarafından azaltılabilmektedir (Andersson vd., 2009; Biesiekierski vd., 2011; Lopenen & Gänzle, 2018). Literatürde genellikle FODMAPs bileşeni olarak fruktan üzerinde durulmuştur. Bunun başlıca nedeni tahıllardaki fruktan miktarının diğer fermente edilebilir şekerlerle kıyaslandığında % 0,6-7 gibi bir oranda olması (Henry & Saini, 1989; Huynh vd., 2008; Biesiekierski vd., 2011; Whelan vd., 2011; Laatikainen vd., 2016; Ziegler vd., 2016; Costantini vd., 2007; Haskå vd., 2008; Knudsen, 1997; Karppinen vd., 2003), önemli bir fermente edilebilir şeker olarak fermentasyonunun ilk aşamalarında CO₂ üretiminin önemli bir bölümünü oluşturması (Struyf vd., 2017), diyet lifi olarak kabul edilmesidir (McCleary, 2010; Roberfroid vd., 2010).

Çoğu laktobasil türünde fruktan metabolizması, düşük polimerizasyon derecesine sahip fruktanların hücre içi hidrolizini takiben taşınması şeklinde gerçekleşmektedir. Bu durum da buğdayda bulunan fruktanların ancak kısmi parçalanmasını sağlamaktadır. Hücre dışı fruktanaz enzimleri laktobasillerde nadirdir ancak son yıllarda yapılan çalışmalar laktobasil türlerinde hücre dışına salınan fruktosidaz aktivitesi tespit edilmiştir. Bu aktivitenin fruktosidaz (*fruA*) ve β -fruktosidaz (*fosE*) genleri tarafından

kodlandığı bilinmektedir (Li vd., 2020). *Lactobacillus paracasei* (*Lacticaseibacillus paracasei*)’de tanımlanan hücre dışı *fosE* enzimi, fruktoz, sakkaroz ya da inulinle indüklenmekte, glukoz varlığında da baskılanmaktadır (Paludan-Müller, 2002; Goh vd., 2007). *Lactobacillus salivarius* genomunda *fosE* geni tespit edilmiş olup (Zheng vd., 2020) ayrıca *Lactobacillus* türlerinde başka bir hücre dışı *fruA* geni de *Lactobacillus crispatus* DSM29598 suşunda tanımlanmıştır (Loponen vd., 2017).

Ekşi hamur fermantasyonu ile üretilen ekmeklerdeki fruktan içerikleri ile ilgili yapılan çalışmalarda; farklı un çeşitleri kullanılarak yapılan ekmeklerde FODMAPs ve fruktan miktarlarının incelendiği (Ziegler vd., 2016), fermantasyonun ilk dakikalarında mayaların glikoz ve fruktozu hızlıca tükettiği (Struyf vd., 2017), üretilen ekmeklerde daha düşük FODMAPs içeriği sağlamak için farklı ticari mayalar ve fruktofilik laktik asit bakterilerinin (FLAB) beraber kullanılarak (Acín Albiac vd., 2020) FODMAPs üzerine etkileri, farklı ortamlardan izole edilen doğal LAB suşlarının tam buğday ekmeğinin FODMAPs içeriğini azaltma yetenekleri (Borowska vd., 2023) ve fermantasyon süresinin FODMAPs üzerinde azaltıcı etkiye sahip olup olmadığı açısından incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda FODMAPs miktarları incelenmiş ve FODMAPs veya fruktan miktarlarında azalmalar tespit edilmiştir (Ziegler vd., 2016; Struyf vd., 2017; Acín Albiac vd., 2020; Borowska vd., 2023). Litaratür incelendiğinde yapılan çalışmaların hiçbirin de en etkili olan laktobasil türleri belirlenip, starter kültürler oluşturulmamış veya piyasada kullanılan ekşi hamurların potansiyel fruktan azaltan LAB çalışması yapılmamıştır. Yapılan çalışmalar sadece ekmek üretimde farklı reçetelerde (farklı maya, LAB, un, enzim çeşitleri vb.) üretilen ekşi hamur doğrudan ekmek hamuruna ilave edilmiş ve bu şekilde FODMAPs azaltma özellikleri incelenmiş ve FODMAPs miktarlarında önemli azalmalar tespit edilmiştir (Ziegler vd., 2016; Pejcz vd., 2019; Longin vd., 2020; Pitsch vd., 2021).

2.8. Ekşi Hamur ve İrritabl Bağırsak Sendromu

Fonksiyonel bağırsak rahatsızlıkları, rutin fizyolojik veya anatomik testlerle altta yatan organik kökenli bir patolojinin saptanamadığı, karın ağrısı, şişkinlik, gerginlik,

rahatsızlık hissi ve hem konstipasyon (kabızlık) hem de diyare (ishal) gibi şikayetlerle kendini belli eden, semptomların alt gastrointestinal sisteme atfedildiği kronik ve geniş bir spektruma sahip hastalıklardır. Bu hastalıklarda Rome çalışma grubu Rome kriterleri olarak adlandırılan ve Rome I, Rome II, Rome III ve Rome IV fonksiyonel gastrointestinal rahatsızlıklar tanısal kriterleri ile tanıya gidilmeye çalışılmaktadır. Fonksiyonel bağırsak rahatsızlıkları şikayetlerinin en azından 6 aydır var olup son üç aydır aktif olarak sürmesi beklenmektedir. Rome VI kriterlerine göre irritabl bağırsak sendromu (İBS), fonksiyonel kabızlık, fonksiyonel şişkinlik, fonksiyonel diyare, sınıflandırılmayan fonksiyonel bağırsak hastalığı, opioid ilişkili konstipasyon olmak üzere altı grup altında toplanmaktadır (Kaya & Kaçmaz, 2016). Fonksiyonel diyare de ise tekrarlayan yumuşak ve sulu diyare görülmektedir. Karın ağrısı ve şişkinlik şikayetleri görülmesine rağmen baskın değildir ve böylece İBS hastalığının tanı kriterlerinden ayrılmaktadır. Her iki rahatsızlığın temelinde de FODMAPs bulunmaktadır (Kaya & Kaçmaz 2016).

İBS hastalarında önerilen toplam günlük FODMAPs alımı, 5 ile 30 gram arasında değişmektedir (Staudacher vd., 2012; Böhn vd., 2015). FODMAPs alımının sınırlanmasıyla gastrointestinal ve sistemik semptomların azaldığı birçok araştırma grubu tarafından gözlemlenmiştir (Roest vd., 2013; Pedersen vd., 2014; Böhn vd., 2015; Barrett, 2017). Düşük miktarda FODMAPs içeren diyetlere tabi tutulan hastalar, FODMAPs içeren çeşitli kısa zincirli karbonhidratlara bireysel toleranslarını belirlemek için kullanılan diyet sınırlamaları ve yeniden deneme testleri aracılığıyla daha hafif İBS semptomları sergilemektedir (Halmos vd., 2014; Tuck vd., 2014). Bu yüzden gıdaların FODMAPs konsantrasyonunu bilmek son derece önemlidir ve bu rahatsızlığa sahip bireylere düşük FODMAPs diyeti uygulanmalıdır (Marsh vd., 2016). Örneğin, yer elması ve sarımsak gibi sebzeler (>10 g fruktan/100 g) ile armut, elma ve karpuz gibi meyveler (2-9 g fazla fruktoz/100 g) FODMAPs yönünden zengindir (Rumessen & Gudmand-Høyer, 1998; Muir vd., 2007; Van Loo vd., 1995). Tam buğday ununun fruktan içeriği %0,7- %2,9 düzeyinde (Andersson vd., 2009; Biesiekierski vd., 2011; Huynh vd., 2008; Shewry & Hey, 2015; Ziegler vd., 2016) değişmektedir. Çizelge 2.1’de yüksek FODMAPs içeren besinler verilmiştir (Murillo vd., 2016). Yüksek

fruktan içerikli ekmeklerin tüketimi düşük FODMAPs diyetinde önerilmemektedir (Struyf vd., 2017; Loponen & Gänzle, 2018). Öte yandan, doğal lif açısından zengin ve düşük FODMAPs içeriğe sahip olan ekşi hamur, İBS hastaları için diyet lif alımının artırılmasında büyük rol oynamaktadır (Loponen & Gänzle, 2018).

Ticari maya ile hazırlanan ekmeklerde, kısa süreli fermantasyonda, poliol sınıfı (sorbitol ve mannitol) dışındaki tüm FODMAPs bileşenleri önemli miktarda azalmaktadır. Ekşi hamur fermantasyonu, ticari maya ile hazırlanan ekmeklerden daha uzun sürmektedir. Bu nedenle ekşi hamur fermantasyonu, ilk fermantasyon aşamasında ve pişirme sürecinin sonunda tüm FODMAPs bileşenlerinin (sorbitol ve mannitol dışında) önemli ölçüde azalmasına ve sukroz, fruktoz ve glikozun tamamen parçalanmasına neden olmaktadır. Bunun bir sonucu olarak ekşi hamur fermantasyonu, daha düşük miktarda fermente edilebilir karbonhidrat (en az %30 oranında azalma) içeren ve serbest glikoz içeren ekşi hamur ekmeği üretimine olanak sağlamaktadır (Menezes vd., 2018). Ekşi hamur yapımında önemli bir role sahip olan LAB'nin sindirim sisteminde de birçok rolü vardır. Örneğin; besin emilimini artırarak, sindirim sistemini geliştirmekte, aynı zamanda sindirilemeyen nişasta olarak bulunan kısa zincirli karbonhidratların sindirimine yardımcı olan invertaz enzimlerini üretmektedir. Bu nedenle LAB suşları ile İBS'a sahip bireylerin tüketimi için uygun olan düşük FODMAPs'li ekmek üretimi sağlanabilmektedir (Lau vd., 2021).

Çizelge 2.1. Yüksek FODMAPs içeren besinler (Murillo vd., 2016).

Fruktoz Grubu	Laktoz Grubu	Frukta grubu	Galaktan Grubu	Poliol Grubu
Meyveler: Elma, armut, kavun, şeftali, mango, karpuz, üzüm, kiraz	Süt: İnek, keçi, koyun dondurma Yoğurt kremalar <u>Peynir</u> : Yumuşak ve taze (süzme peynir vb.)	<u>Tahıllar</u> : Buğday, çavdar, arpa, büyük miktarlarda yendiğinde (ekmek, makarna, kuskus, krakerler ve bisküviler vb.) <u>Meyveler</u> : Karpuz	<u>Kuru baklagiller</u> : Nohut, fasulye, mercimek, soya fasulyesi	<u>Meyveler</u> : Elma, armut, kayısı, karpuz, nektarin, şeftali, kiraz, kavun, böğürtlen, avokado <u>Sebzeler</u> : Kamabahar, mantar, bezelye, yeşil biber
<u>Tatlandırıcılar</u> : Fruktoz, yüksek fruktozlu mısır şurubu		<u>Sebzeler</u> : Enginar, kuşkonmaz, pancar, Brüksel lahanası, lahanası, brokoli, rezene, pırasa, bezelye, hindiba, soğan, sarımsak		<u>Tatlandırıcılar</u> : Sorbitol (E420), mannitol (E421), ksilitol (E967), maltitol (E965), izomalt (E953) ve diğer sonu –ol ile biten tatlandırıcılar
Toplam fruktoz içeriği yüksek kaynaklar: Konsantre meyve kaynakları, yüksek miktarlarda servis edilen meyveler, kuru meyveler ve meyve suları		<u>Kabuklu Yemişler</u> : Ceviz, fındık, fıstık		
Bal		İnülin		

2.9. Tam Buğday Ununun Teknolojik Özellikleri

Tahıllar, dünya çapında insanlar için en önemli temel gıdalardır ve aynı zamanda hayvan yeminin ana bileşenini oluşturmaktadır. Başlıca tahıllar buğday, mısır, pirinç, arpa, sorgum, darı, yulaf ve çavdardır. Ülkemiz yüz ölçümünün %29,5'i (23,14 milyon hektar) tarım yapılabilir özelliktedir. Tarım alanlarımızın nadas alanları hariç %67,5'i (15,6 milyon hektar) tarla ziraatına ayrılmıştır. Bu alanın da yaklaşık %71'inde (11,13 milyon hektar) hububat ekilmektedir. Hububat ekim alanı içerisinde %62'lik payla ilk sırada buğday, %28'lik payla ikinci sırada arpa ve %6,2'lik payla üçüncü sırada mısır yer almaktadır. Dünyada hububat üretim miktarları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Buğday tanesi üç ana bölümden (kepek, endosperm ve embriyo) oluşmaktadır (Khalid vd., 2017). Buğday tanelerinin bileşimi ortalama olarak %68 karbonhidrat, %55 nişasta, %6 pentosan ve %2 şekerden oluşmaktadır. Buğday taneleri ayrıca %2,3 ham lif, %2 yağ, %13 ham protein ve %2 mineral içermektedir. Buğdayın bu özellikleri nedeniyle tam buğday unu sağlıklı bir un olarak kabul edilmektedir (Martin vd., 1976).

Kepek: Buğday tanesinin %12-18'ni oluşturmaktadır ve dış kabuğu olarak nitelendirilmektedir ve ayrıca çözünebilir ve çözünmeyen lifler içerir. Çözünmeyen lifler, sindirim sistemini düzenler ve kabızlığı önlerken, çözünen lifler, kan şekerinin düzenlenmesine yardımcı olmakta ve kolesterolü azaltmaktadır (Hossain vd., 2013).

Çizelge 2.2. Dünya Hububat Üretim Miktarı (Milyon Ton) (Anonim, 2021).

	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21*
Buğday	701	659	718	732	740	757	763	732	762	774
Mısır	907	901	1032	1061	1023	1132	1090	1129	1125	1140
Arpa	134	131	145	144	150	148	145	139	156	159
Yulaf	23	21	24	23	22	24	24	22	23	26
Çavdar	13	14	17	15	13	13	13	11	13	15
Diğer**	101	103	107	117	111	112	105	105	106	112
Dünya	1879	1829	2043	2092	2059	2186	2140	2138	2185	2226

(*) Tahmin (**) Sorgum, Darı, Triticale ve Karma Hububat

Endosperm: Buğday tanesinin en büyük (%80-85) bölümünü oluşturmaktadır. Karbonhidratlar, proteinler ve az miktarda yağ içermektedir. Bu bölüm, enerji kaynağı olarak işlev görmektedir (Hossain vd., 2013).

Embriyo: Buğday bitkisinin yeni bir bitki oluşturmak için kullanılan küçük (%2-3) bir bölümdür. Protein, yağ, vitamin ve mineraller açısından zengindir (Hossain vd., 2013).

Tam buğday (*Triticum aestivum* L.) unu buğday bitkisinin tam tahıl formudur ve Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği (2013/9)’ne göre ise; tam buğday unu “Yabancı maddelerden temizlenmiş buğdayların, tavlansız veya tavlansız, buğday tanesinin bütün anatomik kısımlarını içerecek şekilde tekniğine uygun olarak öğütülmesiyle elde edilen un” şeklinde tanımlanmıştır. Tebliğe göre tam buğday ununun rutubet miktarı en çok %14,5, protein miktarı kuru maddede (KM) en az %11 (N*5,7), kül miktarı en az %1,2 (KM), asitliği (KM’de sülfürik asit cinsinden) en çok %0,09 olmalıdır (Anonim, 2013).

Bununla birlikte, tam buğday ürünlerinin teknolojik kalitesi tüketim potansiyellerini sınırlamıştır. Tam buğday ekmeği, daha yumuşak dokusu, daha kremsi tadı ve daha tatlı aroması olan beyaz ekmeğe kıyasla daha düşük bir özgül hacim, koyu renk, iri taneli tat, sert dokusu ve farklı bir aroma ile karakterize edilmektedir (Tebben vd., 2018). Aynı zamanda, tam buğday ekmeğinin GI değeri tüketicilerin beklediği kadar düşük değildir, çünkü tam buğday ekmeği genellikle gözenekli (kolay çözünen) yapısı ve yüksek oranda hamurumsu (kolay sindirilebilir) nişasta yapısı nedeniyle beyaz ekmeğe çok yakın bir glukoz tepkisi oluşturmaktadır (Freitas vd., 2022). Sonuç olarak, tam buğday ekmeğinin kalitesini iyileştirmek üzerine yapılan mevcut araştırmalar, işleme yöntemlerini değiştirmeye (örneğin, ham madde ön işlemi, su ilavesi, fermentasyon ve pişirme koşulları) ve dışarıdan katkı maddeleri eklemeye (örneğin, hidrokolloidler, proteinler, enzimler) odaklanmaktadır (Parenti vd., 2021; Sun vd., 2022).

Tam buğday sağlık açısından değerlendirildiğinde, özellikle toplumlarda aşırı kilo ve obezite ile ilişkili sağlık riskinin artmasıyla birlikte, tam tahıllı gıdalar arasında temsil edilen tam buğday ekmeği tüketiciler arasında dikkate değer bir popülerlik

kazanmaktadır. Beyaz ekmek ile karşılaştırıldığında, tam buğday ekmeği daha fazla miktarda diyet lifi, polifenoller, vitaminler ve mineraller içermekte ve kanser, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve obezite gibi çeşitli sağlık sorunlarının önlenmesine katkıda bulunmaktadır (Rebello, Greenway, & Finley, 2014; Awulachew, 2020). Ancak tam buğday ekmeği tüketimi çeşitli yararlar sağlasa bile, kendine has aroması ve yapısı nedeniyle günlük alımı önerilen seviyenin çok altındadır (Heinio vd., 2003).

Ekşi hamur fermentasyonunu kontrollü koşullarda, standart ve güvenli şekilde yapabilmek için fermentasyonda ekşi hamurun doğrudan kullanımı yerine ekşi hamur kaynaklı LAB'lerden oluşan starter kültür kullanımının uygun olacağı düşünülmektedir (Göçmen, 2001).

Ekşi hamurda oluşan mikrobiyotaya iç ve dış faktörler etki etmektedir. Ekşi hamur üretiminde kullanılan su, un tipi (şekerler, kül, enzimler) iç faktörlere, sıcaklık, fermentasyon süresi, hamur verimi, oksijen ve dış besinler dış faktörlere örnek olarak verilebilir (Savolainen vd., 2014).

Literatürde ekşi hamurun fruktan azaltma özellikleri ile ilgili yapılmış sınırlı sayıda çalışmada laboratuvar ortamlarında, starter kültür ilaveli ve kontrollü koşullarda üretilen ekmekler ya da tahıl ürünleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar yöresel olarak üretilen ve farklı mikrobiyotalara sahip ekşi hamurların fruktan azaltma potansiyellerini yansıtmamaktadır. Ayrıca uluslararası literatürde ekşi hamur kaynaklı fruktan azaltıcı laktobasil izolatlarının fonksiyonel ekmek üretiminde kullanımının değerlendirildiği sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma, ülkemizin geleneksel ekşi maya örneklerinin ve bu örneklerden elde edilen laktobasil izolatlarının fruktan azaltma ve ekmek üretim potansiyelinin değerlendirildiği ilk araştırma niteliğindedir. Güney Marmara bölgesinden 5 farklı ilin 2 farklı üreticisinden ticari maya karıştırılmamış ekşi hamur mayaları temin edilmiş ve bu mayalardan fruktan miktarını azaltan laktobasil suşları izole ve karakterize edilmiştir. Elde edilen laktobasil izolatlarından fruktan azaltıcı özellikte olduğu tespit edilenler kullanılarak İBS hastaları için bağırsak sağlığına yararlı fonksiyonel ekmek üretimi yapılmış ve üretilen ekmeklerin

fizikokimyasal, mikrobiyolojik, reolojik ve duysal özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında Güney Marmara bölgesinde üretilen ve kullanılan ekşi hamurların ve mikrobiyotalarında bulunan laktobasil izolatlarının fruktan ve FODMAPs bileşenlerini azaltarak sağlığa yararlı fonksiyonel tahıl ürünlerinin üretiminde kullanım potansiyellerinin bulunduğu belirlenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

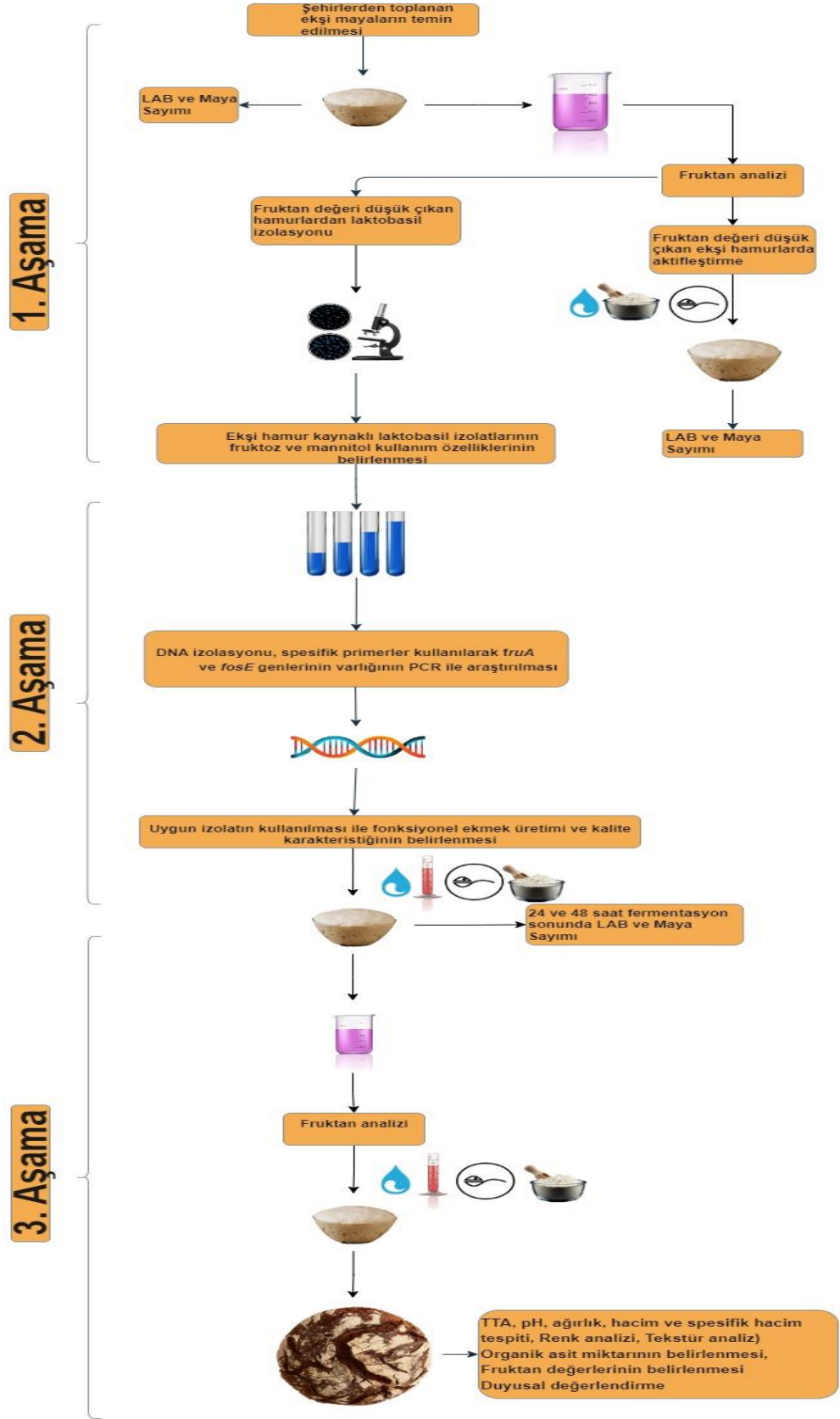
Çalışmada ülkemiz Güney Marmara bölgesi Çanakkale, Balıkesir, Bursa, Yalova ve Bilecik illerinde 2’şer üreticiden aseptik koşullarda alınan toplam 10 adet ekşi hamur örneği steril kaplarda ve 4°C’de depolanarak Bursa Uludağ Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü’ne getirilmiştir. Toplanan ekşi hamurların bir kısmı -18°C’de depolanmış, diğer kısmı bir hafta içerisinde işlenmek üzere buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir. Çalışmada ekmek üretiminde kullanılan tam buğday unu Toru Un firmasından, tuz (iyotlu) ise marketlerden temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

Çalışma planı Şekil 3.1’de verildiği gibi organize edilmiştir.

3.2.1. Fırınlardan ekşi hamur toplanması ve mayaların aktifleştirilmesi

Fırınlardan toplanan ekşi hamur örneklerinde fruktan analizi, LAB ve maya sayımı yapılmıştır. Fruktan analizi sonucu düşük çıkan ekşi hamur örnekleri aktifleştirilerek LAB ve maya sayımı tekrarlanmış ve laktobasil izolasyonu gerçekleştirilmiştir. Mikrobiyolojik analizlere ilişkin detaylı bilgiler yöntem kısmının “3.2.4. Fruktan değeri düşük çıkan hamurlardan LAB ve maya sayımı ve laktobasil izolasyonu” başlığı altında açıklanmıştır.



Şekil 3.1. Tez çalışmasının planı

3.2.2. Toplanan ekşi hamurların aktifleştirilmesi

Çalışmada, toplanan ekşi hamur örneklerinde ve laktobasil izolatlarının kullanıldığı ekmek hamurlarında olmak üzere iki farklı aşamada aktifleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Bu işlemler ile ilgili detaylar aşağıda açıklanmıştır:

- (i) Toplanan ekşi hamurların fruktan analizi yapılarak fruktan değeri düşük çıkan hamurlarda ön aktifleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ön aktifleştirme sırasında ekşi hamurların kuru madde miktarları birbirlerinden son derece farklı bulunduğundan (Çizelge 3.1) bu hamurlarda eşit kuru madde miktarı elde edilebilecek şekilde tartım gerçekleştirilmiştir. Eşit kuru madde miktarına sahip olan ekşi hamur, unun %30 ağırlığında olacak şekilde tartılmış ve farinograf analiz sonucunda belirlenen su, un kullanılarak hamur elde edilmiş ve oda sıcaklığında 3 gün aktifleştirme gerçekleştirilmiş ve ardından analize alınmıştır (Şekil 3.2).
- (ii) Çalışma kapsamında fruktan azaltıcı özelliği belirlenen laktobasil izolatları ile üretilen hamurların aktifleştirilmesi işlemi ise 100 g un, 30 mL saf kültür, 1,5 g tuz ve 50 mL su karışımı, 37°C de 24 saat ve 48 saat sürelerle fermantasyon uygulanarak yapılmıştır (Şekil 3.3).

Çizelge 3.1. Toplanan ekşi hamurların % kuru madde miktarları

Örnek adı	% kuru madde
Balıkesir-1	90,46
Balıkesir-2	84,6
Bilecik-1	91,53
Bilecik-2	95,7
Bursa-1	75,14
Bursa-2	70,39
Çanakkale-1	78,74
Çanakkale-2	78,22
Yalova-1	87,06
Yalova-2	81,37

Aktifleştirilmiş ekşi hamur, mutfak tipi yoğurma makinesi (Kitchenaid 5KSM125, ABD) kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Toplanan (solda) ve aktifleştirilen (sağda) ekşi hamur örnekleri



Şekil 3.3. Laktobasil saf kültürlerinin aktifleştirilmesi, A: sıfırıncı dakika B: 24.saat

3.2.3. Hamurda fruktan analizi

Toplanan ekşi hamurlarda ve laktobasil izolatları ile üretilen hamurlardaki toplam fruktan miktarı, Megazyme Fruktan ticari enzim kiti kullanarak AACC 32.32.01 metoduna göre spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Anonim, 1999).

3.2.4. Ekşi hamur örneklerinde LAB ve maya sayımı ve laktobasil izolasyonu

Ekşi hamur örnekleri (25 g) 225 mL steril serum fizyolojik bulunan stomacher poşetine aseptik şartlar altında aktarılmış ve homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır. Ardından bu karışımdan 1 mL örnek alınarak 9 mL miktardaki %0,85'lik serum fizyolojik çözeltisi ile ondalık seyreltimler yapılmıştır. LAB sayımı ve laktobasil izolasyonu amacıyla her bir hamur örneğinden cycloheximide (%0,1'lik steril çözelti, Merck) içeren MRS agar (*Lactobacillus* Agar acc. to DE MAN, ROGOSA and SHARPE; Merck, Almanya) agar besiyerine yüzeye yayma yöntemiyle ekim yapılmış ve petri kutuları anaerobik ortamda (Anaerocult A, Merck) 37°C'de 48 saat inkübe edilmiştir. Maya sayımında ise, YGC Agar (Yeast Extract Glucose Chloramphenicol Agar FIL-IDF; Merck, Almanya) besiyeri kullanarak, yüzeye yayma yöntemiyle

ekimler yapılmış olup, 25 °C’de 3-5 gün inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda laktobasil izolasyonu için her örnek için petrideki kültürlerden seçilen farklı morfolojiye sahip 5’er adet koloni MRS agar besiyerine tek koloni ekim yöntemi ile aktarılıp inkübe edilerek saf kültürleri elde edilmiştir. Saf kültürlere Gram boyama ve katalaz testleri yapılmış, Gram pozitif, katalaz negatif ve mikroskopik morfolojide çubuk şekilli olduğu belirlenen bakteriler gliserol (%30) ve MRS broth içeren tüplerde -18°C’de muhafaza edilmiştir.

3.2.5. Ekşi hamur kaynaklı laktobasil izolatlarının mannitol kullanım özelliklerinin belirlenmesi

Ekşi hamur kaynaklı laktobasil izolatlarının fruktan indirgeme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle izolatların fruktoz ve mannitol kullanım durumları araştırılmıştır.

İzolatların mannitol kullanım durumlarının izlenmesi için %0,5 fruktoz ve %1 mannitol içeren modifiye FYP (D-fructoseyeast extract-peptone) broth besiyerinde geliştirilmiş laktobasil izolatlarının hücre pelletleri %0,5 CaCO₃ içeren MYP (mannitol yeast ekstrakt peptone) agara inokule edilerek 30°C’de 48 saat inkübe edilmiş ve gelişen kolonilerin etrafındaki şeffaf zonların varlığı ile mannitol tüketimi indirekt olarak değerlendirilmiştir.

Ayrıca izolatlar FYP broth’da 30°C’de 18 saat üretilerek elde edilen hücre pelletleri 7 log kob/mL düzeyinde ayarlanıp MYP broth besiyerine aktarılmış ve 30°C’de 72 saat inkübe edilerek ve izolatlarının süpernatantlarındaki mannitol miktarı (Agilent-Infinity 1260, CA, USA) HPLC ile, 7,8 x 300 mm, 8 µm kolon (Agilent MetaCarb Ca Plus) ve RI dedektörü kullanılarak belirlenmiştir. Eluet; ultra saf su, enjeksiyon hacmi 20 µL, akış tipi izokratik, akış hızı 0,5 mL / dak ve kolon sıcaklığı 80°C, dedektör sıcaklığı 40°C olarak kullanılmıştır (Acín Albiac vd., 2020). Bu amaçla 5 farklı konsantrasyonda (50, 100, 200, 500 ve 1000 ppm) 20µL hacimdeki standartlar cihaza enjekte edilmiş ve alıkonma zamanları belirlenmiştir.

3.2.6. Laktobasil izolatlarında *fruA* ve *fosE* gen varlığının araştırılması

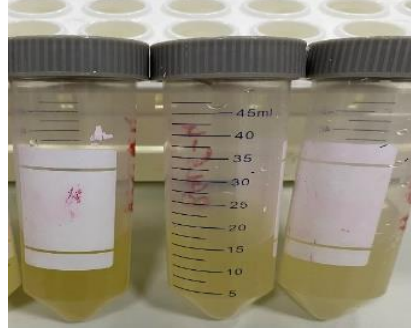
Fruktan miktarı düşük olarak belirlenen ekşi hamur örneklerinden elde edilen laktobasil izolatlarında fruktan hidrolaz enzimini kodlayan *fruA* ve *fosE* genlerinin varlığı araştırılmıştır. Bu amaçla, izolatların kromozomal DNA'ları ticari DNA izolasyon ve saflaştırma kiti (GeneJET Genomic DNA Purification Kit, K0721, Thermo Scientific) kullanılarak elde edilmiş ve polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) yöntemi ile optimizasyon denemeleri Li vd., (2020) ve Afidah vd., (2019) tarafından belirtilen koşullar ve spesifik primerler (*fosE*; Forward primer GGTCAGCAAGCCCTCATTTA, Reverse primer GTTCCGTCGGCTGTCATATT; *fruA*; Forward primer CCACTAAAGCCGGAGAAGTAAA, Reverse primer CTTGACCTCTGGCATCACTATG) kullanılarak genlerin varlığı değerlendirilmiştir.

3.2.7. Fruktan azaltıcı laktobasil izolatları ile fonksiyonel ekmek üretimi ve kalite karakteristiğinin belirlenmesi

Çalışma kapsamında, fruktan miktarını düşürdüğü ve bazı fenotipik özellikleri belirlenen laktobasil izolatları kullanılarak ekmek üretim denemesi gerçekleştirilmiştir. Laktobasil izolatları -18 °C'deki gliserol stoklarından MRS brotha aktararak 37 °C'de 24-48 saat boyunca geliştirilmiş ve santrifüjlenerek (5000 rpm'de 15 dk, 4 °C), süpernatant kısmı uzaklaştırılmıştır. Geriye kalan pelletler steril su içerisinde çözündürülerek ekmek üretiminde kullanılmıştır (Alkay, 2017).

Laktobasil izolatu kullanılarak yapılan ekmek üretiminde her örnek için 200 g buğday unu, farinograf analizine göre belirlenen miktarda ortalama 150 mL su, 25 mL laktobasil hücre süspansiyonu (10^9 kob/g) (Şekil 3.4.) ve kontrol ekmeği için ise 3 g (%1,5) ticari maya (*Saccharomyces cerevisiae*) ve %1 tuz kullanılmıştır (Gocmen vd., 2007). Tüm malzemeler hamur yoğurma makinasında tekniğine uygun olarak 50 rpm hızda hamur oluşumu gerçekleşene kadar 15 dk süreyle yoğurulmuştur (Elgün & Ertugay, 2002). Yoğurulan hamur daha sonra 4 saat 30°C'de fermantasyona bırakılmış ve 67 g'lık parçalar halinde kesilip küresel şekil verildikten sonra 30°C'de 30 dk dinlendirilmiş ve son şekli verilerek tepsilere alınmıştır. Tepsilere alınmış olan hamurlar yaklaşık %75-80 nispi neme ve 30°C sıcaklığa sahip fermantasyon kabiniinde 24 saat

son fermentasyon işlemine tabi tutulmuştur. Fermente edilmiş hamurlar önceden 225°C'ye ısıtılmış elektrikli konveksiyonel bir fırında (Fimak, Konya, Türkiye) 35 dk pişirilmiştir (Şekil 3.5. ve Şekil 3.6).



Şekil 3.4. Laktobasil izolatu hücre süspansiyonu



Şekil 3.5. Ekmek hamurunun yapımı



Şekil 3.6. Ekmeğin pişirilmesi

3.2.8. Ekmek üretiminde kullanılan tam buğday ununda yapılan analizler

Nem miktarı tayini

Unun nem miktarı tayini AACC Metod No: 44-19.01'a göre yapılmıştır (Anonim, 1999).

Kül miktarı tayini

Unun kül miktarı AACC Metod No: 08-01.01'e göre belirlenmiştir (Anonim, 1999).

Protein miktarı tayini

Ham protein miktarı, Azot Protein Analizör cihazı olan Leco FP628 Elemental Analyzer'da (Leco Corporation, St. Joseph, MI, ABD) AACC 46-30 metoduna göre belirlenmiştir (Anonim, 2010).

Yaş ve kuru gluten miktarı ve gluten indeksi tayini

Yaş ve kuru gluten miktarı ve gluten indeksi tayini AACC Metod 38-12.02'e göre belirlenmiştir (Anonim, 2011). Elde edilen yaş gluten Glutork cihazında kurutularak kuru gluten miktarı hesaplanmıştır (Özkaya & Özkaya, 2005).

Farinograf parametreleri

Ekmek formülasyonunda yer alan unun farinografik özellikleri farinograf cihazı (Brabender) kullanılarak AACC Metod 54-21.01 ile test edilmiş (Anonim, 2011) ve su absorpsiyon değeri (%), hamurun gelişme (yoğurma) süresi (dk), hamur stabilite değeri (dk), yumuşama derecesi (BU) ve yoğurma toleransı sayısı (MTI) belirlenmiştir.

Ekstensograf parametreleri

Ekmek formülasyonunda yer alan unun ekstensogram özelliklerinin belirlenmesi AACC 54-10.01 metodu ile ekstensograf cihazı (Brabender) kullanılmıştır (Anonim, 2011). Ekstensograf analizi hamurun uzama kabiliyetini ve uzamaya karşı gösterdiği direnci ölçmek için yapılan bir analiz yöntemidir. Hamurun fermantasyon toleransı hakkında fikir verir. Enerji (cm²), hamur direnci (BU), uzama kabiliyeti (cm), maksimum direnç (tepe yüksekliği) (BU) belirlenmiştir.

3.2.9. Ekmekte yapılan analizler

Ağırlık, hacim ve spesifik hacim tespiti

Ekmek ağırlığı; ekmekler fırından çıktıktan sonra soğumaya bırakılmış ve fırından çıktıktan 1 saat sonra tartım yapılmıştır. Üç değer ortalama alınarak hesaplanmıştır (Elgün vd., 2002).

Ekmek hacmi; Kolza tohumu yer değiştirme metoduna göre belirlenmiştir (Elgün vd., 2002).

Spesifik hacim; Ekmek ağırlığı ve hacmi bulunduğundan sonra ağırlığın hacme oranı olarak hesaplanmıştır (Elgün vd., 2002).

pH

10 g örnek 90 mL saf su içinde homojenize edildikten sonra pH metre (Hannamodel İtalya, Limena) kullanılarak ölçülmüştür (Paramithiotis vd., 2005).

Titrasyon asitliği

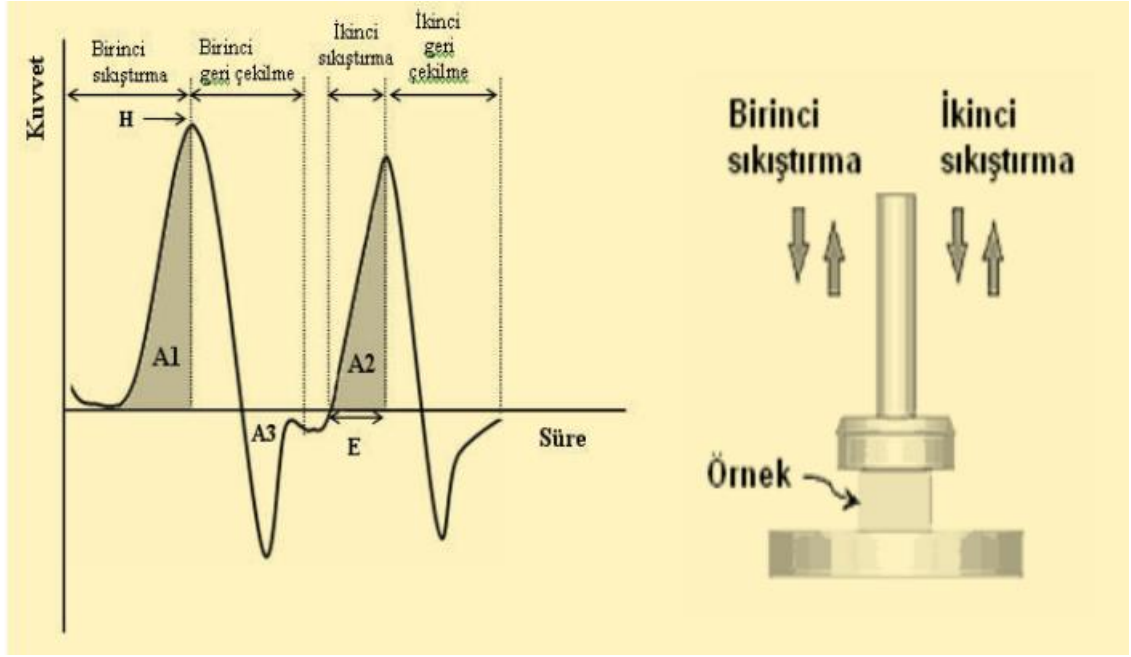
Titrasyon asitliği analizi, pH analizinde kullanılan örnek 0.1 N NaOH çözeltisiyle fenolftaleyn indikatörlüğünde renk değişimi gözleninceye kadar titre edildikten sonra harcanan çözelti hacmi kullanılarak % laktik asit cinsinden hesaplanmıştır (Elgün vd., 2002).

Renk

Renk analizi ekmeklerin içinin ve dış kabuğunun rengi renk ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. L^* , a^* , b^* değerleri ölçülmüştür, $L^*=0$ karanlık gösterir ve $L^*=100$ aydınlıktır. Renkleri tanımlamak için; a^* değeri yeşil (-a) ve kırmızı (+a); b^* değeri mavi (-b) ve sarı (+b) arasındaki renkleri tanımlamak için kullanılmıştır. Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan) cihazı ile ölçülmüştür. Her bir numune için 3 paralel ölçüm yapılmıştır ve bu değerlerin ortalaması alınarak ortalama değerler elde edilmiştir (Elgün vd., 2002).

Tekstür analizi

Ekmek içi doku (TPA, Doku Profil Analizi) özelliklerinin belirlenmesinde tekstür analiz cihazı ve silindir prob kullanılmıştır. TPA analizi 2 cm eninde kesilen ekmek dilimlerinin üzerine silindir probun 5 mm/s hız, 10 mm dalma derinliği, 5 g algılama kuvveti ile gerçekleştirilmiştir. İki defa baskı uygulanması sonucu elde edilen grafiğin değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen grafikten sertlik, yapışkanlık, sakızimsılık, çiğnenebilirlik ve dayanıklılık özellikleri aşağıdaki şekilden (Şekil 3.7) ve hesaplanmadan faydalanılmıştır (Anonim, 2000; Balık, 2011).



Şekil. 3.7. Tekstür profili analizi sonuç değerlendirme örneği

Birincil parametreler:

Sertlik (Hardness): Gıda maddesinin yapısında belirli bir deformasyonu sağlamak için uygulanması gereken kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Tekstür profil analizinde ilk sıkıştırmanın bitip geri çekilmenin başladığı noktaya karşılık gelmektedir (H).

Esneklik (Springiness): Gıda maddesinin üzerindeki deforme edici kuvvet kaldırıldıktan sonra kendini toparlayarak deformasyondan önceki haline dönme hızı olup, aradaki mesafenin ölçülmesi ile hesaplanmaktadır. Tekstür profil analizinde ilk sıkıştırmanın bitimi ve bunu takiben ikinci sıkıştırmanın başlangıcı arasında geçen zaman aralığına karşılık gelmektedir.

Sakızımsılık (Adhesiveness): Gıda maddesinin yüzeyi ile temas ettiği yüzey (diş, dil, damak veya probe) arasındaki çekim kuvvetini yenmek için gerekli iş olarak tanımlanmaktadır. Tekstür profil analizinde ilk sıkıştırmada gözlenen negatif alandır (A3).

Yapışkanlık (Cohesiveness): Gıda maddesinin yapısını oluşturan iç bağların gücünü göstermektedir. Tekstür profil analizinde ikinci sıkıştırmada gözlenen pozitif kuvvetin (A2) ilk sıkıştırmada gözlenen pozitif kuvvete (A1) oranıdır.

$$\text{Yapışkanlık (Cohesiveness)} = A2 / A1$$

İkincil parametreler:

Katı maddenin çiğnenebilirliği (Chewiness): Katı özellikte bir gıda maddesinin yutmaya hazır hale gelene kadar parçalanması için gerekli enerji olarak tanımlanmaktadır. Bu değer hardness, cohesiveness ve springiness'ın çarpımı ile hesaplanır.

$$\text{Chewiness} = \text{Hardness} \times \text{Cohesiveness} \times \text{Springiness}$$

Organik asit miktarının belirlenmesi

Ekmeklerin organik asit miktarlarının belirlenmesi için 10 g ekmek 20 mL distile suda 15 dakika boyunca homojenize edilmiş, daha sonra manyetik karıştırıcıda oda sıcaklığında ağzı kapalı tüpler içinde 45 dakika karıştırılmıştır. 10 dakika, 12000xg ve 4°C'de santrifüj işlemi yapılan 10 mL supernatantın üzerine 0,3 mL Carez I (Potasyum II hexaferrocyanate, 0,085 mol/L) ve 0,3 ml Carrez II (çinko sülfat, 0,25 mol/L) ilave edilmiş ve vortekslenmiştir. Son olarak 10 dakika 12000 xg ve 4 °C'de santrifüj işlemi yapılarak, 0,22 µm şırınga filtresinden süzildükten sonra 20 µL olarak HPLC (Agilent 1200 Infinity, CA, USA) sistemine enjekte edilmiştir. Mobil faz olarak, 0.01 M KH₂PO₄ (pH: 3.25): metanol (95:5 v/v) karışımı kullanılmış ve akış hızı 0.6 mL/dk olarak ayarlanmıştır. HPLC sisteminde C18 kolon (Agilent, Poroshell 120 EC-C18, 3 mm x 150 mm x 2.7 µm, CA, ABD) ve 205 nm dalga boyunda DAD dedektör (Agilent, 1200 Infinity WR, CA, ABD) kullanılmış ve kolon fırını sıcaklığı 30°C'ye ayarlanmıştır. Organik asit standartlarının (suksinik asit, laktik asit, formik asit, asetik asit, fumarik asit, propiyonik asit) mobil faz içerisinde 0-100-200-300 ppm konsantrasyonlarda hazırlanmasıyla kalibrasyon grafikleri elde edilmiş ve bu grafikler örneklerdeki organik asit miktarlarının hesaplanmasında kullanılmıştır (Buksa, 2020).

Ekmekte fruktan analizi

Ekmeklerin toplam fruktan miktarı ise AACC 32.32.01 metoduna göre Megazyme Fructan ticari enzim kiti kullanarak belirlenmiştir (AACC, 1999).

Duyusal analiz

Ekmeklerin duysal analizinde tüketici beğenisi testi uygulanmıştır. Test, ekmekler fırından çıktıktan 2 saat sonra, 30 panelist tarafından yapılmış ve panelistlerden örneklerin 9'lu hedonik skalaya (1. Aşırı kötü, 2. Çok kötü, 3. Kötü, 4. Biraz kötü, 5. Ne beğenilir ne de kötü, 6. Beğenilirliği kabul edilebilir düzeyde, 7. Beğenilirliği yüksek, 8. Beğenilirliği çok yüksek, 9. Beğenilirliği olağanüstü) göre değerlendirilmesi istenmiştir. Duyusal analiz ile ekmek örneklerinin ekmek içi, gözenek yapısı ve homojenlik, yapışkanlık, çiğnenebilirlik, renk, tat, kuruluk, kabuk, renk, kabuk yapısı, şekil, hacim ve genel beğeni özellikleri değerlendirilmiştir. Kullanılan duysal analiz formu Ek 1'de verilmiştir.

3.2.10. İstatistiksel Analizler

İstatistik analiz SPSS (27.0) kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen ortalama değerler arasında istatistiksel olarak farklı grupları ($p < 0,05$) belirlemek için olasılık düzeyinde LSD (En Az Anlamlı Fark) testi ve t testi kullanılmıştır (Yurtsever, 1984).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Ekşi Hamur Örneklerinin Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Mayalar ve laktik asit bakterileri, önemli teknolojik ve fonksiyonel özelliklere sahip olan ve bu nedenle ekşi hamur fermentasyonu sırasında kritik bir rol oynayan mikroorganizmalardır (Chavan & Chavan, 2011; Curiel, 2015). Bu tez çalışmasında Güney Marmara Bölgesindeki farklı illerden toplanan ekşi hamur örneklerinde fermentasyon aktivitesini ve yükünü tespit etmek amacıyla toplam laktik asit bakteri ve maya sayımı gerçekleştirilmiştir. Ekşi hamur örneklerinin aktifleştirme öncesi ve aktifleştirme sonrası, ayrıca fruktan değeri düşük çıkan izolatlardan yapılan 24 saatlik fermentasyon sonrası mikrobiyolojik (toplam LAB ve maya sayımı) analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Toplanan ekşi hamurlarda aktifleştirme öncesi; Toplam LAB sayısı 5,20 ile 8,16 log-kob/g arasında değiştiği ve Bursa-1 ekşi hamurunun toplam LAB sayısının en yüksek olduğu görülürken Çanakkale şehrinden toplanan örneklerin LAB miktarlarının düşük olduğu tespit edilmiştir. Toplam maya sayısı <2 ile 7,02 log-kob/g arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bilecik-1 ve Çanakkale-1 örneklerinin toplam maya sayısının düşük olduğu görülmüştür. Toplanan örneklerde toplam LAB sayısının maya sayılarından yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Fruktan değeri ölçülen ve düşük çıkan Balıkesir-1 ve Bursa-2 örneklerinde aktifleştirme işlemi yapılmış ve aktifleştirme sonrası toplam LAB ve maya sayımları gerçekleştirilmiştir. Balıkesir-1 örneğinin aktifleştirme sonrası toplam LAB sayısı 7,48 log-kob/g, toplam maya sayısı 5,30 log-kob/g olarak tespit edilmiştir. Bursa-2 örneğinin aktifleştirme sonrası toplam LAB sayısı 8,19 log-kob/g toplam maya sayısı ise <2,00 log-kob/g olarak bulunmuştur. Ayrıca aktifleştirme sonucunda toplam maya ilave edilmediği için maya sayısında düşüş görülmüştür. Toplam LAB sayısında ise Bursa-2 örneğinde 2 log’luk bir artış tespit edilmiştir.

Ulusal ve uluslararası literatürde ekşi hamur örneklerinin LAB ve maya yüklerinin belirlendiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan Yağmur (2013) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’nin farklı illerinden (Ankara, Trabzon, Kütahya, Isparta,

Adana) toplanan ekşi hamur örneklerindeki LAB sayısının 6,71-9,16 log kob/g ve maya sayısının 5,27-7,32 log kob/g, arasında değiştiği bildirilmiştir. Bakırcı ve Köse (2017)'nin yaptıkları çalışmada İzmir ilinde bulunan 10 farklı yerel fırından alınan 10 farklı ekşi hamur örneğinde maya sayısının 7,25- 7,92 log kob/g düzeyinde, LAB sayısının ise 7,07- 8,40 log kob/g düzeyinde bulunduğu belirtilmiştir. Menezes vd. (2019)'nın yaptıkları çalışmada LAB sayılarının 3,0 -7,5 log kob/g, maya sayılarının ise 2,0- 6,8 log kob/g düzeyinde olduğu rapor edilmiştir. Tomić vd. (2023)'nin yaptığı çalışmaya göre ise, maya yükünün 7,14- 7,80 log kob/g arasında değiştiği ve LAB yükünün ise sırasıyla 9,00- 9,59 log kob/g arasında değiştiği belirtilmiştir. Farklı bir çalışmada ise Lai vd. (2023) tarafından *Levilactobacillus brevis* LUC 247 izolatı kullanılarak ve siyah pirinç unu ile fermente edilmiş ekşi hamur tozunu kullanarak ekmek denemesi yapılmıştır. Siyah pirinç tozu oranları farklı olan (%0-60) ve farklı sürelerle (0-48 saat) fermente edilen siyah pirinç ekşi hamuru ekmeğinin 12 ila 36 saat arasında en yüksek laktik asit bakterisi sayısına (9 log kob/g) sahip olduğu görülmüştür.

Mikrobiyolojik açıdan, ekşi hamurda laktik asit bakterileri baskındır, maya içeriği ise bir veya iki logaritmik döngü daha düşük seviyededir (De Vuyst vd., 2014; Rizzello vd., 2019).

Ekşi hamur fermantasyon süreci boyunca hamurun mikrobiyal yükü değişmektedir. İlk fermantasyonun başlangıcında, hamurun mikrobiyal yükü unun mikrobiyal yükü ile benzerlik gösterebilir. Ayrıca LAB, gram-pozitif, gram-negatif, aerobik-anaerobik bakteriler olabilir ve fermantasyonun başında her bir mikrobiyal grup, genellikle 5 log kob/g'ı geçmeyen hücre sayısında bulunabilmektedir (Onno & Roussel, 1994; Stolz, 1999; Rocha & Malcata, 2012).

LAB'lerin karbonhidrat metabolizması mono ve di-sakkaridlere son derece adapte olduğundan laktik ve asetik asitler üretilir, bu da hamurun pH'sını düşürmektedir (Gänzle & Gobbetti, 2013). Fermantasyon süresinin artması ile ortaya çıkan bu düşüş, mikrobiyal gelişmeyi engelleyebilirken, mayalar ve LAB tarafından iyi tolere edilmektedir. Sonuç olarak, ekşi hamur da fermantasyon adımlarının sayısı arttıkça, LAB ve mayalar ekşi hamurun çevresel koşullarına giderek daha fazla adapte olur ve olgun ekşi hamurda baskın hale gelirler (Hammes & Gänzle, 1998), LAB sayısı 6 ile 9

log kob/g, maya sayısı 5 ile 8 log kob/g arasında sayıda bulunurlar (Lattanzi vd., 2013; Minervini vd., 2012).

LAB, ekşi hamurunda bulunan aktik asit, asetik asit, propiyonik asit, butirik asit, diasetil, aldehitler ve ketonların üretiminden sorumludur. Bu yapılar, ekşi hamurunun dokusunu, tadını ve aromasını iyileştirmeye yardımcı olur. Ayrıca, LAB'ler ekşi hamurunun raf ömrünü uzatmaya yardımcı olur (Gänzle & Gobbetti, 2013). LAB'lerin ekşi hamurunun kalitesine ve fonksiyonel özelliklerine olan etkisini inceleyen çalışmalarda, LAB yükünün artmasının ekşi hamurunun pH'ını düşürdüğü, laktik asit ve diğer organik asitlerin miktarını artırdığı ve ekşi hamurunun dokusunu, tadını ve aromasını iyileştirdiği tespit edilmiştir (Yağmur, 2013; Bakırcı & Köse, 2017; Menezes vd., 2019; Tomić vd., 2023; Lai vd., 2023).

Maya, ekşi hamur yapımında karbondioksit gazının üretiminden sorumludur. Karbondioksit gazı, ekşi hamurunun kabarmasını, gevrek bir dokuya sahip olmasını sağlamaktadır ve hamurdaki glutenin proteinlerinin birbirine bağlanmasını engelleyerek hamurunun hacmini artırmaktadır. Ayrıca, karbondioksit gazı, hamurunun iç yapısında küçük boşluklar oluşturur. Bu boşluklar, hamurunun gevrek bir dokuya sahip olmasını, ekmekte istenen hacimin oluşmasını sağlamaktadır (Valmorri vd., 2010; Birch vd., 2012). Mayanın ekşi hamurunun kalitesine ve fonksiyonel özelliklerine olan etkisini inceleyen çalışmalarda, maya yükü 5 ile 8 log kog/g arasında (Yağmur, 2013; Bakırcı & Köse, 2017; Tomić vd., 2023) artmasının ekşi hamurunun karbondioksit gaz üretimini artırdığı ve ekşi hamurunun kabarmasını ve gevrekliğini iyileştirdiği bulunmuştur (Menezes vd., 2019; Tomić vd., 2023).

LAB ve maya, ekşi hamurunun kalitesini ve fonksiyonel ve teknolojik özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdir. LAB ve maya yüklerinin ve çeşitlerinin ekşi hamurunun özelliklerine olan etkisini inceleyen çalışmalar, LAB ve maya yüklerinin ve çeşitlerinin ekşi hamurunun kalitesini iyileştirmek için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Plessas vd. (2008) *Kluyveromyces marxianus* ve *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile hazırlanan ekşi hamurlu ekmeklerin sadece maya içerikli ekmeler ile kıyaslandığında daha kompleks bir aroma profili sunduğunu tesbit etmiştir. Ayrıca ekşi hamurda kullanılan LAB çeşitlerinin heterofermentatif veya homofermentatif olması

son üründe farklı uçucu bileşenler oluşturduğu tespit edilmiştir (Kaseleht vd., 2011; Vermeulen vd., 2007; Nionelli & Rizzello, 2016; Siepmann vd., 2018).

Ekşi hamurlardaki LAB ve maya yükleri örnek çeşidine, sayım yöntemine, ortam sıcaklığına, fermantasyon süresine, ürün bileşimine, ürünün üretim koşullarına ve saklama koşullarına bağlı olarak birçok faktörün etkisi ile değişkenlik göstermektedir (Rizzello vd., 2019).

Tez kapsamında yapılan sayım sonuçları literatür ile karşılaştırıldığında paralellik gösterdiği, LAB sayılarının maya sayılarına göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kontrol örneğinde LAB kullanılmadığı için LAB miktarı <2 log-kob/g şeklinde bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Ekşi hamurlardaki aktifleştirme öncesi, sonrası ve 24 saat sonunda LAB ve maya sayım sonuçları

Ekşi hamur örnek kodu	Aktifleştirme öncesi	
	Toplam LAB sayısı (MRSA) (log- kob/g)	Toplam maya sayısı (YGCA) (log-kob/g)
Balıkesir-1	7,61±0,14	6,75±0,11
Balıkesir-2	7,31±0,21	7,02±0,03
Bilecik-1	7,92±0,21	<2,00
Bilecik-2	7,90±0,14	6,18±0,19
Bursa-1	8,16±0,16	6,18±0,07
Bursa-2	6,62±0,07	6,11±0,07
Çanakkale-1	6,18±0,09	<2,00
Çanakkale-2	5,20±0,27	4,40±0,07
Yalova-1	7,63±0,07	5,40±0,09
Yalova-2	7,50±0,02	5,35±0,14
Fruktan değeri düşük çıkan hamurlarda aktifleştirme sonrası		
Balıkesir-1	7,48±0,07	5,30±0,07
Bursa-2	8,19±0,00	<2,00
Fruktan miktarı düşük ekşi hamur örneklerinde (24 saat sonunda)		
Kontrol	<2,00	5,18
Balıkesir 1-2	10,71	<2,00
Bursa 2-2	9,86	<2,00

4.2. Ekşi Hamurların Frukta Analizi Sonuçları

Ekşi hamurlar, geleneksel olarak pek çok kültürde önemli bir besin kaynağı olmuştur. Bu hamurların lezzet, tekstür ve besin profillerini anlamak hem gıda endüstrisi hem de tüketiciler için önemli konulardan biridir. Bu bağlamda, ekşi hamurların içerisinde bulunan fruktan bileşenlerinin analizi, ürünün kalitesi ve besin değeri hakkında değerli bilgiler sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, ülkemiz Güney Marmara Bölgesinden toplanan ekşi hamurların fruktan içeriğinin detaylı bir analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, bu gıdaların besin profilini anlamak, üretim süreçlerini optimize etmek ve potansiyel sağlık faydalarını ortaya koymak amacıyla değerlendirilmiştir.

Ülkemiz Güney Marmara Bölgesindeki farklı illerden toplanan ekşi hamur örneklerinin fruktan analizi sonucu Çizelge 4.2’de verilmiştir. Kontrol örneği olarak ticari ekmek mayası (*S. cerevisiae*) ile fermente edilmiş hamur kullanılmıştır. Hamurların fruktan miktarları arasında önemli farklılıklar bulunmakla beraber, bu çeşitlilik aynı şehirden alınan ekşi hamur örnekleri arasında da görülmüştür. Ekşi hamur örneklerinin fruktan miktarlarının genel olarak 1016 ppm ile 167 ppm değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca ekşi hamur örneklerinden elde edilen en düşük fruktan değerleri tabloda koyu renkli olarak gösterilmiş ve fruktan değeri düşük çıkan ekşi hamurlardan elde edilen laktobasil izolatlarının da fruktan indirgeme özellikleri incelenmiştir.

Güney Marmara Bölgesindeki illerden toplanan ekşi hamurların fruktan miktarları arasında fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Aynı şehirden alınan örnekler arasında da fruktan miktarındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Kontrol örneğinin fruktan miktarının ekşi hamur örnekleri ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak önemli derecede en yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Balıkesir-1 ve Bursa-2 kodlu ekşi hamur örneklerinin fruktan miktarı arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p<0,05$). Ancak, diğer örneklerle karşılaştırıldığında bu iki ekşi hamur örneğinin fruktan miktarı en düşük düzeyde tespit edilmiştir. Bu nedenle, Balıkesir’den alınan 1. No’lu ekşi maya örneği ve Bursa’dan temin edilen 2. No’lu ekşi maya örneğinden laktobasil izolasyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.2’de Kontrol örneğine göre % azalma değerleri incelendiğinde ise fruktan miktarında azalma %40 ile %83 oranında değiştiği tespit edilmiş ve toplanan örneklerin çoğunluğunda %50 oranı ve yukarısında azalamalar tespit edilmiştir. Tezin bu aşamasında tespit edilen en yüksek oranda fruktan azaltma potansiyeli olan Balıkesir-1 (%78,740) ve Bursa-2 (%83,514) örneklerinde izolasyon çalışması yapılmıştır.

Çizelge 4.2. Ekşi hamurlardaki fruktan miktarı

Ekşi hamurörnek kodu	Fruktan (ppm)	Kontrol örneğine göre % azalma
Kontrol	1016±112 ^a	
Balıkesir-1	216±6,25 ^{fg}	78,740
Balıkesir-2	400±10,23 ^{de}	60,630
Bursa-1	561,5±8,71 ^{bc}	44,734
Bursa-2	167,5±1,14 ^g	83,514
Çanakkale-1	300±6,21 ^{ef}	70,472
Çanakkale-2	415±5,41 ^d	59,154
Yalova-1	609,5±15,42 ^b	40,010
Yalova-2	297,5±4,50 ^{ef}	70,719
Bilecik-1	506,5±1,75 ^{cd}	50,148
Bilecik-2	481,5±3,45 ^{cd}	52,608

*LSD testinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmaktadır(p<0,05).

Menezes vd. (2018)’nin yaptıkları çalışmada, ekşi hamur fermantasyonunun ekmeğin içerdiği sakaroz, fruktoz, glukoz ve fruktanların miktarını önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Çalışmada fruktanların azalmasının özellikle belirgin olduğu, ekşi hamur ekmeğinin *S. cerevisiae* ile fermente edilen ekmeğe göre %69 ve %75 daha az fruktan içerdiği bildirilmiştir. Çalışma ayrıca, ekşi hamur fermantasyonunun ekmeğin içerdiği diğer bazı karbonhidratların, örneğin sorboz ve mannitolün, içeriğini artırdığını göstermiştir. Sorboz ve mannitol artışının, ekşi hamurda bulunan laktik asit bakterilerinin aktivitesine bağlı olabileceğini, LAB’nın fruktanları fermente ederek laktik asit ve diğer yan ürünleri, sorboz ve mannitol dahil üretebileceği ifade edilmiştir.

Menezes vd., (2019) tarafından farklı ekşi hamur mayalarının hamur fermantasyonu ve ekmekteki fruktan içeriği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Fruktan içeriği, ekşi hamur

mayası ile yapılan ekmeklerde ticari maya ile yapılan ekmeklere kıyasla önemli ölçüde daha düşük olduğu görülmüştür. Frukthanların azalması, ekşi hamur mayasıyla yapılan ekmeklerde %92,6, %79,0 ve %70,4 olarak gerçekleşmiştir. Çalışmada LAB başlangıç kültürlerinin dikkatli seçiminin ekşi hamurun üretimini kısa sürede artırabileceği ve ekmekteki fruktan içeriğini azaltabileceği sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda ekşi hamur kullanımının ekmeğin FODMAPs içeriğini azaltmak için umut verici bir yöntem olduğu ve aynı zamanda ekmek kalitesini koruduğu belirtilmiştir.

Acín Albiac vd. (2020)'nin yaptığı çalışmada, ticari enzimlerin ve fruktofilik laktik asit bakterilerinin (FLAB) buğday hamuru fermantasyonu sırasında fruktanları hidrolize etme ve fruktozu tüketme konusundaki tamamlayıcı kapasitesi araştırılmış ve FLAB suşlarının, geleneksel ekşi hamur kaynaklı laktik asit bakterilerine kıyasla daha yüksek fruktoz tüketim oranı sergilediği tespit edilmiştir.

Borowska vd. (2023) farklı ortamlardan 244 doğal LAB suşunu izole etmiş ve bu suşları tam buğday ekmeğinin FODMAPs içeriğini azaltma yetenekleri açısından incelemiştir. Çalışmada *Lactiplantibacillus plantarum* FST1.7, *Lactocaseibacillus paracasei* R3 ve *Pediococcus pentosaceus* RYE106 olmak üzere üç suşun FODMAPs bileşiklerini en etkili şekilde azalttığı bulunmuştur. Araştırmacılar daha sonra bu üç suşu kullanarak tam buğday ekmeği üretmişler ve bu suşlarla yapılan ekmeğin, ticari ekmek mayasıyla yapılan ekmeklere göre önemli ölçüde daha düşük FODMAPs içeriğine sahip olduğu, ayrıca ekmekte tat, doku ve iç yapı gibi duyuşal özellikler açısından da iyileşme görüldüğü ifade edilmiştir. Yine aynı çalışmada, homofermentatif LAB kullanımının tam buğday ekmeğinin FODMAPs içeriğini azaltmak için umut verici bir yöntem olduğu ve ekmek kalitesini koruduğu belirtilmiştir. Bu uygulamanın genellikle FODMAPs bileşiklerinin sindiriminde zorluk yaşayan İBS'li bireyler için faydalı olabileceği ifade edilmiştir.

Tez çalışmasında elde edilen analiz sonuçları yukarıda özetlenen çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Bununla beraber literatürdeki birçok çalışmada çalışılan örnekler laboratuvar ortamında kontrollü koşullarda geliştirilen hamur ortamlarının fruktan ve FODMAPs analizlerini içermektedir. Birçok çalışmada ise starter kültür kullanımına

dayalı fruktan azaltımı söz konusu olmuştur. Gerçekleştirilen tez çalışmasında laboratuvar ortamında kontrollü koşullarda üretilen hamur örneklerinden farklı olarak ülkemiz Güney Marmara Bölgesinde geleneksel olarak üretilen ve ekmek yapımında kullanılan ekşi maya örneklerinin fruktan içerikleri ve LAB ve maya yükleri örneklerde ilk toplanma ve aktifleştirme sonrasında öncelikle belirlenmiştir. Fruktan içerikleri ticari ekmek mayasına kıyasla en düşük bulunan ekşi maya örneklerinin potansiyel fruktan azaltıcı izolat taşıyıcısı olduğu düşünülerek laktobasil izolasyonu işlemi bu örneklerde gerçekleştirilmiştir.

4.3. Ekşi Hamur Kaynaklı Laktobasil İzolatlarının Mannitol Kullanım Özelliklerinin Belirlenmesi

Ekşi hamur fermantasyonu sırasında fruktanlar kısmen parçalanırken, fruktozun bir kısmı mannitole dönüşmektedir. Bu nedenle, FODMAPs miktarını doğru bir şekilde belirlemek için ekşi hamur ekmeğinde mannitol seviyelerinin de ölçülmesi gerektiği belirtilmektedir. Ekşi hamur fermantasyonunda fruktanların hidrolizi maya tarafından, fruktanların metabolizması ise laktik asit bakterileri tarafından gerçekleştirilmektedir (Loponen & Gänzle, 2018). Bu nedenle elde edilen laktobasil izolatlarının fruktan indirgeme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla izolatların mannitol tüketim kabiliyetleri ve oranları da değerlendirilmiştir.

Laktik asit bakterileri, glikoz, fruktoz, laktoz ve mannitol gibi şekerleri fermente ederek laktik asit üretmekte ve besiyeri pH'ını düşürmektedir. İzolatların mannitol kullanımının kalitatif ölçümü için kullanılan MYP agarın yapısında bulunan mannitol, LAB izolatları tarafından parçalanır ve besi yerinde ki maddelerini kullanarak çoğalmaya başlayan bakteriler bir süre sonra, MYP agar içinde ki agarın pH'ını düşüren bakteriler CaCO_3 ile etkileşime girmeye başlar. Bu durum, bakterilerin hücre zarlarının ve hücre duvarlarının parçalanmasına bakterilerin ölmesine ve agarda şeffaf bir zon oluşmasına neden olmaktadır. Mannitolün kullanımı, laktik asit bakterilerinin izolasyonu ve tanımlanması için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, laktik asit bakterilerini diğer bakterilerden ayırt etmeyi sağlar (Acín Albiac vd., 2020). Balıkesir şehrinden toplanan

ekşi hamurlardan edilen laktobasil izolatlarında MYP agarda zon oluştuğu görülmüştür (Şekil 4.4).

Besinlerde mannitol kullanarak FODMAPs miktarında düşüş farklı yollarla olabilmektedir. Bunlar;

- Ekşi hamurda bulunan mannitol, LAB için bir besin kaynağı olarak kullanılarak (Zheng vd., 2015; Lopenen & Gänzle, 2018),
- Heterofermentatif LAB'nin fermantasyon sırasında fruktoz moleküllerini kısmen mannitole dönüştürerek, mannitol dehidrojenaz aktivitesi ile elektron alıcısı olarak kullanılarak (Erten, 1998; Helanto vd.,2005),

FODMAPs miktarında düşüşe neden olur. Bu yüzden fruktanı veya mannitolü tüketen potansiyel LAB'ni belirlemek çalışma için önemlidir. Çizelge 4.4'de fruktan düşürücü laktobasil izolatlarının karakterizasyonu verilmiştir.

Çalışmada ayrıca besiyerinde geliştirilen izolatların mannitol tüketim miktarlarının belirlenmesi amacıyla HPLC ile mannitol analizi yapılmıştır. Bu kapsamda mannitol standartlarının validasyon ve geri kazanımlarının belirlenmesi için 5 noktada (5,0- 1,0- 0,5- 0,2 ve 0,1 mg/mL) 3'er tekrarlı analiz yapılmış ve kalibrasyon eğrileri buna göre çizilmiştir.

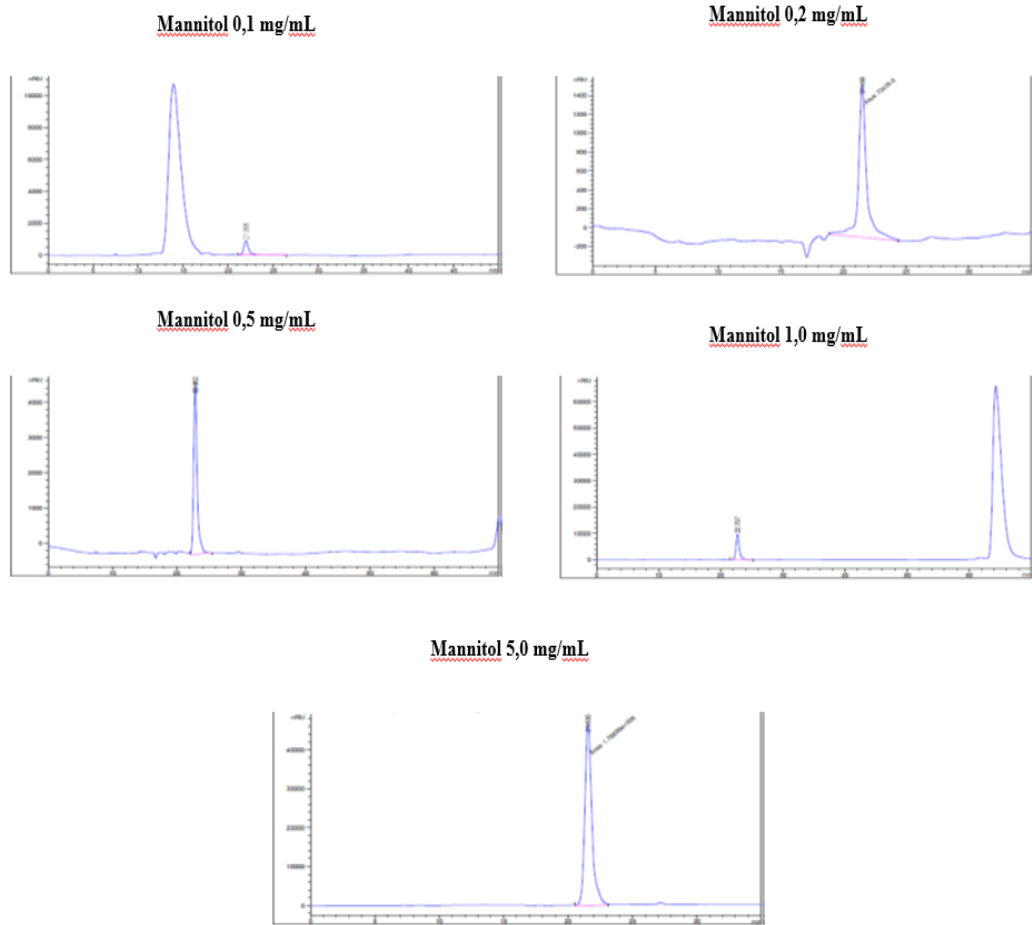
Tespit limiti (Limit of Detection) (LOD); analitin tespit edilebildiği en düşük analit konsantrasyonudur. Tayin limiti (Limit of Quantification) (LOQ); analitin miktar tayininin yapılabildiği en düşük analit konsantrasyonudur.

Mannitol için HPLC cihazının tayin limiti (LOQ) ve tespit limiti (LOD), belirsizlik (%) ve kalibrasyon aralığı Çizelge 4.3'de verilmiştir. Şekil 4.2'de HPLC analizinden elde edilen kromatogramlardan elde edilen standart kurve verilmiştir. HPLC yönteminin LOQ değerleri, 58,05, LOD değeri 18,05 şeklinde, determinasyon katsayıları ise 0,9983, belirsizlik değerleri %11,8, kalibrasyon aralığı 5000- 1000- 500- 200- 100 ppm tespit

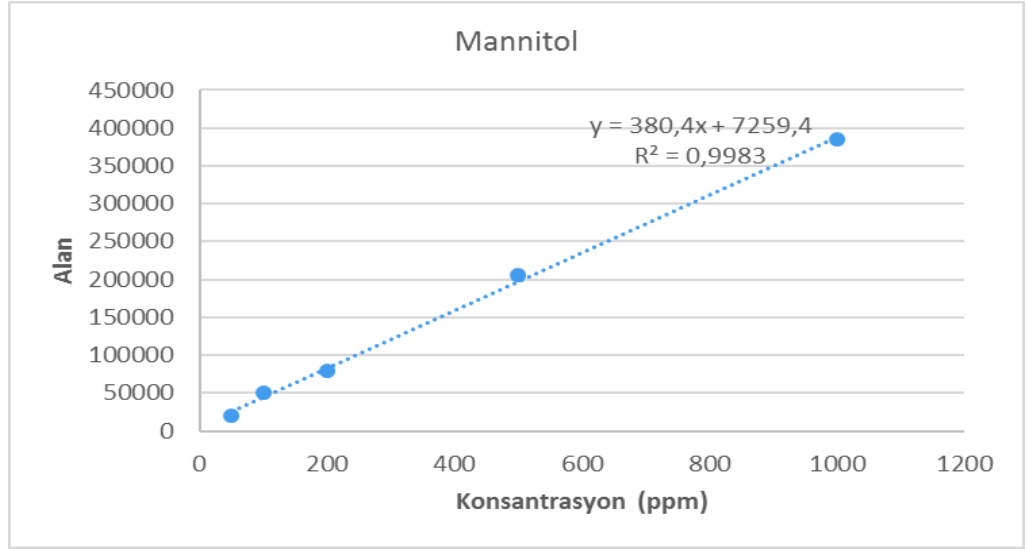
edilmiştir. Şekil 4.3’de Balıkesir 1-3 izolatının mannitol kromotogramı görseli verilmiştir.

Çizelge 4.3. Mannitol için HPLC cihazının tayin limiti (LOQ), tespit limiti (LOD) belirsizlik (%) ve kalibrasyon aralığı

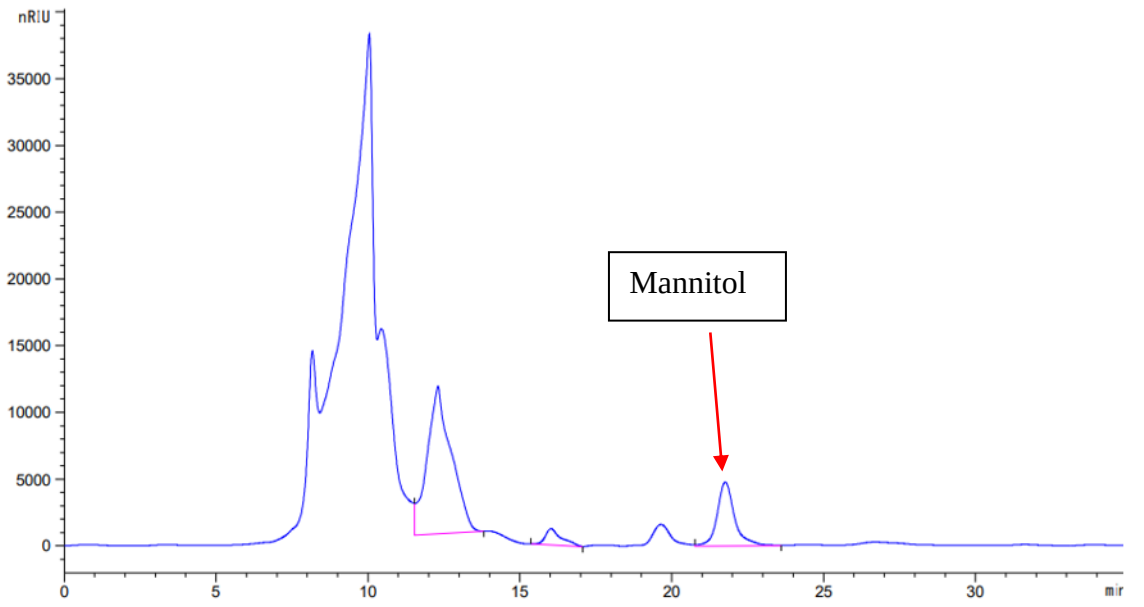
	Mannitol
R ²	0,9983
LOQ (ppm)	58,05
LDQ (ppm)	18,05
Belirsizlik (%)	11,8
Kalibrasyon aralığı (ppm)	5000- 1000- 500- 200- 100



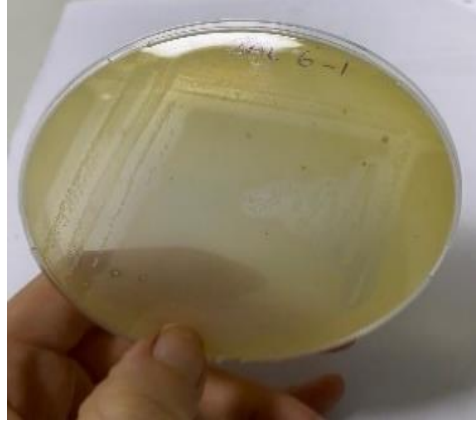
Şekil 4.1. Mannitol standardının enjeksiyonu ile elde edilen kromotogram



Şekil 4.2. HPLC analizinden elde edilen kromotogramlardan elde edilen standart kurve



Şekil 4.3. Balıkesir 1-3 izolatının mannitol kromotogramı



Şekil 4.4. MYP agarda mannitol kullanımına bağlı zon oluşumu

Çizelge 4.4. Fruktan düşürücü laktobasil izolatlarının karakterizasyonu

İzolat kodu	Gram boyama	Katalaz	MYP agarda zon oluşumu	Süpernatant içindeki mannitol konsantrasyonu (ppm)
Balıkesir-1-1	Gram (+)	Negatif	Negatif	888±14 ^f
Balıkesir-1-2	Gram (+)	Negatif	Pozitif	226,1±32^h
Balıkesir 1-3	Gram (+)	Negatif	Negatif	500,6±68 ^g
Balıkesir 1-4	Gram (+)	Negatif	Negatif	1603±150 ^e
Balıkesir 1-5	Gram (+)	Negatif	Negatif	1738±119 ^e
Bursa 2-1	Gram (+)	Negatif	Negatif	3285±100 ^d
Bursa-2-2	Gram (+)	Negatif	Negatif	11410±255^a
Bursa 2-3	Gram (+)	Negatif	Negatif	1718±100 ^e
Bursa 2-4	Gram (+)	Negatif	Negatif	9120±100 ^c
Bursa 2-5	Gram (+)	Negatif	Negatif	9642±110 ^b

Çizelge 4.4’de izolatların süpernatantlarındaki mannitol miktarının 226- 11410 ppm arasında değiştiği görülmüştür. Bu analiz sonuçlarına göre Bursa 2-2 izolatının en yüksek, Balıkesir 1-2 izolatının ise en düşük mannitol değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Balıkesir 1-4, Balıkesir 1-5 ve Bursa 2-3 izolatları arasında mannitol konsantrasyonu yönüyle istatistiksel açıdan ($p<0,05$) önemli bir fark oluşmadığı tespit edilmiştir.

Mannitol, ekşi hamurların tanınmış bir bileşenidir ve ekmeklerdeki konsantrasyonu hammaddelerin kontrolü, mannitolü fermente eden LAB kullanımı ve fermantasyon süresinin kontrolü ile minimize edilebilir (Loponen & Gänzle, 2018). Mannitol konsantrasyonu LAB izolatlarında farklılık göstermektedir, yapılan çalışmalarda maya suşları kullanılarak maya invertaz enzimi sayesinde yapılan ekmeklerde mannitol miktarı azalmıştır (Shewry vd., 2021). Çalışma kapsamında;

- Zon oluşturan, düşük konsatrasyonda mannitol içeren (Balıkesir-1-2),
- Zon oluşturmayan yüksek konsatrasyon da mannitol içeren (Bursa-2-2),

Izolatlar seçilerek izolatların ekmek yapımı sırasında potansiyelleri araştırılmıştır.

4.4. Laktobasil izolatlarında *fruA* ve *fosE* Gen Varlığının Araştırılması

Çalışma kapsamında ekşi hamur laktobasil izolatlarında hücre dışı fruktanaz enzimi kodlayan *fruA* ve *fosE* genlerini taşıma durumları araştırılmış ve bu genler yönünden izolatlar negatif bulunmuştur.

Li vd., (2020), laktobasil türlerinde genellikle düşük polimerizasyon derecesine sahip fruktanların hücre içi hidrolizi ile metabolize edildiğini, *fruA* ve *fosE* genleri tarafından kodlanan hücre dışı fruktanaz enzimlerinin ise laktobasillerde birkaç çalışmada gösterilmekle birlikte nadir olduğunu belirtmektedir.

Fang vd., (2021) çalışmasında β -fruktosidaz kodlayan *fosE* geninin *Lactobacillus paracasei*'de mevcut olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada *L. paracasei* FJSSZ3L1 izolatının, %86,57 düzeyinde, fruktanları etkili bir şekilde parçalayabildiği belirlenmiş ve *L. paracasei* izolatı ile ekşi hamur fermantasyonu sırasında fruktan içeriğinde azalma tespit edildiği belirtilmiştir.

Yapılan çalışmada elde edilen izolatların fruktan degradasyon özelliği belirlenmesine karşın *fruA* ve *fosE* genlerinin Li vd., (2020) ve Afidah vd., (2019) tarafından kullanılan

bu genlere spesifik primerlerle tespit edilmemesinin, izolatlardaki fruktan parçalayıcı faktörün hücre içi hidroliz ve diğer metabolizma faaliyetleri sonucu gerçekleşmiş olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle hücre dışı fruktanaz enzimini kodlayan genler yönünden negatif bulunmasına karşın fruktan indirgeme potansiyeli olduğu belirlenen Balıkesir 1-2 ve Bursa 2-2 kodlu laktobasil izolatları kullanılarak ekmek ekmek üretim denemelerine karar verilmiştir.

4.5. Fruktan Azaltıcı Laktobasil İzolatları ile Fonksiyonel Ekmek Üretimi ve Ekmeklerin Kalite Karakteristiğinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında 24 ve 48 saatlik hamur fermentasyonu sonunda fruktan miktarını en çok azaltan laktobasil izolatları ile üretilen ekmek hamurlarının fruktan değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Örnekler arasında ki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Aynı zamanda 48 saatin sonunda tüm hamur örneklerinin fruktan miktarında önemli düzeyde azalma saptanmıştır.

Çizelge 4.5. Seçilen laktobasil izolatları ile fermete edilen hamurların fruktan değerleri

İzolat kodu	Fruktan (ppm)
Balıkesir 1-2 24h	3180±5,71 ^d
Balıkesir 1-2 48h	1060±4,89 ^e
Bursa 2-2 24h	6240±2,44 ^a
Bursa 2-2 48h	320±4,45 ^f
Kontrol 24 h	6120±4,08 ^b
Kontrol 48 h	5620±5,31 ^c

*LSD testinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmaktadır($p<0,05$).

Çalışmalarda farklı ekmeklerin FODMAPs içerikleri seçilen tahıl, hamur hazırlama ve prosese bağlı olarak değişmekle birlikte en önemli faktörün fermentasyon olduğu ortaya konulmuştur. Fermentasyon süresi ile fruktan miktarındaki azalma arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır (Menezes vd., 2018; Pejcz vd., 2019; Ziegler vd., 2016).

Yapılan çalışmalarda, ticari maya kullanımı ile beraber 4,5 saatlik bir mayalama süresi sonunda fruktanların buğday ekmeğinde %90 ve spelt ekmeğinde %77 (Ziegler vd., 2016) arasında azaldığı tespit edilmiştir. Pejcz vd. (2019) hamur fermentasyon süresinin uzamasıyla, ortalama fruktan içeriğinin 4400 ppm'den (60 dakika) 2800 ppm seviyesine (150 dakika) düştüğünü ifade etmiştir. Ortalama olarak, 150 dakikalık hamur fermentasyonu, 60 dakikalık fermentasyon süresi ile karşılaştırıldığında ekmekteki fruktan içeriğini %37 azalttığı belirtilmiştir. Struyf vd. (2017)'nin yaptıkları çalışmada ise hamur fermentasyonunun 60 dakika sonrasında buğday ekmeğinin fruktan içeriği %45 azalırken, hamur bir saat daha fermente edildiğinde %32 azaldığı rapor edilmiştir. Anjum vd. (2008) ekmek hamuru fermentasyon süresinin uzun olmasının fruktan miktarında ciddi bir düşüşe neden olduğu özellikle 48 saatlik bir fermentasyon sonunda fruktan içeriği 320 ppm kadar düştüğünü bildirmiştir. Kontrol örneklerinde fruktan içeriği fermentasyonun 24. saatinde 6120 ppm iken 48 saatin sonunda 5620 ppm'e düşmüştür.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, fermentasyon süresinin elde edilen ekmeğin lezzeti ve dokusu üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Özellikle fermentasyon süresinin artmasıyla beraber hamurda bulunan FODMAPs miktarlarının azaldığı yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Bu nedenle yapılan çalışmalarda fermentasyon süresiönemli bir kriter olarak belirlenmiştir. Ekmek yapımı öncesi fermentasyon süresinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Fermentasyon süresinin belirlenmemesi durumunda veya uzun süre fermentasyon uygulanan ekşi hamurlarda laktik asit üretimi artarak, hamurun tadını daha asidik ve keskin hale getirmektedir. Ayrıca laktik asit üretiminin yanı sıra, diğer uçucu bileşiklerin üretimi de artabilmekte ve hamurda istenmeyen kokulara ve ekmek üretiminde kalitesel açıdan uygun olmayan hamur ve ekmek oluşmasına neden olabilmektedir. Tez çalışmasında uzun süreli fermentasyonun (48 saat) sonunda fruktan değerlerinde düşüş görülmesinin yanı sıra asitliğin ekmeğin duyuusal kalitesini olumsuz etkileyebilecek şekilde arttığı saptanmıştır. Bu nedenle laktobasil izolatları ile üretilen ekmekte fermentasyonun 24 saat süreyle uygulanmasına karar verilmiştir. Yukarıda ki paragrafta bahsedilen çalışmalar (Ziegler vd., 2016; Pejcz vd., 2019; Struyf vd.,2017; Anjum vd., 2008) ile Çizelge 4.6'teki fruktan değerleri karşılaştırıldığında, literatür ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

4.6. Ekmek Üretiminde Kullanılan Unda Yapılan Analizler

Ekmek üretiminde kullanılan tam buğday ununda yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Tam buğday unu örneklerinin nem, kül, protein ve yaş gluten içeriği sırasıyla %13,10, %1,38, %13,80 ve %32,5 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6)

Çizelge 4.6. Tam buğday unu analiz sonuçları

Nem %	13,10
Kül %	1,38
Protein %	13,80
Yaş gluten %	32,5

Liu vd. (2017) yaptıkları çalışmada farklı oranlarda tam buğday unu kullanarak tortilla ekmeği üretmiş ve reolojik özelliklerini incelemiştir. Nem miktarları %8,7-10, protein %12,23-12,91, kül %1,50-1,55, yaş gluten ise %22,65-30,67 arasında değişmiştir.

Kundu vd. (2019) yaptıkları çalışmada Hindistan buğday çeşitleri arasındaki tahıl, un ve hamur reolojik özelliklerindeki çeşitliliği değerlendirmeyi ve bunların chapatti ekmeği kalitesi ile ilişkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Analiz sonuçlarına göre tam buğday unlarının nem ve kül içeriği sırasıyla %6,0- %11,7 ve %1,27- %1,93 arasında ayrıca protein değerleri %9,63- %14,76 arasında değiştiğini bildirmiştir.

İlerigiden vd. (2020) tam buğday unu ile ekşi hamur yöntemi kullanılarak simit üretimi gerçekleştirmiştir. Buna göre kullanılan tam buğday ununun nem miktarı %10,42 olarak, kül miktarı %1,52, protein miktarı ise %13,71 olarak bulunmuştur.

Gür (2022)’ün yaptığı tez çalışmasında ekmeklik buğday çeşitlerinin yaş gluten değerleri %32,2-49,2 arasında değiştiğini saptamıştır.

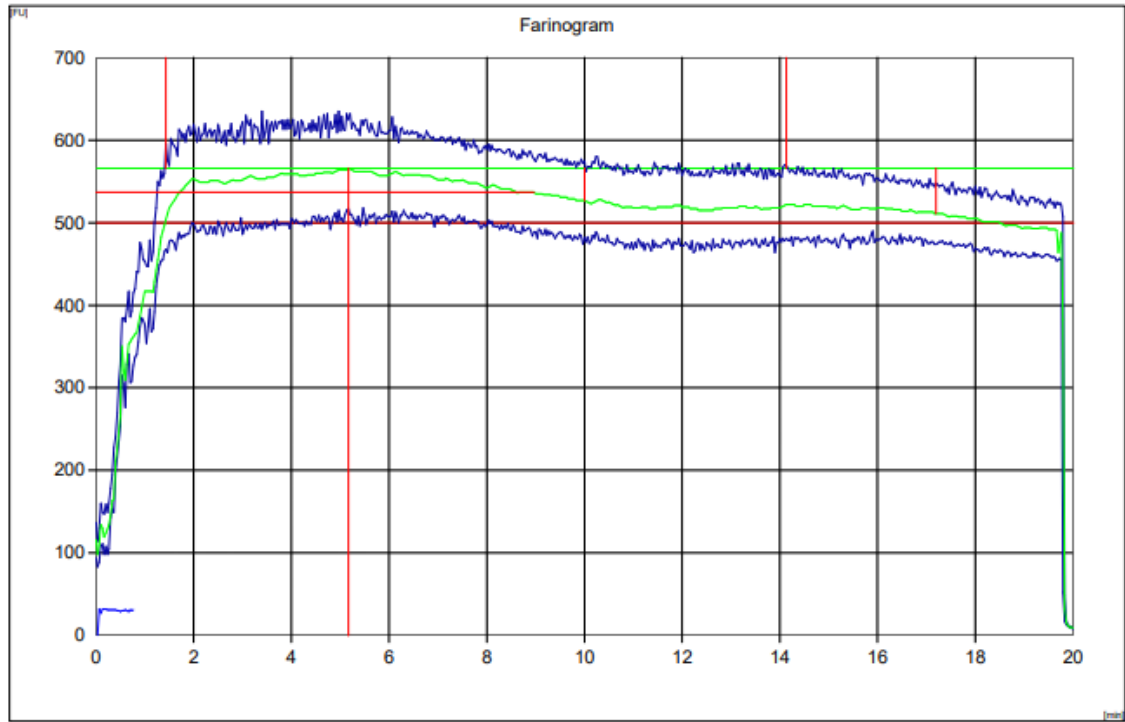
Yapılan analiz sonuçları yukarıda ifade edilen çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

Üretimde kullanılan tam buğday ununun farinograf şemaları Şekil 4.5 ve ekstensograf şemaları Şekil 4.6'de verilmiştir. Farinograf analiz sonuçlarına göre kullanılan tam buğday unun su absorpsiyonu değeri %73,2, hamurun gelişme süresi 5,2 dk, hamurun stabilitesi 12,7 dk, başlangıçtan 10 dk. sonra yumuşama derecesi 39 BU ve yumuşama derecesi 55 BU bulunmuştur.

Literatürde yer alan diğer çalışamalar ile karşılaştırıldığında; İlerigiden vd., (2020), buğday ununun farinograf ile su absorpsiyonu değerinin %67,91, gelişme zamanını 8,1 dk, stabilitesini 6,5 dk. ve yumuşama süresini 69 BU olarak belirlemiştir. Diğer çalışmalarda tam buğday unu için su absorpsiyonu %54,3-73,8, gelişme zamanı 6,5-17 dk ve stabilite 5-11,8 dk aralığında belirlenmiştir (Scheuer vd., 2014; Ünüvar, 2013; Olu-Owolabi vd., 2011; Rebellato vd., 2017).

Gür (2022)'ün yaptığı çalışmada farinograf gelişme süresi ortalama 13 dk. olarak bulunmuş, bu değer çeşide göre 5,8-25,0 dk. arasında belirlenmiştir. Farinograf su absorpsiyonu değerleri ortalama %64,1 olarak tespit edilmiş olup %55,6-70,2 arasında değişim göstermiştir. Farinograf stabilite değerleri belirlenmiş olup, ortalama 13,7 dk. olarak tespit edilmiştir. Araştırmada çeşitlerin 10. dk.'lık yumuşama değerleri 3,5-74,5 BU arasında değişmiş olup ortalama 22,9 BU olarak bulunmuştur.

Farinograf analiz sonuçları un çeşidine göre farklılık gösterebilir literatür ile benzer sonuçlar tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Farinograf analiz sonuçları

Çizelge 4.7. Farinograf analiz sonuçları

Su absorpsiyonu değeri (%)	73,2
Hamurun gelişme süresi (dk)	5,2 dak
Hamurun stabilitesi (dk)	12,7 dak
Başlangıçtan 10 dk. Sonra yumuşama derecesi (BU)	39 BU
Yumuşama derecesi (BU)	55 BU

Tam buğday ununun ekstensograf (Şekil 4.6 ve Çizelge 4.8) analizinde ortalama, enerji 65,67 cm², hamur direnci 55,67 BU, uzama kabiliyeti 101,33 mm, maksimum direnç (tepe yüksekliği) 471,00 BU olarak bulunmuştur.

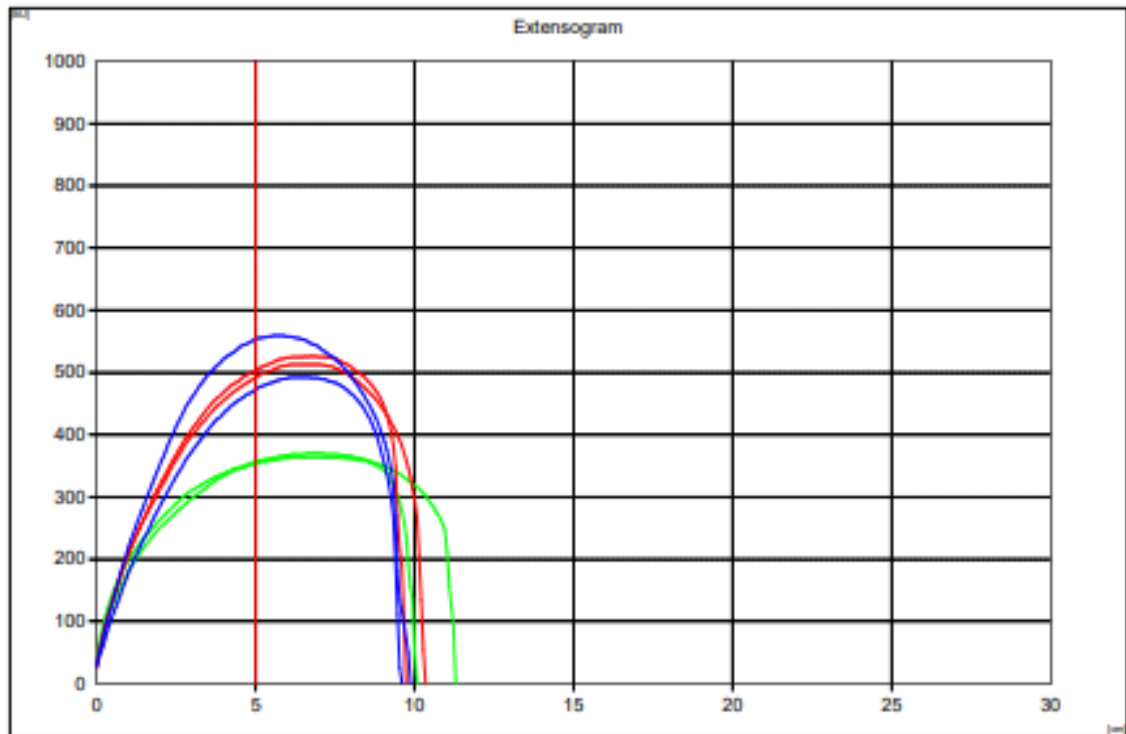
Çizelge 4.8. Ekstensograf analiz sonuçları

Süre (dk)	45	90	135	Ortalama
Enerji (cm²)	57	72	68	65,67
Hamur direnci (BU)	355	498	514	455,67
Uzama kabiliyeti (mm)	107	100	97	101,33
Maksimum direnç (tepe yüksekliği) (BU)	367	520	526	471,00

Uslu (2022)'nin yaptığı tez çalışmasında ekşi hamur ekmeği üretmek amacıyla temin edilen un ile hamur oluşturabilmek için gerekli su miktarı %60,70, hamur gelişme süresi 2,40 dk olarak tespit edilmiştir. Bu şekilde elde edilen hamurun stabil kalma süresi ise 3,00 dk olarak belirlenmiştir. Ayrıca temin edilen unun ekstensograf analizi sonuçlarına göre bu undan elde edilen hamurun enerjisi 114,78 cm², uzamaya karşı direnci 511,89 BU, uzama kabiliyeti 137,11 mm, maksimum direnci 635 BU ve maksimum oran sayısı 4,66 BU/mm olarak tespit edilmiştir.

Kullanılan tam buğday ununun ekstensograf ile enerji değeri 41 cm² uzama kabiliyeti 122 mm ve maksimum direnç değeri ise 248 BU şeklinde ölçülmüştür. Bulunan değerlere benzer sonuçlar literatürlerle de desteklenmektedir (Rebellato vd., 2017; Demir & Elgün 2014; Wang vd., 2014).

Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği (2013/9)'ne göre kullanılan ekmeklik buğday ununun tebliğe uygun olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2013).



Şekil 4.6. Ekstensograf analiz sonuçları

4.7. Ekmekte Ağırlık, Hacim ve Spesifik Hacim Tespiti

Farklı laktobasil izolatları kullanılarak üretilen ekmeklere ait analiz sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Ekmek yapılırken hamur ağırlıkları eşit tutulmuş ve 67 g alınmıştır. Ekmek ağırlığı kontrol örneğinde 57,14 iken, izolat ilaveli ekmek ağırlığı Bursa 2-2 ekmeği için 58,09 g, Balıkesir 1-2 ekmeği için ise 58,78 g ölçülmüştür. Ekmeklerin haciminin 81,50-87,50 arasında olduğu belirlenmiş, kontrol örneğinin daha yüksek hacme sahip olduğu görülmüştür. Spesifik hacim değerleri ise 1,39 cm³/g ile 1,53 cm³/g arasında değişmiştir. Ekmeklerin arasında ağırlık ve hacim sonuçlarında istatistiksel açıdan önemli bir fark belirlenmemiştir (p<0,05). Spesifik hacim sonuçları ise 3 örnekte istatistiksel açıdan farklı bulunmuştur (p<0,05).

LAB, fırın uygulamalarında mayalama ajanı veya ekmeklerin lezzet ve doku kalitesi gibi özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır (Bottani vd., 2018; Gobetti vd., 2014). LAB'lerin ekmek hamurunu fermantasyonu ile unun nişasta granül yapısı etkilenebilmekte ve hamurun iç dokusu daha yumuşatılarak ekmeğin gaz depolama kapasitesi artırabilmektedir (Falade vd., 2013).

Ekmek spesifik hacmi, iki faktör tarafından belirlenmektedir: birincisi, ekmek fermantasyonu sırasında üretilen CO₂ gazının miktarı ve diğeri ise ekmek tarafından tutulan CO₂ gazının miktarıdır (Goesaert vd., 2005). LAB fermantasyon başlatıcıları buğday ekmeğinin hacmini artırabilmektedir (Wu vd., 2012). Maya ve LAB türleri karıştırıldığında ticari maya hamurun içindeki şekeri fermente ederek, büyük miktarda CO₂ üretmekte ve CO₂ hamur içinde oluşan gluten ağı tarafından tutularak, ekmek kabarık ve gözenekli hale gelmektedir. LAB türleri, maya fermantasyonunu teşvik ederek gaz üretimini artırabilmekte ve hamurun gazı tutma yeteneğini geliştirerek, spesifik hacmin artmasına neden olabilmektedir (Hu vd., 2023). Bu nedenle özellikle LAB ve maya suşları sinerjik bir çalışma etkisi göstermektedir.

Katina vd. (2006)'nin yaptığı çalışmada, çeşitli starter kültürler kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinin spesifik hacim değerleri ölçülmüş ve 3,4 ile 4,0 cm³/g arasında bulunmuştur. Başka bir çalışmada buğday tohumları kullanılarak ekşi hamur elde

edilerek ekmek yapılmıştır. Ekmeklerin spesifik hacim analizinin 2,24 ile 2,26 cm³/g arasında olduğu rapor edilmiştir (Rizzello vd., 2010). Bir başka çalışmada ise, soya fasulyesi ile yapılan hamurdan ekşi soya ekmeği üretilmiş ve bu ekmeklerin ortalama spesifik hacim değerleri 2,3 cm³/g olarak bulunmuştur (Yezbick vd., 2013). Plessas vd., (2008) çeşitli mikroorganizmalarla 30 ve 40°C'de 16 saat fermentasyon ile ekşi hamur ekmeği üretmiş ve bu ekmeklerin ortalama spesifik hacim değerini 2,14 cm³/g olarak belirtmiştir.

Uslu (2022) ise ekşi hamur ekmekleri için ortalama spesifik hacim değerini 2,01 cm³/g ve pH değeri 4,30 olarak belirlemiştir.

Çizelge 4.9. Laktobasil izolatları ile fermente edilen ekmeklerin fiziksel özellikleri

İzolat kodu	Hamur Ağırlığı (g)	Ekmek Ağırlığı (g)	Hacim (cm ³)	Spesifik Hacim (cm ³ /g)
Kontrol	67	57,14±0,27 ^a	87,50±2,04 ^a	1,53±0,04 ^a
Bursa 2-2	67	58,09±0,77 ^a	85,50±0,41 ^a	1,47±0,02 ^b
Balıkesir 1-2	67	58,78±0,13 ^a	81,50±1,22 ^a	1,39±0,02 ^c

*LSD testinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmaktadır(p<0,05).

Çalışmada laktobasil izolatları ile fermente edilerek üretilen ekmeklerin spesifik hacim değerlerinin literatür çalışmalarına kıyasla düşük olduğu görülmektedir. Bunun temel nedeninin çalışmada laktobasil izolatları ile birlikte maya suşunun kullanılmaması olduğu düşünülmektedir.

4.8. Ekmek örneklerinde pH, Titrasyon Asitliği Analizi, Renk ve Tekstür Analizleri

Fruktan değerlerini düşüren izolatlardan elde edilen ekmeklerin pH ve TTA analiz sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Kontrol örnekleri sadece ticari ekmek mayası olan *S. cerevisiae* ilave edilerek hazırlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre kontrol ekmeğinin pH değeri 3,93 ve TTA değeri 0,73 mL'dir. Bursa 2-2 izolatından yapılan ekmeğin pH

değeri 3,74 ve TTA değeri 1,23 mL'dir. Balıkesir 1-2 izolatından yapılan ekmeğin pH değeri 3,89 ve TTA değeri 1,1 mL'dir. Kontrol ve Balıkesir 1-2 ekmeklerinin pH değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark görülmemiştir ($p<0,05$). TTA değerleri ise istatistiksel açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$).

Selimović vd. (2014), iki farklı LAB suşunun karabuğday ekşi hamur krakerlerinin pH değerini 3,90 olarak belirlemiştir.

Bender vd. (2018) yaptıkları çalışmada, 7 farklı LAB suşu kullanarak karabuğday ekşi hamuru ile darı ekşi hamuru üretilmiş ve pH değerlerinin 3,76 ile 4,89 arasında değiştiğini bildirilmiştir.

Sümbül (2021) ekşi hamur ekmeklerinin üretiminde 15 saatlik fermantasyon sonrasında meydana gelen organik asitler nedeniyle titrasyon asitliğinin %0,31'den %0,75'e yükseldiğini tespit etmiştir. Aynı zamanda pH değerinin önemli bir şekilde 4,74'den değerinden 3,65'e düştüğü belirlenmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda ise fermantasyon sonrasında pH değerleri 3,12 (Yağmur, 2013), 4,20 (Di Cagno vd., 2004), 3,79 (Gaggian vd., 2007) ve 3,60 (Galli vd., 2019) olarak bulunmuştur.

Alkay vd. (2023)'nin yaptıkları "Farklı laktik asit bakteri suşları ile hazırlanmış kara buğday mayalı ekmeğin reolojik, dokusal ve fizikokimyasal özellikleri" konulu çalışmasında TTA değerini 1,08 ile 4,76 (% laktik asit) ve pH 3,80 ile 4,65 arasında belirlemiştir.

Düşük pH ve yüksek TTA değerleri hamurların daha uzun süre dayanmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, asitliğin artması hamura piştikten sonra daha iyi bir tat ve aroma sağlamaktadır.

Çizelge 4.10. Laktobasil izolatları ile elde edilen ekmeklerin pH ve TTA analizi

İzolat kodu	pH	TTA (%laktik asit)
Kontrol	3,93±0,01 ^a	0,73±0,21 ^c
Bursa 2-2	3,74±0,02 ^b	1,23±0,21 ^a
Balıkesir 1-2	3,89±0,01 ^a	1,1±0,08 ^b

*LSD testinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmaktadır(p<0,05).

Yapılan çalışmada renk analizinde kabuk rengi ve iç renk incelenmiş ve sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Pişilen ekmeklerin kabuk rengi ve iç renk görüntüleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Ekmeklerin kabuk rengi L^* değeri 50,10 ile 53,97 arasında, a^* değeri 8,04 ile 8,38 arasında, b^* değeri ise 26,14 ile 27,62 arasında değişmiştir. İç rengi incelendiğinde ise L^* değeri 52,66 ile 56,82 arasında, a^* değeri 4,23 ile 5,05 arasında, b^* değeri ise 18,77 ile 19,22 arasında değişmiştir. Kabuk içi ve iç renk değerlerinde istatistiksel açıdan önemli bir fark görülmemiştir(p<0,05).

Popov-Raljić vd. (2009)’nin yaptığı çalışmada farklı kompozisyonlardaki ekmeklerin (tam buğday, çavdar, arpa ve diyet ekmek) üç gün boyunca 24 saat arayla farklı renk ölçer cihazlarla ölçümlerini yapmışlardır. L^* değeri 55,54 ile 79,14 arasında, a^* değeri incelendiğinde -33,84 ile -7,08 arasında ve b^* değeri incelendiğinde 18,92 ile 28,36 arasında bulunmuştur.

Sümbül (2021)’nin yaptığı çalışmada fermentasyon süresi ve sıvı ekşi hamur oranı, ekmek kabuğu ve iç rengi değerleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmamıştır. Kabuk rengi için ortalama L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 69,16-15,04 ve 35,9 ve iç rengi için ise L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla ortalama 71,18- 2,53 ve 15,73 olarak bildirilmiştir.

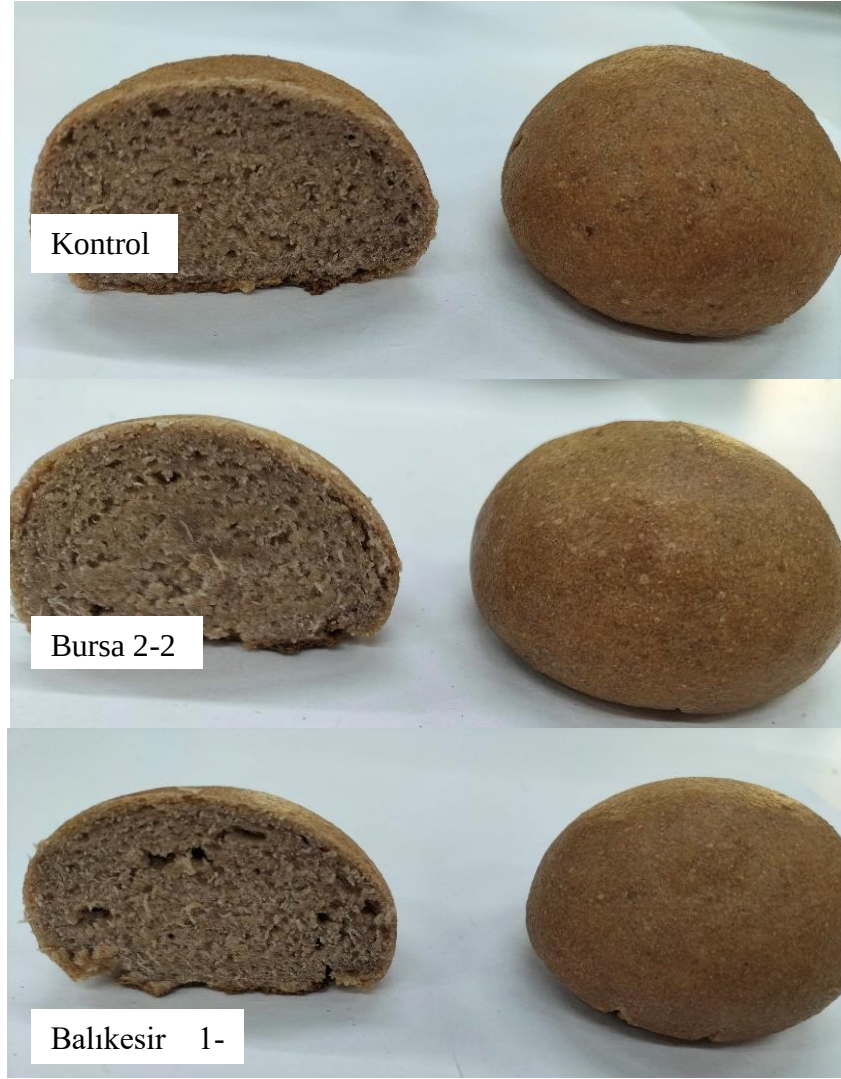
Karlıdağ vd. (2022)'nin yaptığı ekşi hamura farklı oranlarda keçiyoynuzu unu ilave ederek yaptığı ekmek çalışmasında renk değerleri incelendiğinde; L^* değerinin 32,01-76,84, a^* değerinin -1,78-15,92 ve b^* değerinin -0,23-23,31 olduğu rapor edilmiştir.

Sun vd. (2023)'nin yaptığı çalışmada, filizlenmiş buğday unu çeşitli oranlarda normal buğday ununa katılarak filizlenmiş buğday buharlı ekmek üretilmiştir. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre, L^* değeri 77,3 ile 80,0 arasında, a^* değeri -2,1 ile -1,1 arasında ve b^* değeri 14,4 ile 15,6 arasında bulunmuştur.

İncelenen diğer çalışmalarla ile yapılan analiz sonuçları paralellik göstermekle beraber renk değerlerinde farklılıkların olmasının en büyük nedeni literatürdeki çalışmalarda kullanılan un çeşidinin farklı olmasıdır.

Çizelge 4.11. Laktobasil izolatları ile elde edilen ekmeklerin renk değerleri

İzolat kodu	Renk değerleri					
	Kabuk rengi			İç Rengi		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
Kontrol	53,97±0,49 ^a	8,3±0,51 ^a	27,62±0,25 ^a	52,66±0,28 ^b	5,05±0,22 ^a	19,79±0,69 ^a
Bursa 2-2	52,52±0,3 ^{ab}	8,04±0,03 ^a	26,32±0,14 ^b	56,82±0,69 ^a	4,23±0,10 ^b	18,77±0,38 ^a
Balıkesir 1-2	50,19±0,72 ^b	8,38±0,2 ^a	26,14±0,71 ^b	56,71±0,42 ^a	4,31±0,18 ^b	19,22±0,63 ^a



Şekil 4.7. Fruktan azaltıcı laktobasil izolatları ile üretilen ekmekler

Yapılan çalışmada tekstür analiz sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir. Sertlik, esneklik, yapışkanlık, sakızımsılık, çiğnenebilirlik ve dayanıklılık değerleri incelenmiştir. Sertlik sonuçları, 21,12 N ile 25,66 N arasında, esneklik değeri 0,79 mm ile 0,89 mm arasında, yapışkanlık değeri 0,71 mm ile 0,79 mm, sakızımsılık değeri 15,05 ile 20,27, çiğnenebilirlik değeri 12,07 ile 17,29 arasında, dayanıklılık değeri ise 0,37 ile 0,41 arasında değişmiştir. Ek 2’de tekstür analiz diyagramı verilmiştir.

Çizelge 4.12. Laktobasil izolatları ile elde edilen ekmeklerin renk değerleri

İzolat kodu	Sertlik (N)	Esneklik (mm)	Yapışkanlık (mm)	Sakızımsılık (N)	Çiğnenebilirlik (N)	Dayanıklık
Kontrol	21,12±0,22 ^b	0,89±0,03 ^a	0,71±0,03 ^b	15,05±0,79 ^b	13,35±0,41 ^b	0,41±0,01 ^a
Bursa 2-2	21,41±0,84 ^b	0,79±0,04 ^b	0,72±0,06 ^{a,b}	15,34±0,64 ^b	12,07±0,14 ^b	0,38±0,02 ^b
Balıkesir 1-2	25,66±0,06 ^a	0,85±0,03 ^a	0,79±0,01 ^a	20,27±0,57 ^a	17,29±0,94 ^a	0,37±0,02 ^b

*LSD testinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistikî olarak önemli fark bulunmaktadır(p<0,05).

Ekmekler de yapılan tekstür analizi sonucunda sertlik değerleri incelendiğinde, Balıkesir 1-2 izolatu kullanılarak üretilen ekmekleri Kontrol ve Bursa 2-2 ekmeklerine göre önemli düzeyde yüksek olarak bulunmuş ve diğerleri arasında istatistiki açıdan farklılık tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Esneklik değerleri açısından, Kontrol örneği ile Balıkesir 1-2 örneğinde önemli bir fark görülmemişken ($p<0,05$), en düşük değere sahip Bursa 2-2 örneğinin diğerlerinden istatistiki açıdan farklı olduğu tespit edilmiştir.

Yapışkanlık değerlerinde, Bursa 2-2 ve Balıkesir 1-2 örnekleri arasında istatistiki açıdan farklılık tespit edilmemiştir ($p<0,05$).

Sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerleri incelendiğinde, Balıkesir 1-2 izolatu kullanılarak ile üretilen ekmekleri Kontrol ve Bursa 2-2 ekmeklerine göre önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

Dayanıklılık değerleri, Kontrol örneğinin Bursa 2-2 ve Balıkesir 1-2 ekmeklerine göre önemli düzeyde yüksek bulunmuş ve diğerleri arasında istatistiksel açıdan farklılık tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Karlıdağ vd. (2022)'nin ekşi hamura farklı oranlarda keçiyoynuzu unu ilave ederek yaptığı ekmek çalışmasında tekstür analizinde sertlik değeri incelenmiş ve sonuçlar 1,79 N ile 21, 22 N arasında değişmiştir.

Uslu (2022) ekşi hamur ekmeklerinin farklı pişirme teknikleriyle üretilmiş olan ekşi hamur ekmeklerinin tekstürel karşılaştırılmasında esneklik değeri 0,73-0,86, yapışkanlık (kohezyon) değeri 0,60-0,67, sakızimsılık değeri 20,57-31,64, çiğnenebilirlik 11,35-26,57 ve dayanıklılık (elastikiyet) 0,31-0,39 arasında değiştiği görülmüştür.

Alkay vd. (2023)'nin yaptıkları çalışmada farklı LAB izolatları kullanarak yaptıkları ekmeklerde tekstür analizleri incelendiğinde sertlik sonuçlarının 5,27 N-37,34 N arasında değiştiği görülmüştür. Esneklik sonuçları 0,88 mm-1,18 mm arasında,

yapışkanlık değerlerinin 0,87 mm-0,90 mm arasında ve sakızimsılık ise 0,57-0,60 arasında değiştiği bildirilmiştir.

Nouska vd. (2023) nohut ekşi mayası kullanarak ekmek yapmıştır. Buğday ekmeğinin tekstür özellikleri incelendiğinde sertlikleri 5 N ile 27 N arasında, esneklik sonuçları 0,79 mm ile 0,94 mm arasında ve yapışkanlık değerlerinin ise 0,37 mm ile 0,87 mm arasında değiştiği ifade edilmiştir.

Ekşi hamur kullanımının ekmek teknolojisinde etkileri ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça farklılık göstermektedir. Un türüne, ekşi hamur türüne, LAB suşuna, fermentasyon koşullarına vb. bağlı olarak, ekşi hamur fermentasyonu hem ekmek hacmi artışını ve dokunun yumuşatma etkisini olumlu (Rózyło vd., 2015) ya da olumsuz (Mariotti vd., 2014; Wolter vd., 2014) yönde etkileyebilmektedir. Bu yüzden yapılan çalışmalar ile elde edilen sonuçlar arasında farklılıklar olabilmektedir.

4.9. Organik Asit Miktarının Belirlenmesi

Ekşi hamur fermentasyonunu, fırıncılık teknolojisinde uzun bir geçmişe sahip olan ve günümüzde hala yaygın olarak kullanılan bir mayalama yöntemidir. Ekşi hamur fermentasyonunun ekmek dokusu ve raf ömrü üzerindeki çoğu olumlu etkisi, üretilen metabolitler yani organik asitler, ekzopolisakkaritler ve enzimler tarafından oluşturulmaktadır (Arendt vd., 2007). Ana metabolitlerden olan organik asitlerin iki önemli işlevi vardır:

- (i) Raf ömrünü uzatma. Organik asitler tarafından yaratılan optimal asidik ortam, amilaz aktivitesini artırabilmekte, nişasta retrogradasyonunu geciktirerek ekşi hamurun saprofit mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivitesini artırabilmektedir (Mohsen vd., 2016).
- (ii) Duyusal kaliteyi artırma. Organik asitlerden kaynaklanan sınırlı proteoliz, pişirme sırasında tat bileşiklerinin oluşumu için üretilen amino asitlerin birikmesine neden olabilmektedir. Ayrıca ekşi hamur, ekmeğin son şekline daha yüksek elastikiyet,

çekilme yeteneği ve belirli bir hacim sağlayabilir. Ek olarak, bazı organik asitler uçucu olmayan tat bileşikleri gibi davranabilir (Torrieri vd., 2014).

Asetik asit, laktik asit ve etil alkol, ekşi maya fermentasyonu sırasında mikroorganizmaların aktivitesi sonucunda ortamda oluşmakta ve ekmeğin benzersiz bir aroma kazanmasına neden olmaktadır. Araştırmalar, heterofermentatif LAB tarafından oluşturulan organik asitlerin ekşi maya ekmeği üretiminde aroma üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir. Laktik ve asetik asit, bu bileşiklerin öncüsüdür. Bunların dışında, propiyonik asit, izovalerik asit, n-bütirik asit, valerik asit gibi düşük miktarlarda oluşan diğer asitler bulunur. Asetik asit, ekmeğin güçlü bir aroma kazanmasını sağlarken, diğer aroma bileşiklerinin etkisini de artırmaktadır (Göçmen, 2001; Jayaram vd., 2013).

Organik asit analizinde kullanılan HPLC cihazının determinasyon katsayıları (R^2), tayin limiti (LOQ), belirsizlik (%), ve kalibrasyon aralığı Çizelge 4.13'de verilmiştir.

HPLC yönteminin LOQ (tayin limiti) değerleri, sırasıyla suksinik asit, laktik asit, formik asit, asetik asit, fumarik asit, propiyonik asit 8,17, 8,84, 7,66, 8,06, 5,92 ve 8,66 şeklinde, determinasyon katsayıları ise 0,9910 ile 0,9959 arasında tespit edilmiştir. Belirsizlik değerleri %0,2 ile %7,8 arasında değişmektedir. Kalibrasyon aralığı 0-100-200-300 ppm'dir.

Çizelge 4.13. HPLC cihazının tayin limiti (LOQ), belirsizlik (%) ve kalibrasyon aralığı

	Süksinik asit	Laktik asit	Formik asit	Asetik asit	Fumarik asit	Propiyonik asit
R²	0,9923	0,9910	0,9932	0,9925	0,9959	0,9913
LOQ (ppm)	8,17	8,84	7,66	8,06	5,92	8,66
Belirsizlik (%)	3,8	3,4	3,9	7,8	0,2	7,8
Kalibrasyon aralığı (ppm)	0-100-200-300					

Fruktan deęerini dūřüren izolatlar kullanılarak yapılan ekmeklerin organik asit miktarları izelge 4.14’de verilmiřtir.

Yapılan analiz sonuçlarında organik asitlerden suksinik asit, laktik asit, formik asit, asetik asit, fumarik asit, propiyonik asit değerleri incelenmiştir. Ekmeklerde formik asit, fumarik asit ve propiyonik asit tespit edilmemiştir. Sūksinik asit miktarı incelendiğinde kontrol, Bursa 2-2 ve Balıkesir 1-2 ekmekleri sırasıyla 32,3 ppm, 13,5 ve 33,0 pmm olduğu belirlenmiş ve kontrol rneęi ile Balıkesir 1-2 rneęi arasında istatistiksel olarak farklılık tespit edilmemiştir ($p<0,05$). Laktik asit içeriği incelendiğinde kontrol ekmeği için 6614 ppm dūzeyinde olduğu, Bursa 2-2 ve Balıkesir 1-2 ekmekleri için ise değerleri sırasıyla 8322 ve 8812,5 pmm olduğu grlmūř, Bursa 2-2 ile Balıkesir 1-2 rnekleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılık tespit edilmemiştir ($p<0,05$).

Kontrol örneęinin asetik asit miktarlarının yūsek (2233 ppm) olmasının temel sebebi, ticari maya (*S. cerevisiae*) kullanılmasıdır. Maya kullanımı özellikle son ūrūnde tadı etkileyen asetik ve sūksinik asitler gibi organik asitlerin ūretilmesinde önemli rol oynamaktadır (Jayaram vd., 2013). Ayrıca istatistiksel açıdan būtn örnekler arasında farklılık söz konusudur ($p<0,05$). Bursa 2-2 ve Balıkesir 1-2 ekmeklerinin deęerlerinin ise sırasıyla 1699 ve 1851 pmm olduęu tespit edilmiřtir. Ekmeklerde, farklı ekři hamurlardan izole edilmiř izolatların kullanılması örnekler arasında ūretilen organik asitlerin profilinde de farklılık göstermiřtir.

Çizelge 4.14. Ekmeklerin organik asit miktarları

İzolat kodu	Sūksinik Asit (ppm)	Laktik Asit (ppm)	Asetik Asit (ppm)
Kontrol	32,3±2,45 ^a	6614,5±1,51 ^b	2233±1,59 ^a
Bursa 2-2	13,5±0,78 ^b	8322±1,10 ^a	1699±1,63 ^c
Balıkesir 1-2	33,0±0,45 ^a	8812,5±4,90 ^a	1851±3,27 ^b

*LSD testinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmaktadır($p<0,05$).

Gidari-Gounaridou vd. (2023) fermente nohut mayasına dayalı kuru ekşi maya kullanarak üretilen glutensiz ekmeğin asetik asit miktarının 5 ile 35 ppm arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Literatürde ekmeklerin organik asit miktarları incelendiğinde süksinik asit değerinin 980,74 ile 5243 mg/kg, laktik asit değerlerinin 4874,74 ile 8722,24 mg/kg düzeyinde (De Luca vd., 2021), başka bir çalışmada ise laktik asit miktarının 3100 ile 4500 mg/kg arasında olduğu bulunmuştur (Gobbetti vd., 1995). Hadaegh vd. (2017)'nin yaptıkları farklı laktik asit bakterili ekşi hamurlarla hazırlanan tost ekmeğinde laktik asit miktarının 308,1 mg/kg ile 3301,2 mg/kg arasında olduğu tespit edilmiştir.

Asetik asit değeri incelendiğinde ise yapılan çalışmalarda 239,22 ile 1234,20 mg/kg (De Luca vd., 2021), 180 ila 600 mg/kg (Gobbetti vd.,1995) arasında tespit edilmiştir. Hadaegh vd. (2017)'nin yaptıkları çalışmada ise farklı laktik asit bakterileri ile üretilen ekşi hamurlarla hazırlanan tost ekmeğinde asetik asit konsantrasyonu 2,72 ile 47,54 mg/kg aralığında bulunmuştur.

Sonuçlar arasındaki fark, ekşi hamurun bileşimindeki farklı hammaddelerden (un, su, tuz, maya), farklı fermantasyon sürelerinden ve olgunlaşma süresinden kaynaklanabilmektedir. Ayrıca fermantasyon sırasında unun karbonhidrat ve protein içeriğinde mikrobiyal ve yerel enzimlerin etkisi nedeniyle biyokimyasal değişiklikler meydana gelmektedir (Arendt vd., 2007).

4.10. Ekmekte Frukta Analizi

Frukta değerini düşüren laktobasil izolatları kullanılarak elde edilen ekşi hamur ekmeği örneklerinin frukta içeriği Çizelge 4.15'de gösterilmektedir. Buna göre kontrol ekmeğinin frukta miktarı 2200 ppm, Bursa 2-2 ekmeğinin frukta miktarı 1500 ppm, Balıkesir 1-2 ekmeğinin frukta miktarı 1600 ppm düzeylerinde bulunmuştur. Ayrıca istatistiksel açıdan bütün örnekler arasında farklılık önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Laktobasil izolatı kullanılarak üretilen ekmek örneklerindeki frukta değerlerinde

sadece ticari maya kullanılarak üretilen kontrol örneğine göre %31,81 ile %27,83 oranında azalma görülmüştür.

Çizelge 4.15. Ekmeklerin fruktan miktarları

İzolot kodu	Fruktan (ppm)	Kontrol örneğine göre % azalma
Kontrol	2200±1,59 ^a	
Bursa 2- 2	1500±1,24 ^c	31,81
Balıkesir 1- 2	1600±1,64 ^b	27,83

Pejcz vd., (2019)'nin yaptıkları çalışmada 2 farklı un tipi farklı fermantasyon süreleri (60, 90, 120 ve 150 dakika) kullanarak 1. aşamada sadece maya, 2. aşamada ise maya ve saf *Lactobacillus plantarum* kültürü kullanarak fruktan içeriği azaltılmış buğday ekmeği üretmişlerdir. Ardından üretilen ekmeklerin kalite özellikleri (ekmek hacmi, kabuk ve iç renk, duyu özellikler) değerlendirilmiş ve fruktan içeriği belirlenmiştir. 2. aşamada maya ve saf *Lactobacillus plantarum* kültürü kullanarak fruktan içeriği azaltılmış buğday ekmekleri incelendiğinde ekmeklerin fruktan içeriği daha düşük bulunmuştur, hamur fermantasyon süresinin uzatılmasıyla birlikte fruktanın azaldığı görülmüştür. Ayrıca yapılan çalışmada fruktan miktarları 5800 ppm ile 2300 ppm arasında bulunmuştur.

Menezes vd., (2019)'nin yaptıkları bir çalışmada ekmeklerde fruktan seviyeleri 11500 ppm ile 2700 ppm bulunmuştur. Farklı maya, un çeşitleri ve farklı fermantasyon süreli ile yapılan çalışmalarda ise fruktan seviyeleri 2800 ppm ile 3100 ppm bulunmuştur (Laurent vd., 2020).

Li vd. (2020)'nin yaptıkları çalışmada, FruA enziminin laktik asit bakterilerindeki varlığı incelenmiş ve LAB türleri ile fermente edilen ekşi hamur ekmekte fruktan parçalanmasını, düz hamur işlemi ve geleneksel ekşi hamur fermantasyonu ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda 12 saat fermantasyondan sonra fruktan miktarının %0,5'in altına düştüğü, ayrıca farklı türlerde kullanılan LAB ile, tam buğday

ekşi hamurlarında yaklaşık %1 ve çavdar unu ekşi hamurlarında yaklaşık %2 düzeylerine fruktan içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir.

Siya vd. (2021)'nin yaptıkları çalışmada ise, özellikle fruktan olmak üzere FODMAPs'lerin parçalanması üzerinde laktobasil yapısındaki *fosE* geninin potansiyel etkisi araştırılmıştır. LAB'ın seçimine bağlı olarak, ekşi hamur fermentasyonu sırasında parçalanma mekanizması değerlendirilmiş ve ekşi hamur fermentasyonlu buğday ekmeğindeki toplam FODMAPs içeriği incelenmiştir. Sonuç olarak doğrudan hamurun içindeki başlangıç fruktan içeriği ile karşılaştırıldığında, 4 saatlik bir fermentasyon sonucunda fruktanın yaklaşık %50'si parçalanmıştır ve içerik 24 saatlik fermentasyon sonrasında 1700 ppm olarak bulunmuştur.

Fang vd. (2021)'nin yaptığı çalışmada *L. paracasei* ile ekşi hamur fermentasyonu sırasında fruktan içeriğinde azalma tespit edilmiştir. *L. paracasei* FJSSZ3L1 tarafından fermente edilen ekşi mayalı buharda pişirilmiş ekmeğin fruktan ve FODMAP içeriği sırasıyla 1900 ppm ile 3100 ppm arasında olduğu ve bu değerlerin IBS hastaları için kritik alım standartlarından önemli ölçüde düşük olduğu tespit edilmiştir.

Laurent vd. (2021)'nin yaptıkları çalışmada beyaz tost ekmeği, tam tahıllı tost ekmeği ve çavdar ekşi mayalı ekmeğinin yapılmasında *Kluyveromyces marxianus* CBS6014'ün mayası ile *Saccharomyces cerevisiae* mayasının fruktan hidrolizi karşılaştırılması yapılmıştır. Ekşi mayalı çavdar ekmeğindeki *K. marxianus* kullanımının fruktan düzeylerinde önemli bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir.

Radoš vd. (2022)'nin yaptıkları çalışmada farklı formülasyonlar (kepekli karabuğday ve darı, beyaz mısır, kabak çekirdeği unu, chia tohumları, keten tohumları, pirinç proteini, tatlı patates, ekşi maya ve baharat) ile yüksek lif ve düşük fruktan (1000 ppm ile 1200 ppm arasında) içeriğine sahip, duyuşal açıdan çekici krakerler geliştirmiştir.

Kulathunga vd. (2023)'nin yaptığı çalışmada, farklı starter kültürlerin ve taş değirmende öğütölmüş buğday unlarının ekşi hamur ekmeğinin beslenme özellikleri üzerine etkisini

değerlendirilmiştir. Yapılan ekmelerde fruktan değerleri 3000 ppm ile 1700 ppm arasında bulmuştur.

Yapılan tez çalışması kapsamında, kontrol örneklerinin fruktan değerinin laktobasil suşu kullanılarak üretilen örneklerle göre yüksek çıkması, kontrol örneğinde sadece maya kullanımı nedeniyle fermantasyon süresince, özellikle yüksek DP sahip fruktan yapısını oluşturan hem β -(2-1) hem de β -(2-6) bağlarının parçalanmamasından kaynaklanmaktadır (Medcalf & Cheung, 1971). Değerlendirilen çalışmaların sonucunda düşük FODMAPs (özellikle fruktan) içerikli ekmek üretilmesine yol gösterici olmuş ve uzun süre fermente edilen, LAB kullanılarak üretilen ekmeklerin düşük fruktan içeriği sayesinde ekşi hamur ekmeklerinin İBS semptomlarını hafiflettiği farklı çalışmalar ile ortaya konulmuştur (Laatikainen vd., 2017; Pirkola vd., 2018). Ayrıca, literatürde laboratuvar ortamında üretilen örnek hamurlarında olduğu gibi, piyasadan da temin edilen ekşi hamurlarda da potansiyel fruktan indirgeyen LAB'lerinin mevcut olabileceği tespit edilmiştir.

4.11. Duyusal Analiz Sonuçları

Ekmekler tüketici beğenisi testine göre duyusal olarak değerlendirilmiştir. Duyusal analiz ile ekmek örneklerinin dış yüzey ve iç rengi, yüzey özellikleri, iç görünümü, tadı ve genel beğeni durumları belirlenmiştir. Fruktan değerini düşüren laktobasil izolatlarından elde edilen ekşi hamur ekmeği örneklerinin duyusal analiz sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Panelistlerin herbir ekmek örneğini değerlendirmek için verdikleri puanları değerlendirilmiş ve 5 puanın üstü fazla alarak duyusal açıdan kabul edilebilir olarak kabul edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde genel olarak 7 puan ve üzeri çıkmıştır. Ekmek içi gözenek yapısı ve homojenlik değerlendirme sonuçları panelistler tarafından 7,42 ile 8,41, ekmek içi yapışkanlık 6,97 ile 8,69, çiğnenebilirlik 8,03 ile 8,57, renk 8,30 ile 8,48, tat 7,81 ile 8,57, kuruluk 7,47 ile 8,57 arasında değerlendirilmiştir. Ayrıca ekmeğin kabuk kısmı değerlendirildiğinde renk 7,60 ile 8,62, kabuk yapısı 7,79 ile 8,50, şekil 7,69 ile 8,60, hacim 8,41 ile 8,78 aralıklarında belirlenmiştir. Genel değerlendirme

sonuçlarına göre ise panelistler tarafından en yüksek puanı alan örnek Balıkesir 1-2 örneği olmuştur ve ortalama puanlar 7,34 ile 8,48 arasında değişmiştir.

Gözenek yapısı ve homojenlik değerleri ve ekmek içi yapışkanlık değerleri arasında istatistiki açıdan bütün örnekler arasında farklılık söz konusu iken ($p < 0,05$) diğer parametrelerde örnekler arasında istatistiki açıdan önemli bir fark görülmemiştir ($p < 0,05$).

Çizelge 4.16. Laktobasil izolatları ile elde edilen ekşi hamur ekmeği örneklerinin duyuusal analiz sonuçları

İzolat kodu	Ekmeğin içi					Ekmeğin kabuk			Genel değerlendirme		
	Gözenek yapısı ve Homojenlik	Ekmeğin içi yapıışkanlık	Çiğnenebilirlik	Renk	Tat	Kuruluk	Renk	Kabuk yapısı		Şekil	Hacim
8 Kontrol	7,42±0,56 ^b	7,70±0,41 ^b	8,03±0,33 ^a	8,41±0,64 ^a	8,67±0,86 ^a	8,57±0,98 ^a	7,60±0,71 ^a	8,41±0,48 ^a	7,69±0,65 ^a	8,78±0,78 ^a	7,34±0,56 ^a
Bursa 2-2	7,51±0,84 ^b	8,69±0,88 ^a	8,41±0,64 ^a	8,30±0,34 ^a	7,95±0,86 ^a	7,47±0,12 ^a	8,41±0,90 ^a	8,50±0,86 ^a	8,60±0,72 ^a	8,76±0,63 ^a	7,42±0,61 ^a
Balıkesir 1-2	8,41±0,22 ^a	6,97±0,94 ^c	8,57±0,69 ^a	8,48±0,28 ^a	7,81±0,89 ^a	7,52±0,27 ^a	8,62±0,34 ^a	7,79±0,72 ^a	7,70±0,58 ^a	8,41±0,97 ^a	8,48±0,32 ^a

*LSD testinde farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistikî olarak önemli fark bulunmaktadır(p<0,05)

5. SONUÇ

Dünya genelinde yaygın bir sindirim sistemi bozukluğu olan İBS belirtileri fermente edilebilir oligosakkaritler, disakkaritler, monosakkaritler ve polioller (FODMAP's) tarafından tetiklenmektedir. İBS hastaları semptomların azalması için düşük-FODMAPs diyeti yapmak zorundadır. Ekmek dahil tam tahıl ürünleri, diyet lifi alımına önemli ölçüde katkıda bulunmakla birlikte yüksek FODMAPs içeriğine sahiptir ve ana bileşen olarak fruktan içermektedir. Bu tez çalışmasında, ülkemiz Güney Marmara bölgesinden temin edilen ekşi mayalardan fruktan değerini düşüren laktobasil suşları seçilerek İBS hastaları için düşük fruktan içerikli fonksiyonel ekmek üretim denemeleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Güney Marmara bölgesinden toplanan ekşi hamurlardaki fruktan azaltma potansiyeline sahip laktobasil izolatlarının belirlenmesi amacıyla 5 şehirden toplam 10 adet ekşi hamur örneği toplanmış ve LAB ve maya sayımları gerçekleştirilmiştir. Balıkesir ve Bursa bölgesi ekşi maya örneklerinden elde edilen laktobasil izolatlarının diğer örneklerden daha yüksek fruktan indirgeme potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Balıkesir-1-2 ve Bursa-2-2 kodlu laktobasil suşları kullanılarak düşük fruktan içeriğine sahip ekmek üretimleri yapılmıştır. Bu ekmekler kontrol örneği ile (ticari maya ile yapılan ekmek) karşılaştırıldığında daha düşük fruktan içeriğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, ekşi maya kaynaklı laktobasil izolatlarının ekmeğin fruktan içeriğini azaltmak için etkili bir yöntem olabileceğini göstermiştir. Ayrıca ekmeklerin duyu analizi sonucunda, tüm örnekler panelistler tarafından beğenilmiş ve düşük fruktan içerikli ekmekler tüketiciler tarafından kabul edilebilir bulunmuştur. Düşük fruktan içerikli ekmek üretimi için tahıl türü, fermentasyon süresi, üretilecek ekmeğin tipi (ekşi hamur ekmeği, beyaz, tam buğday ekmek vb.), mikroorganizma türü gibi faktörler son üründe önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle ekmekteki fruktan seviyelerini birçok faktör etkileyebilmekte ve özellikle son üründe fruktan değerinin düşük olmasının nedenini belirlemek oldukça zor olabilmektedir.

Sonuç olarak çalışma kapsamında elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde elde edilen laktobasil izolatlarının starter ve fonksiyonel kültür olarak kullanıldığı düşük fruktan

içerikli ekmek ve diğer tahıl ürünlerinin sayı çeşidinin arttırılması fırıncılık sektörü ve İBS hastaları için oldukça önemlidir. Yapılan çalışma sonuçları da göz önüne alınarak bir sonraki aşamada seçilen laktobasil izolatları ile ekmek üretiminde fermantasyonda optimizasyon çalışmaları yapılarak fruktan içeriği düşük ve duyusal özellikleri daha geliştirilmiş ekmek üretimi sağlanabilecektir. Ayrıca çalışma kapsamında üretilen ve fruktan miktarı azaltılmış fonksiyonel ekmeğin İBS hastaları üzerindeki etkinliğinin klinik olarak değerlendirildiğinde gelecek çalışmalarda planlanan önemli araştırmalardan olacaktır.

KAYNAKLAR

- Acín Albiac, M., Di Cagno, R., Filannino, P., Cantatore, V., Gobbetti, M. 2020. How fructophilic lactic acid bacteria may reduce the FODMAPs content in wheat-derived baked goods: A proof of concept. *Microbial Cell Factories*, 19(1).
- Afidah, A. C., Wahyuningsih, T. D., Widodo, W. 2019. The Growth and *fosE* gene expression in inulin-containing medium of two strains of *Lactobacillus casei* originated from the human intestinal tract. *Biodiversitas*, 20.
- Alkay, Z. 2017. Ekşi hamur ve ekşi hamur ekmeği üretiminde farklı tahıl tanelerinin fonksiyonel etkilerinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi). Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Alkay, Z., Alkay, R., Dertli, E., Kökten, K., Durak, M. Z. 2023. The Rheological, Textural and Physicochemical Properties of Buckwheat Sourdough Bread Prepared with Different Lactic Acid Bacteria Strains. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 12(5), e5643.
- Andersson, R., Fransson, G., Tietjen, M., Åman, P. 2009. Content and molecular-weight distribution of dietary fiber components in whole-grain rye flour and bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 2004–2008.
- Anjum, M.F., Pasha, I., Ghafoor, K., Khan, I.M., Raza, A.M. 2008. Preparation of sourdough bread using a blend of bacterial culture and baker's yeast. *Nutrition & Food Science*, 38(2), 146-153.
- Anonim. 1999. AACC International. 1999. Approved Methods of Analysis. Methods 08-01.01, 32.32.01, 44-19.01. Approved November 3, 1999, eleventh ed. AACC International, St. Paul, MN, USA.
- Anonim. 2000. AACC International. 2000. Approved Methods of Analysis. Method 74-09.01. Approved November 3, 2000, eleventh ed. AACC International, St. Paul, MN, USA.
- Anonim. 2003. AACC International. 2003. Approved Methods of Analysis. Method 02-31.01. Approved November 3, 2003, eleventh ed. AACC International, St. Paul, MN, USA.
- Anonim. 2010. AACC International. 2010. Approved Methods of Analysis. Methods 10-10.03, 46-30.01. Approved November 3, 2010, eleventh ed. AACC International, St. Paul, MN, USA.
- Anonim. 2011. AACC International. 2011. Approved Methods of Analysis. Methods 54-21.01, 54-10.01. Approved November 3, 2011, eleventh ed. AACC International, St. Paul, MN, USA.
- Anonim. 2013. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği (2013/9). Resmi Gazete, 28690.

Anonim. 2021. Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü. 2020 Yılı Hububat Sektör Raporu. Ankara.

Arendt, E. K., Ryan, L. A., Dal Bello, F. 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. In *Food Microbiology* (s. 165-174).

Arici, M., Ozulku, G., Yildirim, R. M., Sagdic, O., Durak, M. Z. 2017. Biodiversity and Technological Properties of Yeasts from Turkish Sourdough. *Food Science and Biotechnology*, 27(2), 499–508.

Atzler, J. J., Sahin, A. W., Gallagher, E., Zannini, E., Arendt, E. K. 2021. Investigation of different dietary-fibre-ingredients for the design of a fibre enriched bread formulation low in FODMAPs based on wheat starch and vital gluten. *European Food Research and Technology*, 247, 1939–1957.

Awulachew, M. T. 2020. Properties of wholegrain bread and nutritional quality baked with different methods: a review. *Journal of Advanced Research in Food Science Nutrition*, 3(5), 5-15.

Bakırcı, F., Köse, E. 2017. Ekşi hamurlardan laktik asit bakterileri ve mayaların izolasyonu ve tanımlanması. *Akademik Gıda*, 15(2), 149-154.

Balık, G., 2011. Omega-3 Yağ Asidi Nanopartiküllerinin Ekmek Formülasyonlarında Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 78 s.

Bamforth, C. W. 2009. *Bread: A Comprehensive Guide to Baking*. Wiley-Blackwell.

Banu, I., Vasilean, I., Aprodu, I. 2011. Effect of Select Parameters of the Sourdough Rye Fermentation on the Activity of Some Mixed Starter Cultures. *Food Biotechnology*, 25(4), 275–291.

Barrett, J. S. 2017. How to institute the low-FODMAPS diet. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 32, 8–10.

Bender, D., Fraberger, V., Szepasvári, P., D’Amico, S., Tömösközi, S., Cavazzi, G., Schoenlechner, R. 2018. Effects of selected lactobacilli on the functional properties and stability of gluten-free sourdough bread. *European Food Research and Technology*, 244(6), 1037-1046.

Berg, A., König, D., Deibert, P., Grathwohl, D., Baumstark, M. W., Franz, I. W. 2003. Effect of an oat bran-enriched diet on the atherogenic lipid profile in patients with an increased coronary heart disease risk: A controlled randomized lifestyle intervention study. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 6, 306–311.

Biesiekierski, J. R., Rosella, O., Rose, R., Liels, K., Barrett, J. S., Shepherd, S. J., Gibson, P. R., Muir, J. G. 2011. Quantification of fructans, galacto-oligosaccharides and other short-chain carbohydrates in processed grains and cereals. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 24, 154–176.

- Birch, A.N., Petersen, M.A., & Hansen, Å. 2013. The aroma profile of wheat bread crumb influenced by yeast concentration and fermentation temperature. *Lwt - Food Science and Technology*, 50, 480-488.
- Böcker, G., Stolz, P., Hammes, W. P. 1995. Neue Erkenntnisse zum Ökosystem Sauerteig und zur Physiologie des sauerdeig-typischen Stämme *Lactobacillus sanfrancisco* und *Lactobacillus pontis*. *Getreide Mehl und Brot*, 49, 370–374.
- Böhn, L., Störsrud, S., Liljebo, T., Collin, L., Lindfors, P., Törnblom, H., et al. 2015. Diet low in FODMAPS reduces symptoms of irritable bowel syndrome as well as traditional dietary advice: A randomized controlled trial. *Gastroenterology*, 149, 1399–1407.
- Borowska, M., Ispiryan, L., Neylon, E., Sahin, A. W., Murphy, C. P., Zannini, E., Coffey, A. 2023. Screening and application of novel homofermentative lactic acid bacteria results in low-FODMAPS whole-wheat bread. *Fermentation*, 9, 336.
- Bottani, L. A. A., Minervini, F., Filannino, P., Sardaro, M. L. S., Gatti, M. Lindner, J. D. D. 2018. Effects of Sourdough on FODMAPs in Bread and Potential Outcomes on Irritable Bowel Syndrome Patients and Healthy Subjects. *Front Microbiol.*, 9: 1972
- Brandt, L. J., Chey, W. D., Foxx-Orenstein, A. E., Schiller, L. R., Schoenfeld, P. S., Spiegel, B. M., et al. 2009. An evidence-based position statement on the management of irritable bowel syndrome. *American Journal of Gastroenterology*, 104, 1–35.
- Brandt, M. J. 2005. Geschichte des Sauerteiges. In Brandt, M. J. ve Gänzle, M. G. (Eds.), *Handbuch Sauerteig*, 6. baskı. Behr's Verlag. Hamburg, ss. 1-5.
- Brummer, J., Lorenz, K. 1991. European developments in wheat sourdoughs. *Cereal Foods World*, 36, 310-314.
- Buksa, K. 2020. Effect of pentoses, hexoses and hydrolyzed arabinoxylan on the most abundant sugar, organic acid and alcohol contents during rye sourdough bread production. *Cereal Chemistry*, 97, 642–652.
- 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.
- Canja, C. M., Măzărel, A., Lupu, M. I., Mărgean, A., Pădureanu, V. 2016. Dietary fiber role and place in baking products. *Bulletin of Transilvania University of Braşov*, 9, 91–96.
- Cappelle, S., Guylaine, L., Gänzle, M., Gobbetti, M. 2012. History and Social Aspects of Sourdough. *Handbook on Sourdough Biotechnology*, 1–10.
- Carbonetto, B., Ramsayer, J., Nidelet, T., Legrand, J., Sicard, D. 2018. Bakery Yeasts, a New Model for Studies in Ecology and Evolution. *Yeast*, 35(11), 591–603.

- Carnevali, P., Ciati, R., Leporati, A., Paese, M. 2007. Liquid sourdough fermentation: Industrial application perspectives. *Food Microbiology*, 24(2), 150–154.
- Cauvain, S. P., Young, L. S. 2006. Current approaches to the classification of bakery products. In *Baked Products: Science, Technology and Practice* (s. 1–13). Blackwell.
- Chavan, R. S., Chavan, S. R. 2011. Sourdough technology-a traditional way for wholesome foods: a review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 10, 169-182.
- Cieślik, E., Kopec, A., Pisulewski, P. 2005. Effects of fructooligosaccharides and long-chain inulin on serum lipids in rats. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 14(55), 437-441.
- Correa, M. J., Ferrero, C. 2015. A comparative study of commercial modified celluloses as bread making additives. *International Journal of Food Properties*, 18, 849-861.
- Corsetti, A., Gobbetti, M., Balestrieri, F., Paoletti, F., Russi, L., Rossi, J. 1998. Sourdough Lactic Acid Bacteria Effects on Bread Firmness and Staling. *Journal of Food Science*, 63(2), 347-351.
- Corsetti, A., Lavermicocca, P., Morea, M., Baruzzi, F., Tosti, N., Gobbetti, M. 2001. Phenotypic and molecular identification and clustering of lactic acid bacteria and yeasts from wheat (species *Triticum durum* and *Triticum aestivum*) sourdoughs of southern Italy. *International Journal of Food Microbiology*, 64, 95–104.
- Costantini, A., Amoriello, T., Cecchini, C., D'Egidio, M. G. 2007. Analysis of factors influencing fructans production in winter cereals. *Journal of Genetics and Breeding*, 62(1), 15–24.
- Cummings, J. H., Frolich, W. 1993. DF intakes in Europe. A survey conducted by members of the management committee of COST 92 (pp. 89–496). Brussels.
- Curiel, J. A., Coda, R., Centomani, I., Summo, C., Gobbetti, M., Rizzello, C. G. 2015. Exploitation of the nutritional and functional characteristics of traditional Italian legumes: the potential of sourdough fermentation. *Int. J. Food Microbiol.*, 196, 51-61.
- Czerwiński, J., Bartnikowska, E., Leontowicz, H., Lange, E., Leontowicz, M., Katrich, E., Trakhtenberg, S., Gorinstein, S. 2004. Oat (*Avena sativa* L.) and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) meals positively affect plasma lipid profile in rats fed cholesterol-containing diets. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 10, 622-629.
- D'Alessandro, A., De Pergola, G. 2014. Mediterranean diet pyramid: a proposal for Italian people. *Nutrients*, 6, 4302–431.
- Daubioul, C., Taper, H. S., DeWispelaere, L. D., Delzenne, N. M. 2000. Dietary oligofructose lessens hepatic steatosis but does not prevent hypertriglyceridemia in obese Zucker rats. *Journal of Nutrition*, 130, 1314-1319.

- De Luca, L., Aiello, A., Pizzolongo, F., Blaiotta, G., Aponte, M., Romano, R. 2021. Volatile Organic Compounds in Breads Prepared with Different Sourdoughs. *Applied Sciences*, 11(3), 1330. MDPI AG.
- De Vuyst, L., Neysens, P. 2005. The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. *Trends in Food Science and Technology*, 16(1-3), 43-56.
- 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.
- De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., Leroy, F. 2017. Microbial Ecology and Process Technology of Sourdough Fermentation. In *Advances in Applied Microbiology* (Vol. 100, pp. 49-160). Academic Press.
- De Vuyst, L., Vancanneyt, M. 2007. Biodiversity and identification of sourdough lactic acid bacteria. *Food Microbiology*, 24, 120–127.
- Demir, M. K., Elgün, A. 2014. Comparison of autoclave, microwave, IR and UV-C stabilization of whole wheat flour branny fractions upon the nutritional properties of whole wheat bread. *Journal of Food Science and Technology*, 51(1), 59-66.
- Di Cagno, R., De Angelis, M., Auricchio, S., Greco, L., Clarke, C., et al. 2004. Sourdough Bread Made from Wheat and Nontoxic Flours and Started with Selected Lactobacilli Is Tolerated in Celiac Sprue Patients. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 1088- 1096.
- Elgün, A. Ertugay, Z. 2002. Tahıl İşleme Teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 97, (4. Baskı), Erzurum, s. 411.
- Elgün, A., Ertugay, Z., Certel, M., Kotancılar, H.G. 2002. *Tahıl ve ürünlerinde analitik kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama klavuzu*. Atatürk Üniversitesi Yayın No: 867, Ders kitapları serisi No: 82, Erzurum.
- Erten, H. 1998. Metabolism of fructose as an electron acceptor by *Leuconostoc mesenteroides*. *Process Biochem*, 33 (7), 735–739.
- Falade, Y. S. G., Daniel, H. M., De Vuyst, L. 2013. Taxonomy and biodiversity of sourdough yeasts and lactic acid bacteria. In M. Gobbetti & M. Gänzle (Eds.), *Handbook on sourdough biotechnology*. Springer.
- Falony, G., Vlachou, A., Verbrugghe, K., De Vuyst, L. 2006. Cross-feeding between *Bifidobacterium longum* BB536 and acetate-converting, butyrate-producing colon bacteria during growth on oligofructose. *Applied and Environmental Microbiology*, 72, 7835–7841.
- Fang, S., Yan, B., Tian, F., Lian, H., Zhao, J., Zhang, H., et al. 2021. β -fructosidase *FosE* activity in *Lactobacillus paracasei* regulates fructan degradation during sourdough fermentation and total FODMAP levels in steamed bread. *LWT*, 145, 111294.

- Freitas, D., Souchon, I., Le Feunteun, S. 2022. The contribution of gastric digestion of starch to the glycaemic index of breads with different composition or structure. *Food Function*, 13, 1718-1724.
- Frosbisher, M., Hinsdill, R.D., Crabtree, K.T., Goodheart, C.R. 1974. *Fundamentals of Microbiology* (9. baskı). W.B. Sanders Co., 425 ve 561-575.
- Fuckerer, K., Hensel, O., Schmitt, J. J. 2016. Rye Bread Fortified With Cellulose and Its Acceptance by Elderlies in Nursing Homes and Young Adults. *Journal of Food Studies*, 5(1).
- Fujimoto, A., Ito, K., Narushima, N., Miyamoto, T. 2019. Identification of Lactic Acid Bacteria and Yeasts, and Characterization of Food Components of Sourdoughs Used in Japanese Bakeries. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 127(5), 575-581.
- Fujisawa, T., Shirasaka, S., Watabe, J., Mitsuoka, T. 1984. *Lactobacillus aviarius* sp. nov.: A New Species Isolated from the Intestine of Chickens. *Systematic and Applied Microbiology*, 5, 414-420.
- Gaggiano, M., Cagno, D. R., Angelis, M. D., Arnault, P., Tossut, P. Fox, P. F., Gobbetti, M. 2007. Defined Multi-Species Semi-Liquid Ready-to-Use Sourdough starter, *Food Microbiology*, 24, 15-24.
- Galli, V., Venturi, M., Pini, N., Guerrini, S., Granchi, L., Vincenzini, M. 2019. Liquid and firm sourdough fermentation: microbial robustness and interactions during consecutive backsloppings. *LWT*. 105, 9–15.
- Gänzle, M. G. 2014. BREAD | Sourdough Bread. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 309-315.
- Gänzle, M. G., Ehmann, M., Hammes, W. P. 1998. Modelling of growth of *Lactobacillus sanfranciscensis* and *Candida milleri* in response to process parameters of the sourdough fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(7), 2616–2623.
- Gänzle, M., Ripari, V. 2016. Composition and function of sourdough microbiota: From ecological theory to bread quality. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 19–25.
- Gänzle, M.G., Gobbetti, M. 2013. Physiology and biochemistry of sourdough lactic acid bacteria. In: Gobbetti, M., Gänzle, M.G. (Eds.), *Handbook of sourdough biotechnology*. Springer Science + Business Media, New York, NY, pp. 183–216.
- Gerçekaslan, K. E., Kotancılar, H. G., Kaban, G., Karaoğlu, M. M. 2012. Vakfikebir Ekmek Hamurundan Laktik Asit Bakterilerinin İzolasyonu ve Tanısı. *Akademik Gıda*, 10(3), 47-50.
- Gibson, P. R., Shepherd, S. J. 2010. Evidence-based dietary management of functional gastrointestinal symptoms: the FODMAPS approach. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 25, 252–258.

- Gidari-Gounaridou, C., et al. 2023. Impact of dry sourdough based on a fermented chickpea starter on quality characteristics and shelf life of gluten-free bread. *Food Bioscience*, 53, 102780.
- Giorgio, R., Volta, U., Gibson, P. R. 2015. Sensitivity to wheat, gluten and FODMAPS in IBS: facts or fiction? *Gut*, 65, 169–178.
- Gobbetti, M., De Angelis, M., Corsetti, A., Di Cagno, R. 2005. Biochemistry and physiology of sourdough lactic acid bacteria. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 57–69.
- Gobbetti, M., De Angelis, M., Di Cagno, R., Calasso, M., Archetti, G., Rizzello, C.G. 2019. Novel insights on the functional/nutritional features of the sourdough fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 302, 103–113.
- Gobbetti, M., Minervini, F., Pontonio, E., Di Cagno, R., De Angelis, M. 2016. Drivers for the establishment and composition of the sourdough lactic acid bacteria biota. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 3–18.
- 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. doi: 10.1016/j.fm.2013.04.012.
- Gobbetti, M., Simonetti, M. S., Corsetti, A., Santinelli, F., Rossi, J., Damiani, P. 1995. Volatile compound and organic acid productions by mixed wheat sour dough starters: Influence of fermentation parameters and dynamics during baking. *Food Microbiology*, 12, 497-507.
- Göçmen, D. 2001. Ekşi hamur ve laktik starter kullanımının ekmekte aroma oluşumu üzerine etkileri. *Gıda*, 26(1), 13-16.
- Gocmen, D., Gurbuz, O., Kumral, A. Y., Dagdelen, A. F., Sahin, I. 2007. The effects of wheat sourdough on glutenin patterns, dough rheology and bread properties. *European Food Research and Technology*, 225(5-6), 821-830.
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., & Delcour, J. A. 2005. Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 12–30.
- Goh, Y. J., Lee, J.-H., Hutkins, R. W. 2007. Functional Analysis of the Fructooligosaccharide Utilization Operon in *Lactobacillus paracasei* 1195. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(18), 5716–5724.
- Gullo, M., Romano, A. D., Pulvirenti, A., Giudici, P. 2003. *Candida humilis*—dominant species in sourdoughs for the production of durum wheat bran flour bread. *International Journal of Food Microbiology*, 80, 55–59.
- Gür, S. 2022. Bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin teknolojik, reolojik ve ekmeklik özellikleri ile glutopik parametreler arasındaki ilişkiler (Yüksek Lisans Tezi). Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran 2022.

- Hadaegh, H., et al. 2017. The impact of different lactic acid bacteria sourdoughs on the quality characteristics of toast bread. *Journal of Food Quality*, 2017, 1-11.
- Halmos, E. P., et al. 2014. Diets that differ in their FODMAPS content alter the colonic luminal microenvironment. *Gut*, 64, 93-100.
- Hammes, W.P. 1991 Fermentation of non-dairy food. *Food Biotech* 5:293–303
- Hammes, W.P., Gänzle, M.G. 1998. Sourdough breads and related products, In: Wood, B.J.B. (Ed.), *Microbiology of Fermented Foods*, 2nd ed. Blackie Academic and Professional, an imprint of Thomson Science, London, UK, pp. 199–216.
- Hartmann, B., Voigt, A. 2018. *Sourdough Bread: A Comprehensive Guide to Making, Baking, and Enjoying*. Chelsea Green Publishing.
- Haskå, L., Nyman, M., Andersson, R. 2008. Distribution and characterization of fructan in wheat milling fractions. *Journal of Cereal Science*, 48(3), 768–774.
- Hastings, J.W., Holzappel, W.H. 1987. Conventional taxonomy of lactobacilli surviving radurization of meat. *Journal of Applied Bacteriology*, 62, 209-216.
- Heinio, R. L., Katina, K., Wilhelmson, A., Myllymaki, O., Rajamaki, I., Latva-Kala, K., et al. 2003. Relationship between sensory perception and flavour-active volatile compounds of germinated, sourdough fermented and native rye following the extrusion process. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie (Food Science and Technology)*, 36, 533-545.
- Helanto, M., Aarnikunnas, J., von Weyrman, N., Airaksinen, U., Palva, A., Leisola, M. 2005. Improved mannitol production by a random mutant of *Leuconostoc pseudomesenteroides*. *J. Biotechnol.*, 116, 283–294.
- Henry, R. J., Saini, H. 1989. Characterization of cereal sugars and oligosaccharides. *Cereal Chemistry*, 66, 362–365.
- Hossain, K., Ulven, C., Iovar, K. 2013. Interdependence of cultivar and environment on fibre composition in wheat bran. *Australian Journal of Crop Science*, 7, 525–531.
- Hu, Z., Alkay, R., Dertli, E., Kökten, K., Durak, M. Z. 2023. The Rheological, Textural and Physicochemical Properties of Buckwheat Sourdough Bread Prepared with Different Lactic Acid Bacteria Strains. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 12(5), e5643.
- Hüttner, E. K., et al. 2010. Identification of Lactic Acid Bacteria Isolated from Oat Sourdoughs and Investigation into Their Potential for the Improvement of Oat Bread Quality.
- Huynh, B. L., Wallwork, H., Stangoulis, J. C. R., Graham, R. D., Willsmore, K. L., Olson, S., et al. 2008. Quantitative trait loci for grain fructan concentration in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 117(5), 701-709.

Huys, G., Daniel, M. H., Vuyst, L. D. 2013. Taxonomy and Biodiversity of Sourdough Yeasts and Lactic Acid Bacteria. In *Handbook on Sourdough Biotechnology*.

İlerigiden, B., Ertas, N., Türker, S., Aydın, M., Eyiz, V. 2020. Tam buğday unundan ekşi hamur yöntemiyle simit üretimi üzerine bir araştırma. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1-11.

Ioniță-Mîndrican, C. B., Ziani, K., Mititelu, M., Oprea, E., Neacșu, S. M., Moroșan, E., Dumitrescu, D. E., Roșca, A. C., Drăgănescu, D., Negrei, C. 2022. Therapeutic Benefits and Dietary Restrictions of Fiber Intake: A State of the Art Review. *Nutrients*, 14(13), 2641.

Jacobs, D., et al. 1998. Whole-grain intake may reduce the risk of ischemic heart disease death in post-menopausal women: the Iowa Women's Health Study. *American Journal of Clinical Nutrition*.

Jay, M.J. (1986). *Modern Food Microbiology, Fermented Foods And Related Products Of Fermentation* (3. baskı). Van Nostrand Reinhold Company.

Jayaram V. B., Cuyvers S., Lagrain B., Verstrepen K. J., Delcour J. A., Courtin C. M. 2013. Mapping of *Saccharomyces cerevisiae* metabolites in fermenting wheat straight-dough reveals succinic acid as pH-determining factor. *Food Chem.*, 136, 301–308.

Joran, V., Emmie, D., Delcour, J. A., Harrison, S. J. 2015. Purification of wheat grain fructans from wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 65, 57–59.

Kandler, O., Weiss, N. 1986. Regular, Nonsporing Gram-Positive Rods. In: Sneath, P.H.A., Mair, N.S., Sharpe, M.E. ve Holt, J.G. (Eds.), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Vol.2. Williams & Wilkins, 1208-1234.

Karlıdağ, S., Arıcı, M. Özülkü, G. 2022. Carob Flour Addition to Sourdough: Effect of Sourdough Fermentation, Dough Rheology and Bread Quality. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(3), 541-553.

Karppinen, S., Myllymäki, O., Forssell, P., Poutanen, K. 2003. Fructan content of rye and rye products. *Cereal Chemistry*, 80(2), 168–171.

Kaseleht, K., Paalme, T., Mihhalevski, A., & Sarand, I. 2011. Analysis of volatile compounds produced by different species of lactobacilli in rye sourdough using multiple headspace extraction: Volatiles produced by LAB in sourdough. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(9), 1940-1946.

Katina, K., Heiniö, R.L., Autio, K., Poutanen, K. 2006. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. *LWT- Food Science and Technology*, 39, 1189-1202.

Kaya, M., Kaçmaz, H. 2016. Roma IV Kriterlerine Göre Fonksiyonel Barsak Hastalıklarının Yeniden Değerlendirilmesi. *Güncel Gastroenteroloji dergisi*, 20(4), 398-400.

- Khalid, K. H., Ohm, J. B., Simsek, S. 2017. Whole wheat bread: Effect of bran fractions on dough and end-product quality. *Journal of Cereal Science*, 78, 48-56.
- Knudsen, K. E. B. 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Animal Feed Science and Technology*, 67, 319–338.
- Kopec, A., Pysz, M., Borczak, B., Sikora, E., Rosell, C. M., Collar, C., Sikora, M. 2011. Effects of sourdough and dietary fibers on the nutritional quality of breads produced by bake-off technology. *Journal of Cereal Science*, 54(3), 499–505.
- Kotancılar, H. G., Karaoğlu, M. M., Gerçekaslan, K. E. 2006. Ekşi Hamur Katkısının Beyaz Tava Ekmeğinin Bayatlaması Üzerine Etkisi. *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 103-110.
- Küçükçuban, A. 2012. Sıvı Ekşi Hamur Sistemi İçin Uygun Laktik Asit Bakteri Kombinasyonunun Belirlenmesi [Yüksek Lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli].
- Kulathunga, J., Kristin, W., Simsek, S. 2023. Impact of Starter Culture on Biochemical Properties of Sourdough Bread Related to Composition and Macronutrient Digestibility. *SSRN Electronic Journal*.
- Kundu, M., Khatkar, B. S., Gulia, N., Kumar, R. 2019. Functional characterization of whole wheat flours for chapatti quality and acceptability. *Journal of Food Science and Technology*.
- Laatikainen, R., Koskenpato, J., Hongisto, S. M., Løponen, J., Poussa, T., Huang, X., Sontag-Strohm, T., Salmenkari, H., Korpela, R. 2017. Pilot Study: Comparison of Sourdough Wheat Bread and Yeast-Fermented Wheat Bread in Individuals with Wheat Sensitivity and Irritable Bowel Syndrome. *Nutrients*, 9, 1215.
- Laatikainen, R., Koskenpato, J., Hongisto, S. M., Løponen, J., Poussa, T., Hillilä, M., Korpela, R. 2016. Randomised clinical trial: Low-FODMAPS rye bread vs. regular rye bread to relieve the symptoms of irritable bowel syndrome. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 44, 460–470.
- Lai, S.-F. Chen, Y.-W. Lee, S.-M. Huang, H.-Y. Huang, Y.-H. Lu, Y.-C. Chen, C.-W. 2023. Development and Optimization of Black Rice (*Oryza sativa* L.) Sourdough Fermented by *Levilactobacillus brevis* LUC 247 for Physicochemical Characteristics and Antioxidant Capacity. *Foods*, 12, 1389.
- Landis, E. A., et al. 2021. The diversity and function of sourdough starter microbiomes. *eLife*, 10, e61644.
- Lattanzi, A., Minervini, F., Di Cagno, R., Diviccaro, A., Antonielli, et al. 2013. The lactic acid bacteria and yeast microbiota of eighteen sourdoughs used for the manufacture of traditional Italian sweet leavened baked goods. *Int. J. Food Microbiol.* 163, 71–79.

Lattimer, J. M., Haub, M. D. 2010. Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health. *Nutrients*, 2(12), 1266–1289.

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.

Lauková, M., Kohajdová, Z., Karovičová, J., Kuchtová, V., Minarovičová, L., Tomášiková, L. 2017. Effects of cellulose fiber with different fiber length on rheological properties of wheat dough and quality of baked rolls. *Food Sci. Technol. Int.*, 23, 490–499.

Laurent, J., Struyf, N., Bautil, A., Bakeeva, A., Chmielarz, M., Lyly, M., et al. 2021. The Potential of *Kluyveromyces marxianus* to Produce Low-FODMAP Straight-Dough and Sourdough Bread: a Pilot-Scale Study. *Food Bioprocess Technol* 14, 1920–1935.

Laurent, J., Timmermans, E., Struyf, N., Verstrepen, K.J., Courtin, C.M. 2020. Variability in yeast invertase activity determines the extent of fructan hydrolysis during wheat dough fermentation and final FODMAPS levels in bread. *International journal of food microbiology*, 326, 108648.

Leenhardt, F., Levrat-Verny, M.-A., Chanliaud, E., Remésy, C. 2005. Moderate decrease of pH by sourdough fermentation is sufficient to reduce phytate content of whole wheat flour through endogenous phytase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 98–102.

Lhomme, E., Lattanzi, A., Dousset, X., Minervini, F., De Angelis, M., Lacaze, G., Onno, B., Gobbetti, M. 2015. Lactic Acid Bacterium and Yeast Microbiotas of Sixteen French Traditional Sourdoughs. *Int. J. Food Microbiol.*, 215, 161–170.

Li, Q., Loponen, J., Gänzle, M. 2020. Characterization of the extracellular fructanase FruA in *Lactobacillus crispatus* and its contribution to fructan hydrolysis in breadmaking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.

Liu, T., Hou, G. G., Cardin, M., Marquart, L., Dubat, A. 2017. Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution. *LWT*, 77, 1–7.

Lopez, H., Duclos, V., Coudray, C., Krespine, V., Feillet-Coudray, C., Messenger, A., Demigne', C., & Reme'sy, C. 2003. Making bread with sourdough improves mineral bioavailability from reconstructed whole wheat flour in rats. *Nutrition*, 19, 524e530.

Lopez, H., Krespine, V., Guy, C., Messenger, A., Demigne, C., & Remesy, C. 2001. Prolonged fermentation of whole wheat sourdough reduces phytate level and increases soluble magnesium. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 2657–2662.

Lopez, H., Ouvry, A., Bervas, E., Guy, C., Messenger, A., Demigne, C., Remesy, C. 2000. Strains of lactic acid bacteria isolated from sourdoughs degrade phytic acid and improve calcium and magnesium solubility from whole wheat flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2281–2285.

- Loponen, J. 2016. *Low-fructan grain material and a method for producing the same*. Patent No. WO2016113465A1.
- Loponen, J., Gänzle, M. 2018. Use of sourdough in low FODMAPS baking. *Foods*, 7(7), 96.
- Loponen, J., Mikola, M., Sibakov, J. 2017. An enzyme exhibiting fructan hydrolase activity. WO 2017/220864 A1.
- Lovell, R. M., Ford, A. C. 2012. Global prevalence of and risk factors for irritable bowel syndrome: a meta-analysis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 10, 712–721.
- Mariotti, M., Garofalo, C., Aquilanti, L., Osimani, A., Fongaro, L., Tavoletti, S.,... Clementi, F. 2014. Barley Flour Exploitation in Sourdough Bread-Making: A Technological, Nutritional, and Sensory Evaluation. *LWT Food Science and Technology*, 59, 973–980.
- Marsh, A., Eslick, E. M., Eslick, G. D. 2016. Does a diet low in FODMAPS reduce symptoms associated with functional gastrointestinal disorders? A comprehensive systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Nutr.* 55, 897–906.
- Martin, J. H., Leonard, W. H., Stamp, D. L. 1976. Principles of Field Crop Production. *Macmillan*.
- McCleary, B. V. 2010. Development of an integrated total dietary fiber method consistent with the Codex Alimentarius definition. *Cereal Foods World*, 55, 24–28.
- McRae, M. P. 2018. Dietary Fiber Intake and Type 2 Diabetes Mellitus: An Umbrella Review of Meta-analyses. *Journal of Chiropractic Medicine*, 17(1), 44–53.
- McRorie, J. W., McKeown, N. M. 2017. Understanding the Physics of Functional Fibers in the Gastrointestinal Tract: An Evidence-Based Approach to Resolving Enduring Misconceptions about Insoluble and Soluble Fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 117(2), 251–264.
- Medcalf, D. G., Cheung, P. W. 1971. Composition and structure of glucofructans from durum wheat flour. *Cereal Chemistry*, 48, 1–8.
- Meneses, F. J., Henschke, P. A., Jiranek, V. 2002. A survey of industrial strains of *Saccharomyces cerevisiae* reveals numerous altered patterns of maltose and sucrose utilization. *Journal of the Institute of Brewing*, 108, 310–321.
- Menezes, L. A. A., Minervini, F., Filannino, P., Sardaro, M. L. S., Gatti, M., Lindner, J. D. D. 2018. Effects of Sourdough on FODMAPs in Bread and Potential Outcomes on Irritable Bowel Syndrome Patients and Healthy Subjects. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1972.
- Menezes, L. A. A., Molognoni L., Sá Ploêncio L.A., Costa, F.B.M., Daguer, H., De Dea Lindner, J. 2019. Use of sourdough fermentation to reducing FODMAPs in breads. *European Food Research and Technology*, 245, 1183–1195.

Minervini, F., De Angelis, M., Di Cagno, R., Gobbetti, M. 2014. Ecological parameters influencing microbial diversity and stability of traditional sourdough. *International Journal of Food Microbiology*, 171, 136-146.

Minervini, F., Di Cagno, R., Lattanzi, A., De Angelis, M., Antonielli, L., et al. 2012. Lactic acid bacterium and yeast microbiotas of 19 sourdoughs used for traditional/typical Italian breads: interactions between ingredients and microbial species diversity. *Appl. Environ. Microbiol.* 78, 1251–1264.

Mohsen, S. M., Aly, M. H., Attia, A. A., Osman, D. B. 2016. Effect of sourdough on shelf life, freshness, and sensory characteristics of Egyptian Balady bread. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 4(2), 39–45.

Moroni, A. V., Arendt, E. K., Bello, F. D. 2011. Biodiversity of Lactic Acid Bacteria and Yeasts in Spontaneously-Fermented Buckwheat and Teff Sourdoughs. *Food Microbiology*, 28(3), 497–502.

Muir, J. G., Shepherd, S. J., Rosella, O., et al. 2007. Fructan and free fructose content of common Australian vegetables and fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(16), 6619.

Murillo, Z., Arévalo, E., Jáuregui, P. 2016. Diet low in fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides, and polyols (FODMAPs) in the treatment of irritable bowel syndrome: indications and design. *Endocrinología y Nutrición*, 63, 132–138.

Murray K., Wilkinson-Smith V., Hoad C., Costigan C., Cox E., Lam C., Marciani L., Gowland P., Spiller R.C. 2014. Differential effects of FODMAPs (fermentable oligo-, di-, mono-saccharides and polyols) on small and large intestinal contents in healthy subjects shown by MRI. *American Journal of Gastroenterology*, 109(1), 110–119.

Nilsson, U., Dahlqvist, A., Nilsson, B. 1986. Cereal fructosans: Part 2—characterization and structure of wheat fructosans. *Food Chemistry*, 22(2), 95–106.

Nionelli, L., & Rizzello, C.G. 2016. Sourdough-Based Biotechnologies for the Production of Gluten-Free Foods. *Foods*, 5.

Nionelli, L., Curri, N., Curiel, J. A., Cagno, R. D., Pontonio, E., Cavoski, I., Gobbetti, M., Rizzello, C. G. 2014. Exploitation of Albanian wheat cultivars: Characterization of the flours and lactic acid bacteria microbiota, and selection of starters for sourdough fermentation. *Food Microbiology*, 44, 96–107.

Nirmala Prasadi, V.P., Joye, I.J. 2020. Dietary fibre from whole grains and their benefits on metabolic health. *Nutrients*, 12, 3045.

Nouska, C., Hatzikamari, M., Matsakidou, A., Biliaderis, C.G., Lazaridou, A. 2023. Enhancement of Textural and Sensory Characteristics of Wheat Bread Using a Chickpea Sourdough Fermented with a Selected Autochthonous Microorganism. *Foods*, 12(16), 3112.

Olu-Owolabi, B. I., Afolabi, T. A., Adebowale, K. O. 2011. Pasting, thermal, hydration, and functional properties of annealed and heat-moisture treated starch of sword bean (*Canavalia gladiata*). *International Journal of Food Properties*, 14(1), 157-174.

Onno, B., Roussel, P. 1994. Technologie et microbiologie de la panification au levain. In: De Roissart, H., Luquet, F.M. (Eds.), *Bactéries Lactiques*. Loriga, 11. Uriage, France, pp. 293–320.

Özkaya, H., Özkaya, B. 2005. *Tahıl Ürünleri ve Analiz Yöntemleri*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları Yayın No: 31, Ankara, Türkiye.

Paludan-Müller, C., Gram, L., Rattray, F. P. 2002. Purification and Characterisation of an Extracellular Fructan β -fructosidase from a *Lactobacillus pentosus* Strain Isolated from Fermented Fish. *Systematic and Applied Microbiology*, 25(1), 13–20.

Papadimitriou, K., Zoumpopoulou, G., Georgalaki, M., Alexandraki, V., Kazou, M., Anastasiou, R., Tsakalidou, E. 2019. Chapter 5_Sourdough Bread. In: *Innovations in Traditional Foods*, Ch. Galanakis (Ed.), Woodhead Publishing, ss. 127-158.

Paramithiotis, S., Chouliaras, Y., Tsakalidou, E., Kalantzopoulos, G. 2005. *Application of selected starter cultures for the production of wheat sourdough bread using a traditional three-stage procedure*. *Process Biochemistry*, 40, 2813-2819.

Parenti, O., Carini, E., Marchini, M., Tuccio, M.G., Guerrini, L., Zanoni, B. 2021. Wholewheat bread: effect of gradual water addition during kneading on dough and bread properties. *LWT Food Science and Technology*, 142, 111017.

Pedersen, N., Andersen, N.N., Végh, Z., Jensen, L., Ankersen, D.V., Felding, M., et al. 2014. Ehealth: low FODMAPS diet vs *Lactobacillus rhamnosus* GG in irritable bowel syndrome. *World Journal of Gastroenterology*, 20, 16215–16226.

Pejcz, E., Szychaj, R., Gil, Z. 2019. Technological Methods for Reducing the Content of Fructan in Wheat Bread. *Foods*, 8, 663.

Pereira, M., et al. 2002. Effect of whole grains on insulin sensitivity in overweight hyperinsulinemic adults. *American Journal of Clinical Nutrition*.

Pirkola, L., Laatikainen, R., Lojonen, J., Hongisto, S. M., Hillilä, M., Nuora, A., Yang, B., Linderborg, K. M., Freese, R. 2018. Low-FODMAPS vs regular rye bread in irritable bowel syndrome: Randomized SmartPill® study. *World Journal of Gastroenterology*, 24, 1259–1268.

Plessas, S., Alexopoulos, A., Bekatorou, A., Mantzourani, I., Koutinas, A.A., Bezirtzoglou, E. 2011. Examination of freshness degradation of sourdough bread made with kefir through monitoring the aroma volatile composition during storage. *Food Chemistry*, 124(2), 627–633.

Plessas, S., Bekatorou, A., Gallanagh, J., Nigam, P.S., Koutinas, A.A., Psarianos, C. 2008. Evolution of aroma volatiles during storage of sourdough breads made by mixed

cultures of *Kluyveromyces marxianus* and *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* or *Lactobacillus helveticus*. *Food Chemistry*, 107, 883-889.

Pontis, H. G. 1966. Observations on the de novo synthesis of fructosans in vivo. *Arch Biochem Biochem.*, 116, 416-423.

Popov-Raljić, J., Mastilović, J., Laličić-Petronijević, J., Popov, V. 2009. Investigations of Bread Production with Postponed Staling Applying Instrumental Measurements of Bread Crumb Color. *Sensors*, 9(11), 8613–8623.

Poutanen, K., Flander, L., Katina, K. 2009. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiology*, 26, 693e699.

Quinn, M. 2011. Origins of Western diseases. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 104(11), 449-456.

Radoš, K., Čukelj Mustač, N., Varga, K., Drakula, S., Voučko, B., Ćurić, D., Novotni, D. 2022. Development of High-Fibre and Low-FODMAP Crackers. *Foods*, 11, 2577.

Ravyts, F., De Vuyst, L. 2011. Prevalence and Impact of Single-Strain Starter Cultures of Lactic Acid Bacteria on Metabolite Formation in Sourdough. *Food Microbiology*, 28(6), 1129–1139.

Reale, A., Konietzny, U., Coppola, R., Sorrentino, E., Greiner, R. 2007. The importance of lactic acid bacteria for phytate degradation during cereal dough fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 2993–2997.

Rebellato, A. P., Bussi, J., Silva, J. G. S., Greiner, R., Steel, C. J., Pallone, J. A. L. 2017. Effect of different iron compounds on rheological and technological parameters as well as bioaccessibility of minerals in whole wheat bread. *Food Research International*, 94, 65-71.

Rebello, C. J., Greenway, F. L., Finley, J. W. 2014. Whole grains and pulses: A comparison of the nutritional and health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(29), 7029–7049.

Reese, A. T., Madden, A. A., Joossens, M., Lacaze, G., Dunn, R. R. 2020. Influences of ingredients and bakers on the bacteria and fungi in sourdough starters and bread. *mSphere*, 5(1), e00950-19.

Ren, Y., Linter, B.R., Foster, T.J. 2020. Starch replacement in gluten-free bread by cellulose and fibrillated cellulose. *Food Hydrocolloids*, 107, 105957.

Ribet, L., Dessalles, R., Lesens, C., Brusselaers, N., Durand-Dubief, M. 2023. Nutritional benefits of sourdoughs: A systematic review. *Advances in Nutrition*, 14(1), 22–29.

Ripari, V., Cecchi, T., Berardi, E. 2016b. Microbiological Characterisation and Volatiles Profile of Model, Ex-Novo, and Traditional Italian White Wheat Sourdoughs. *Food Chemistry*, 205, 297–307.

- Ripari, V., Gänzle, M. G., Berardi, E. 2016a. Evolution of sourdough microbiota in spontaneous sourdoughs started with different plant materials. *International Journal of Food Microbiology*, 232, 35-42.
- Rizzello, C. G., Nionelli, L., Coda, R., Di Cagno, R., Gobbetti, M. 2010. Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of the white bread. *Eur Food Res Technol*, 230, 645–654.
- Rizzello, C. G., Portincasa, P., Montemurro, M., di Palo, D. M., Lorusso, M. P., de Angelis, M., et al. 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, 2954.
- Rizzello, C.G., Portincasa, P., Montemurro, M., Di Palo, D.M., Lorusso, M.P, et al. 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.
- Roberfroid, M., Gibson, G. R., Hoyles, L., McCartney, A. L., Rastall, R., Rowland, I., Wolvers, D., Watzl, B., et al. (2010). Prebiotic effects: Metabolic and health benefit. *British Journal of Nutrition*, 104, 1–63.
- Rocha, J.M., Malcata, F.X. 2012. Microbiological profile of maize and rye flours, and sourdough used for the manufacture of traditional Portuguese bread. *Food Microbiol.* 31, 72–88.
- Roest, R.H., Dobbs, B.R., Chapman, B.A., Batman, B., O'Brien, L.A., Leeper, J.A., et al. 2013. The low FODMAPS diet improves gastrointestinal symptoms in patients with irritable bowel syndrome: a prospective study. *International Journal of Clinical Practice*, 67, 895–903.
- Rosenquist, H., Hansen, Å. 2000. The Microbial Stability of Two Bakery Sourdoughs Made from Conventionally and Organically Grown Rye. *Food Microbiology*, 17(3), 241–250.
- Różyło, R., Rudy, S., Krzykowski, A., Dziki, D. 2015. Novel Application of Freeze-Dried Amaranth Sourdough in Gluten-Free Bread Production. *Journal of Food Process Engineering*, 38, 135–143.
- Rumessen, J. J., Gudmand-Høyer, E. 1998. Fructans of chicory: intestinal transport and fermentation of different chain lengths and relation to fructose and sorbitol malabsorption. *American Journal of Clinical Nutrition*, 68(2), 357-364.
- Sakandar, H.A., Hussain, R., Kubow, S., Sadiq, F.A., Huang, W., Imran, M. 2019. Sourdough Bread: A Contemporary Cereal Fermented Product. *Journal of Food Process Preservation*, 43(3), e13883.
- Savolainen, O. I., Coda, R., Suomi, K., Katina, K., Juvonen, R., Hanhineva, K., Poutanen, K. 2014. The role of oxygen in the liquid fermentation of wheat bran. *Food Chemistry*, 153, 424-431.

Scheuer, P. M., Mattioni, B., Barreto, P. L. M., Montenegro, F. M., Gomes-Ruffi, C. R., Biondi, S., Kilpp, M., Francisco, A. D. 2014. Effects of fat replacement on properties of whole wheat bread. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 50(4), 703-712.

Schillinger, U., & Lücke, F.K. (1987). Identification of Lactobacilli from meat and meat products. *Journal of Food Microbiology*, 4, 199-208.

Selimović, A., Miličević, D., Jašić, M., Selimović, A., Ačkar, Đ., Pešić, T. 2014. The effect of baking temperature and buckwheat flour addition on the selected properties of wheat bread. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 6(1), 43-50.

Sharpe, M.E. 1981. The genus *Lactobacillus*. In: Star, M.P, Stolp, H., Truper, H., Balows, A. ve Schlegel, H. (Eds.), *The Prokaryotes: A Handbook on Habitats, Isolation, and Identification of Bacteria*, Vol 2. Springer Verlag, 1653-1679.

Shewry, P. R., Hey, S. J. 2015. The contribution of wheat to human diet and health. *Food Energy Security*, 4, 178–202.

Shewry, P.R., America, A.H., Lovegrove, A., Wood, A.J., Plummer, et al. 2021. Comparative compositions of metabolites and dietary fibre components in doughs and breads produced from bread wheat, emmer and spelt and using yeast and sourdough processes. *Food chemistry*, 374, 131710.

Shirai, K., Revah-Moiseev, S., García-Garibay, M., Marshall, V. 1994. Ability of some strains of lactic acid bacteria to degrade phytic acid. *Letters in Applied Microbiology*, 19, 366–369.

Siepmann, F.B., Ripari, V., Waszczynskyj, N., & Spier, M.R. 2018. Overview of Sourdough Technology: from Production to Marketing. *Food and Bioprocess Technology*, 11, 242-270.

Singleton, P., Sainsbury, D. 1987. *Dictionary of Microbiology and Molecular Biology* (2. baskı). John Wiley & Sons.

Siyi, F., Yan, B., Tian, F., Lian, H., Zhao, J., Zhang, H., Chen, W., Fan, D. 2021. β -fructosidase *FosE* activity in *Lactobacillus paracasei* regulates fructan degradation during sourdough fermentation and total FODMAPS levels in steamed bread. *LWT*.

Skov, T. 2019. *The Sourdough Baker: Mastering the Art of Naturally Leavened Bread*. Quarto Publishing Group.

Staudacher, H.M., Lomer, M.C.E., Anderson, J.L., Barrett, J.S., Muir, J.G., Irving, P.M., et al. 2012. Fermentable carbohydrate restriction reduces luminal Bifidobacteria and gastrointestinal symptoms in patients with irritable bowel syndrome. *Journal of Nutrition*, 142, 1510–1518.

Stolz, P. 1999. Mikrobiologie des Sauerteiges, In: Spicher, G., Stephan, H. (Eds.), *Handbuch Sauerteig: Biologie, Biochemie, Technologie*, 5th ed. Behr's Verlag, Hamburg, Germany, pp. 35–60.

- Stolz, P., Böcker, G., Hammes, W. P., Vogel, R. F. 1995. Utilization of electron acceptors by lactobacilli isolated from sourdough. I. *Lactobacillus sanfrancisco*. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 201(1), 91–96.
- Struyf, N., Laurent, J., Lefevre, B., Verspreet, J., Verstrepen, K. J., Courtin, C. M. 2017. Establishing the relative importance of damaged starch and fructan as sources of fermentable sugars in wheat flour and whole meal bread dough fermentations. *Food Chemistry*, 218, 89-98.
- Sümbül, M. 2021. *Ekşi Hamur Ekmeklerinin Üretiminde Kullanılmak Üzere Bir Sıvı Ekşi Hamur Mayasının Geliştirilme İmkânlarının Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sun, W., Zhang, W., Xu, Y., Wang, P., Shen, W. 2023. Dough rheology, pasting property, and steamed bread quality of wheat flour as affected by the addition of sprouted wheat flour. *International Journal of Food Properties*, 26(1), 2160-2170.
- Sun, X., Pei, F., Fang, Y. 2022. The effects of hydrocolloids on the thermomechanical, viscoelastic, and microstructural properties of whole wheat flour dough. *Food Chemistry*, 370, 130976.
- Tebben, L., Shen, Y., Li, Y. 2018. Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: a review of their effects on dough properties and bread quality. *Trends in Food Science and Technology*, 81, 10–24.
- Tomić, J., Dapčević-Hadnađev, T., Škrobot, D., Maravić, N., Popović, N., Stevanović, D., Hadnađev, M. 2023. Spontaneously fermented ancient wheat sourdoughs in breadmaking: Impact of flour quality on sourdough and bread physico-chemical properties. *LWT Volume 175*, 1 February 2023, 114482.
- Torrieri, E., Pepe, O., Ventorino, V., Masi, P., Cavella, S. 2014. Effect of sourdough at different concentrations on quality and shelf life of bread. *LWT - Food Science and Technology*, 56(2), 508–516.
- Tuck, J., Muir, J.G., Barrett, J.S., Gibson, P.R. 2014. Fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides, and polyols: role in irritable bowel syndrome. *Expert Review of Gastroenterology Hepatology*, 8, 819–834.
- Tucker, A.J., MacKay, K.A., Robinson, L.E., Graham, T.E., Bakovic, M., Duncan, A.M. 2010. The effect of whole grain wheat sourdough bread consumption on serum lipids in healthy normoglycemic/normoinsulinemic and hyperglycemic/hyperinsulinemic adults depends on the presence of the APOEε3/ε3 genotype: a randomized controlled trial. *Nutrition and Metabolism*, 7, 37–49.
- Ünüvar, A. (2013). Menengiç (*Pistacia Terebinthus* L.) ve bazı ekmek katkı maddelerinin hamur reolojik özellikleri ve ekmek kalitesi üzerine etkileri (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Uslu, C. 2022. Ekşi hamur ekmeklerinin proses kontaminant içeriklerini azaltmak için yeni bir pişirme tekniğinin araştırılması ve farklı pişirme teknikleriyle üretilmiş olan ekşi hamur ekmeklerinin karşılaştırılması (Doktora Tezi). Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran 2022.

Valmorri, S., Tofalo, R., Settanni, L., Corsetti, A., & Suzzi, G. 2010. Yeast microbiota associated with spontaneous sourdough fermentations in the production of traditional wheat sourdough breads of the Abruzzo region (Italy). *Antonie van Leeuwenhoek*, 97, 119-129.

Van Kerrebroeck, S., Bastos, F.C.C., Harth, H., De Vuyst, L., Low, A. 2016. 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.

Van Loo, J., Coussement, P., Leenheer, L., de Hoebregs, H., Smits, G. 1995. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 525–552.

Vermeulen, N., Gänzle, M.G., Vogel, R.F. 2007. Glutamine deamidation by cereal associated lactic acid bacteria. *J. Appl. Microbiol.* 103, 1197–1205.

Verspreet, J., Dornez, E., Ende, W. V. D., Delcour, J. A., Courtin, C. M. 2015. Cereal grain fructans: Structure, variability and potential health effects. *Trends in Food Science & Technology*, 43(1), 32–42.

Verspreet, J., Pollet, A., Cuyvers, S., Vergauwen, R., Van Den Ende, W., Delcour, J. A., Courtin, C. M. 2012. A simple and accurate method for determining wheat grain fructan content and average degree of polymerization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 2102–2107.

Viiard, E., Bessmeltseva, M., Simm, J., Talve, T., Aaspõllu, A., Paalme, T., Sarand, S.I., Ercolini, D. 2016. Diversity and Stability of Lactic Acid Bacteria in Rye Sourdoughs of Four Bakeries with Different Propagation Parameters. *PLoS One*, 11(2), e0148325.

Vogel, R.F., Pavlovic, M., Ehrmann, M.A., Wiezer, A., Liesegang, H., Offschanka, S., Voget, S., Angelov, A., Böcker, G., Liebl, W. 2011. Genomic analysis reveals *Lactobacillus sanfranciscensis* as a stable element in traditional sourdoughs. *Microbial Cell Factories*, 10, 6.

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.

Währen, M. 2000. Gesammelte Aufsätze und Studien zur Brot- und Gebäckkunde und -geschichte. In Eiselen, H. (Ed.), Deutsches Brotmuseum. Ulm, Germany.

- Wang, Y., Cheng, X., Shan, Q., Zhang, Y., Liu, J., Gao, C., Qiu, J. L. 2014. Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. *Nature Biotechnology*, 32(9), 947.
- Whelan, K., Abrahmsohn, O., David, G.J., Staudacher, H., Irving, P., Lomer, M.C., Ellis, P.R. 2011. Fructan content of commonly consumed wheat, rye and gluten-free breads. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 62, 498–503.
- White, P. 2019. Tartine Bread: A Revolutionary Guide to Modern Baking. *Ten Speed Press*.
- Wolter, A., Hager, A.-S., Zannini, E., Arendt, E.K. 2014. Influence of Sourdough on in Vitro Starch Digestibility and Predicted Glycemic Indices of Gluten-Free Breads. *Food Function*, 5, 564–572.
- Wu, C., Liu, R., Huang, W., Rayas-Duarte, P., Wang, F., Yao, Y. 2012. Effect of sourdough fermentation on the quality of Chinese northern-style steamed breads. *Journal of Cereal Science*, 56, 127–133.
- Yağmur, G. 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, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Yan, B., Sadiq, F.A., Cai, Y., Fan, D., Chen, W., Zhang, H., Zhao, J. 2019. Microbial Diversity in Traditional Type I Sourdough and Jiaozi and Its Influence on Volatiles in Chinese Steamed Bread. *LWT*, 101, 764–773.
- Yezbick, G., Jarvis, A. J., Schwartz, J. S., Vodovotz, Y. 2013. Physicochemical Characterization and Sensory Analysis of Yeast-leavened and Sourdough Soy Breads. *Journal of Food Science*, Vol. 78(10).
- Yılmaz, E., Yüksel, Z. 2023. Ekşi maya ve ekşi mayalı ekmeğin bazı teknolojik özellikleri ile sağlık üzerine etkileri. *GIDA*, 48 (4), 750-771.
- Yu, Y., Wang, L., Qian, H., Zhang, H., Li, Y., Wu, G., Qi, X., Rao, Z. 2019. Effect of Selected Strains on Physical and Organoleptic Properties of Breads. *Food Chemistry*, 276, 547–553.
- Yurtsever, N. 1984. *Deneyisel İstatistik Metotları*. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Genel Yayın No: 121, Teknik Yayın No: 56, Ankara.
- Zannini, E., Pontonio, E., Waters, D. M., Arendt, E. K. 2012. Applications of microbial fermentations for production of gluten-free products and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93, 473–485.
- Zhao, C. J., Schieber, A., Gänzle, M. G. 2016. Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives, and peptides in food fermentations- a review. *Food Research International*, 89, 39–47.

Zheng, J., Ruan, L., Sun, M., & Gänzle, M. 2015. A genomic view of lactobacilli and pediococci demonstrates that phylogeny matches ecology and physiology. *Applied and Environmental Microbiology*, 81, 7233–7243.

Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C.M.A.P. et al. 2020. A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 70, 2782–2858.

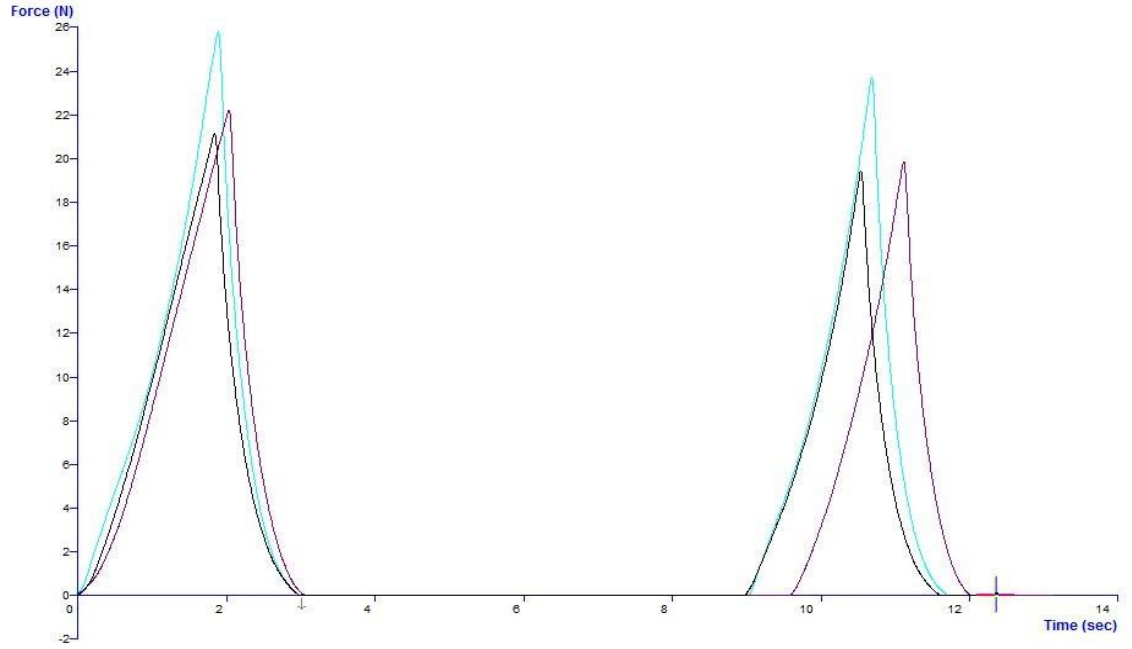
Ziegler, J. U., Steiner, D., Longin, C. F. H., Würschum, T., Schweiggert, R. M., Carle, R., et al. 2016. Wheat and the irritable bowel syndrome – FODMAPS levels of modern and ancient species and their retention during bread making. *Journal of Functional Foods*, 25, 257–266.

EKLER

EK 1 Ekmekte Duyusal Analiz Anketi

Panalistin adı-soyadı:		Ürün: EKMEK								
Kalite Kriterleri		Numune Kodları								
Ekmek içi	Gözenek yapısı ve Homojenlik									
	Ekmek içi yapışkanlık									
	Çiğnenebilirlik									
	Renk									
	Tat									
	Kuruluk									
Ekmek Kabuk	Renk									
	Kabuk yapısı									
	Şekil									
	Hacim									
Genel Değerlendirme										

EK 2 Tekstür Analiz Diyagramı



Siyah: Kontrol

Açık Mavi: Balıkesir 1-2

Mor: Bursa 2-2

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özen SÖKMEN

Doğum Yeri ve Tarihi : Iğdır

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lisans : Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi

Yüksek Lisans :Bursa Teknik Üniversitesi

İletişim (e-posta) : ozensokmen@gmail.com

Yayınları :

Dundar, A. N., Aydin, E., Yildiz, E., & Parlak, O. (2020). Effects of chia seed on chemical properties and quality characteristics of regular and low-fat crackers. *Food Science and Technology*, 41, 919-927.

Parlak, Ö., & Dundar, A. N. (2021). Production of low protein and gluten-free cookies for phenylketonuria (PKU) and/or celiac patients. *Czech Journal of Food Sciences*, 4.

Sokmen, O., Ozdemir, S., Dundar, A. N., & Cinar, A. (2022). Quality properties and bioactive compounds of reduced-fat cookies with bee pollen. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 3, 100557.

Dundar, A. N., Yildiz, E., Parlak, Ö., & Aydin, E. (2021). Use of chia seed on regular and low-fat crackers, their antioxidant properties, and in-vitro bioaccessibility. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 5(3).

Gülbetekin, E., Güven, E., & Sökmen, Ö. (2023). The effect of internet addiction on physical activity and dietary habits in high school students. *Journal of Public Health*, 1-8.

Sökmen, Ö. (2018). Fenilketonüri hastaları (PKU) ve çölyak hastaları için bisküvi üretimi. *Bursa Teknik Üniversitesi*.

Sökmen, O., Sökmen Gürçam, Ö., Dünder, A. N., & Sarıcaoğlu, F. T. (2022). What have been highly pointed in bread and sourdough researches: using bibliometric analysis as a powerful tool. 3, 1