T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKŞİ HAMUR FERMANTASYONUNUN NİŞASTA SİNDİRİLEBİLİRLİĞİNE, MİNERAL VE PROTEİN BİYOERİŞİLEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ

Hilal DEMİRKESEN BIÇAK

DOKTORA TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Muhammet ARICI

Mart, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKŞİ HAMUR FERMANTASYONUNUN NİŞASTA SİNDİRİLEBİLİRLİĞİNE, MİNERAL VE PROTEİN BİYOERİŞEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ

Hilal DEMİRKESEN BIÇAK tarafından hazırlanan tez çalışması 26/03/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Muhammet ARICI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Muhammet ARICI, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Muhammed Zeki DURAK, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Salih KARASU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Mustafa YAMAN, Üye
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi _____

Dr. Öğr.Üyesi Banu METİN, Üye
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Muhammet ARICI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Ekşi Hamur Fermantasyonunun Nişasta Sindirilebilirliğine, Mineral ve Protein Biyoerişilebilirliğine Etkisi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hilal DEMİRKESEN BIÇAK

İmza

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 119O605 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Canım Aileme,

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu zorlu ve meşakkatli yolda yalnız olmadığımı, desteği ve ilgisi ile her daim hissettiren ve doktora sürecimin her aşamasında bilgisi ve tecrübesinden yararlanma fırsatı bulduğum çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Muhammet ARICI'ya içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme jürimde bulunan ve aynı proje ekibinde yer alma şansı bulduğum, bana en az kendi öğrencileri kadar vakit ayırıp laboratuar olanaklarını sunan ve araştırmamın her aşamasında destek olan Doç.Dr. Mustafa YAMAN'a

Aynı proje ekibinde yer alma fırsatı bulduğum ve değerli görüşlerinden istifade ettiğim Prof.Dr. Osman SAĞDIÇ'a, tez izleme komitemde yer alarak görüş ve önerileri ile katkı sunan Doç.Dr. Zeki DURAK ve araştırma bulgularımın değerlendirilmesi konusunda desteğini esirgemeyerek kıymetli bilgilerini paylaşan Doç.Dr. Salih KARASU'ya,

Yol göstericiliği ile tez çalışmamda desteğini hissettiğim Dr.Öğr.Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ ve laboratuar çalışmalarımda hem bilgisi hem de pozitif yaklaşımları ile destek olan Öğr.Gör.Dr. Ruşen METİN YILDIRIM başta olmak üzere Gıda Mühendisliği Bölümü tüm öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerine teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarım esnasında gerekli akademik izni sağlayan ve desteğini her daim hissettiren İYYÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Cüneyt ULUTİN ve üyesi olmaktan mutluluk duyduğum Beslenme ve Diyetetik Bölümü'nün kıymetli hocalarına teşekkür ederim.

Doktora eğitimim süresince ilgisi ve desteği ile yanımda olan sevgili eşim Umut Kaan BIÇAK'a ve başta anneannem olmak üzere mezuniyetimi görmek için sabırsızlıkla bekleyen ve tüm eğitim hayatım boyunca manevi desteğini esirgemeyen çok kıymetli aile üyelerim; annem, babam, teyzem ve enişteme teşekkür eder, sevgilerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmalarımı 119O605 numaralı projesi ile destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ ix
KISALTMA LİSTESİ x
ŞEKİL LİSTESİ xi
TABLO LİSTESİ xii
ÖZET xiii
ABSTRACT xv
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 6
1.3 Hipotez 7
2 GENEL BİLGİLER 9
2.1 Ekşi Hamurun Tarihçesi 9
2.2 Ekşi Hamur Mikroorganizmaları 11
2.3 Beslenme Fizyolojisi Bakış Açısı ile Ekşi Hamur Fermantasyonu 13
2.4 Ekmek Üretiminde Ekşi Hamur Fermantasyonunun Etkileri 16
2.5 Karbonhidrat Sindirimi ve Metabolizması 17
2.5.1 Karbonhidratların Metabolik Kullanımı 17
2.5.2 Kan Şekeri Konsantrasyonunun Düzenlenmesi 19
2.5.3 Glisemik İndeks 19
2.5.4 Nonglisemik Karbonhidratlar 20
2.6 Mineraller ve Mineral Biyoyararlılığı 24
2.6.1 Kalsiyum 29
2.6.2 Demir 31
2.6.3 Çinko 32
2.7 Tahılların Protein Sindirilebilirliği 34
2.7.1 Protein Sindirimi 37
2.7.2 Protein Sindirilebilirliği ve Etkileyen Faktörler 39
3 MATERYAL VE YÖNTEM 44
3.1 Materyal 44

3.2 Yöntem 44
3.2.1 Ekşi Hamur Üretimi 44
3.2.2 Ekşi Hamur Karakterizasyonu 46
3.2.3 Ekmek Yapımı 47
3.2.4 Ekmek Örneklerinde Kompozisyon Analizleri 49
3.2.5 Ekmek Örneklerinde Fiziksel Analizler 51
3.2.6 Duyusal Analiz 52
3.2.7 Ekmekte *in vitro* Glisemik İndeks Belirlenmesi 53
3.2.8 Ekmekte Nişasta Fraksiyonlarının Belirlenmesi 53
3.2.9 Ekmekte *in vitro* Protein ve Mineral Biyoerişilebilirliğinin Belirlenmesi 55
3.2.10 Amino Asit Profilinin Belirlenmesi 56
3.2.11 Ekmekte *in vivo* Glisemik İndeks Tayini 57
3.2.12 İstatistiki Analizler ve Sonuçların Değerlendirilmesi 59
4 BULGULAR VE TARTIŞMA 60
4.1 Ekşi Hamura Ait Özellikler 60
4.2 Ekmek Örneklerinin Kimyasal Kompozisyonu 64
4.3 Ekmek Örneklerinin Fiziksel Özellikleri 66
4.3.1 Tekstür Özellikleri ve Spesifik Hacim 66
4.3.2 Ekmek Örneklerinin Renk Değerleri 69
4.3.3 Ekmek Örneklerinin Termal Özellikleri 73
4.4 Ekmek Örneklerinin Duyusal Özellikleri 77
4.5 *in vitro* Analiz Sonuçları 78
4.5.1 Ekmek Örneklerinin Nişasta Sindirilebilirliği 78
4.5.2 Ekmek Örneklerinin *in vitro* Glisemik İndeks ve Hidroliz İndeksi 83
4.5.3. Ekmek Örneklerinin Mineral Biyoerişilebilirliği 87
4.5.4 Ekmek Örneklerinin *in vitro* Protein Biyoerişilebilirliği 93
4.5.5 Ekmek Örneklerinin Amino Asit Profilleri 95
4.6 Ekmek Örneklerinin *in vivo* Glisemik İndeksi 104
4.6.1. Bireylerin Antropometrik Ölçümlerinin Değerlendirilmesi 104
4.6.2 Bireylerin Kan Glukoz Ölçümlerinin Değerlendirilmesi 105
4.6.3 Ekmek Örneklerinin in vivo Glisemik İndeks Değerleri 108
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 111
KAYNAKÇA 114
A Klinik Araştırmalar Etik Kurul İzni ve Araştırma Protokolü 127

B Duyusal Değerlendirme Formu **141**
C Örneklerin Amino Asit Profiline Ait Kromotogramlar **142**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **150**

SİMGE LİSTESİ

α	Alfa
Cu	Bakır
β	Beta
Zn	Çinko
Fe	Demir
dL	Desilitre
(ΔH)	Entalpi
P	Fosfor
g	Gram
Ca	Kalsiyum
CO_2	Karbondioksit
a*	Kırmızılık
kkal	Kilokalori
L	Litre
Log	Logaritma
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
µg	Mikrogram
µL	Mikrolitre
mg	Miligram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
M	Molar
nm	Nanometre
N	Normal
L*	Parlaklık
K	Potasyum
°C	Santigrad derece
b*	Sarılık
cm^3	Santimetreküp
Na	Sodyum
U	Ünite
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

AAS	Atomik absorbsiyon spektrometresi
BKİ	Beden kütle indeksi
DN	Dirençli nişasta
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
EAA	Esansiyel amino asit
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
FOS	Frukto-oligosakkarit
G20	20 dk'lık inkübasyon sonrası serbest kalan glukoz absorbansı
G120	120 dk'lık inkübasyon sonrası serbest kalan glukoz absorbansı
GOPOD	Glukozoksidaz peroksidaz
HI	Hidroliz indeksi
HSN	Hızlı sindirilen nişasta
ICP-OES	İndüktif eşleşmiş plazma- optik emisyon spektrometresi
kob	Koloni oluşturan birim
LAB	Laktik asit bakterisi
MRSA	deMan, Rogosa and Sharpe agar
MÖ	Milattan önce
MS	Milattan sonra
SDA	Sabouraud dextrose agar
TCA	Trikloroasetik asit
TN	Toplam nişasta
TPA	Tekstür profil analizi
YSN	Yavaş sindirilen nişasta

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Ekşi hamur fermantasyonunun ekmeğin besinsel özellikleri üzerinde etkileri 14
Şekil 2.2 Besin öğelerinin sindirim ve emilim diyagramı 18
Şekil 3.1 Tip-1 ve tip-2 ekşi hamur üretimi akış diyagramı 45
Şekil 3.2 Saf kültürlerin katı besiyerinde gelişim görüntüleri (Soldan sağa sırasıyla *Lactobacillus brevis* ELB99, *Lactiplantibacillus plantarum* ELB75 ve *Saccharomyces cerevisiae* TGM55) 46
Şekil 3.3 Ekmek tavalarında fermantasyon sonrası ekmek hamuru 47
Şekil 3.4 Tekstür profil cihazı 51
Şekil 3.5 Duyusal analize hazırlanan ekmek örnekleri 52
Şekil 3.7 Kan glukozunun zamana karşı miktarı ile elde edilen glisemi eğrisi 58
Şekil 3.8 Test gıdası tüketen bireylerin kapiller kan glukoz ölçümleri 58
Şekil 4.1 Ekşi hamurlara ait görseller 60
Şekil 4.2 Ekmek örneklerinin spesifik hacim değerleri 67
Şekil 4.3 Ekşi hamur ekmekleri ve kontrol ekmeklerine ait görseller 72
Şekil 4.4 Ekşi hamur ekmeklerinin ve kontrol ekmeğinin 1. gün DSC termogramı 73
Şekil 4.4 Ekşi hamur ekmeklerinin ve kontrol ekmeğinin 5. gün DSC termogramı 74
Şekil 4.6 1tb25 kodlu ekmeğin 1.gün ve 5.gün DSC termogramı 76
Şekil 4.7 Ekmek örneklerinin duyusal analiz sonuçları 77
Şekil 4.8 Ekmek örneklerinde nişasta fraksiyonlarının yüzdesel dağılımı 81
Şekil 4.9 Tip-1 fermantasyonla elde edilen ekşi hamur ekmekleri ve kontrol ekmeklerine ait hidroliz eğrileri 85
Şekil 4.10 Tip-2 fermantasyonla elde edilen ekşi hamur ekmekleri ve kontrol ekmeklerine ait hidroliz eğrileri 85
Şekil 4.11 Ekmek örneklerinin (%) mineral biyoerişilebilirlik değerleri 90
Şekil 4.12 Ekmek örneklerinin (%) protein biyoerişilebilirlik değerleri 94
Şekil 4.13 Genel amino asit analiz standardına ait kromotogram 95
Şekil 4.14 Triptofan analiz standardına ait kromotogram 95
Şekil 4.15 1b30 kodlu ekmeğe ait kromotogram 96
Şekil 4.17 1b30 ve kb kodlu örneklere ait glisemi eğrisi 107
Şekil 4.18 1b30 ve kb kodlu örneklere ait glisemi eğrisi 108
Şekil 4.19 Glisemik indeks değerleri (*in vivo* ve *in vitro*) 109

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Ekşi hamurdan izole edilen LAB ve maya türleri 13
Tablo 3.1 Ekşi Hamur örneklerine ait kodlama 48
Tablo 4.1 Fermantasyon tipi ve sıcaklığın ekşi hamurun mikrobiyolojik özellikleri ve pH üzerindeki etkisi 61
Tablo 4.2 Ekmek örneklerinin kimyasal kompozisyonu 65
Tablo 4.3 Ekmek örneklerine ait tekstürel değerler 66
Tablo 4.4 Ekmek örneklerinin kabuk renk özellikleri 69
Tablo 4.5 Ekmek örneklerinin iç kesit renk özellikleri 70
Tablo 4.6 Ekmek örneklerinin termal özellikleri 75
Tablo 4.7 Ekmek örneklerinin nişasta fraksyionları ve toplam nişasta miktarı 79
Tablo 4.8 Ekmek örneklerinin hidroliz indeksi ve glisemik indeks değerleri 83
Tablo 4.9 Ekmek örneklerinin sindirim öncesi ve sindirim sonrası mineral düzeyleri 88
Tablo 4.10 Ekmek örneklerinin (%) mineral biyoerişilebilirlik değerleri 91
Tablo 4.11 Ekmek örneklerinin protein biyoerişilebilirlik değerleri 93
Tablo 4.12 Ekmek örneklerinin esansiyel amino asit düzeyleri (mg/100g) 97
Tablo 4.13 Ekmek örneklerinin diğer amino asit düzeyleri (mg/100g) 99
Tablo 4.14 Bireylerin antropometrik ölçüm değerleri 104
Tablo 4.15 Test örneklerine ait kan glukozu ölçüm değerleri (mg/dL) 105
Tablo 4.16 Test örneklerine ait kan glukozu ölçüm değerleri (mg/dL) 106
Tablo 4.17 Ekmek örneklerinin *in vivo* yöntem ile tespit edilen GI değerleri 108

ÖZET

Ekşi Hamur Fermantasyonunun Nişasta Sindirilebilirliğine, Mineral ve Protein Biyoerişilebilirliğine Etkisi

Hilal DEMİRKESEN BIÇAK

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Muhammet ARICI

Bu tez çalışmasının amacı, deneysel olarak hazırlanmış sekiz farklı ekşi hamur ekmeğinin glisemik indeksi (GI), *in vitro* nişasta sindirilebilirliği, protein ve mineral biyoerişilebilirliği ile amino asit profili üzerindeki ekşi hamur fermantasyonunun etkisini değerlendirmektir. Ekmekler, farklı fermantasyon koşullarında (25 ve 30°C) buğday unu ve tam buğday unu ve iki farklı ekşi hamur fermantasyon yöntemi (tip-1 ve tip-2) kullanılarak üretilmiştir. Hamur örneklerinin mikrobiyolojik özellikleri incelenmiştir. Ekmek örnekleri, nişasta fraksiyonlarını, glisemik indekslerini (*in vivo* ve *in vitro*), protein ve mineral biyoerişilebilirliğini ve amino asit profillerini belirlemek için analiz edilmiştir. 30°C'de elde edilen tip-2 ekşi hamur ilavesi, ekmek örneklerinin dirençli nişasta (DN) içeriğinde en etkili artışı sağlamıştır. Tam buğday unundan elde edilen ekmeklerin yavaş sindirilebilen nişasta (YSN) içeriği, aynı koşullarda üretilen buğday unu ekmeklerine göre daha düşük bulunmuştur. GI'de en büyük düşüş, %29,74 oranında tip-2 yöntemi ile 30°C fermantasyon sıcaklığında üretilen tam buğday ekşi hamurlu ekmeğe aittir. Ekşi hamur eklemek, hızlı sindirilen nişasta

(HSN) ve GI miktarını azaltmak için etkili bir strateji gibi görünmektedir. Tüm ekşi hamur ekmeklerinde Zn ve Ca biyoerişilebilirliği %60'ın üzerinde bulunurken, tip-2 fermantasyon yöntemiyle elde edilen ekşi hamur ekmeklerinde bu oran %80'in üzerindedir. Mineral biyoerişilebilirlik oranları karşılaştırıldığında buğday unu ile hazırlanan ekşi hamur ekmeklerinde Ca> Zn> Fe şeklinde olduğu görülmüştür. Amino asit profili sonuçları, farklı fermantasyon koşullarının, özellikle tip-2 yöntemi ile elde edilen ekşi hamur ekmekleri başta olmak üzere numunelerin amino asit seviyelerini artırmada etkili olabileceğini göstermiştir. Ekmek örneklerinin protein biyoerişilebilirlik düzeyleri %78,25 ile 84,84 arasında bulunmuştur. Örnekler arasında toplam protein miktarları benzer olduğu için fermantasyonun bir etkisi yok gibi görünse de ekşi hamur ekmeğindeki esansiyel amino asitlerdeki artış ekşi hamur örneklerinde proteinin biyolojik değerini olumlu yönde etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekşi hamur, fermantasyon, sindirilebilirlik, biyoerişilebilirlik, glisemik indeks

ABSTRACT

Effect of Sourdough Fermentation on Starch Digestibility, Mineral and Protein Bioaccessibility

Hilal DEMİRKESEN BIÇAK

Department of Food Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof. Dr. Muhammet ARICI

The aim of this thesis is to evaluate the influence of sourdough fermentation on estimated glycemic index (eGI), *in vitro* starch digestibility, protein and mineral bioaccesibility and amino acid profile of eight experimentally prepared sourdough breads. Breads were produced by using wheat flour and whole wheat flour on different fermentation conditions (25 and 30°C) and two different sourdough fermentation method (type-1 and type-2). Dough samples were examined as microbiological features. Bread samples were analyzed for determining their starch fractions, glycemic index (*in vivo* and *in vitro*), protein and mineral bioaccesibility and amino acid profiles. Addition of type-2 sourdough, which was obtained at 30°C, provided most effective increasing in resistant starch (RS) content of bread samples. Slowly digestible starch (SDS) content of the breads obtained from whole wheat flour was lower than the wheat flour breads. The greatest decreases of eGI belongs to whole wheat sourdough bread, produced at 30°C fermentation temperature by using type-2 method, at the rate of 29.74 %. Adding sourdough seems to be an effective strategy to reduce the amount of rapidly digestible starch (RDS) and eGI. Zn and Ca bioavailability was found above

60% in all sourdough breads, while this rate was over 80% in sourdough breads obtained by type-2 fermentation method. When mineral bioaccesibility ratios were compared, it was observed that Ca>Zn>Fe in sourdough breads which were prepared with wheat flour. Amino acid profile results showed that different fermentation conditions can be effective in increasing the amino acid levels of the samples, especially the sourdough breads obtained by the type-2 method. Protein bioaccesibility levels of bread samples were found between 78.25% and 84.84%. Even though fermentation seems to have no effect since the total protein amounts were similar, the increase in essential amino acids in sourdough bread affects the biological value of the protein.

Keywords: Sourdough, fermentation, digestibility, bioaccessibility, glycemic index

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Ekşi hamur; tahıl esaslı gıdaların duyusal, besleyici, fonksiyonel ve teknolojik özelliklerini geliştirmek amacı ile genellikle un ve suya kimi zaman mayalar ve laktik asit bakterileri (LAB) ilavesi ile kimi zaman ise çeşitli meyveler ve gıdalar eklenerek hazırlanan tahıl fermantasyonunda kullanılan bir başlangıç preperatıdır (Arendt vd., 2011; Gobbetti vd., 2014). Spontan fermantasyon yöntemi ile M.Ö. yaklaşık 3000 yılından beri üretilerek ekmek yapımında kullanılmaktadır. Antik Mısır, Avrupa, Yunanistan ve Roma İmparatorluğunda ekşi hamur kullanımı ard arda yayılmıştır (Catzeddu, 2011). 19. Yüzyıldan itibaren hayat koşullarının değişmesi, daha hızlı üretip daha hızlı tüketim alışkanlıklarının etkisi ile ekşi hamurun kullanımı azalmış ve yerini ticari fırıncı mayalarına (*Saccharomyces cerevisiae*) bırakmıştır. Fakat son yıllarda tüketicilerin sağlıklı beslenme ve artizan ekmekçiliğe olan ilgilerinin artması ile ekşi hamur kullanımı yaygınlaşmıştır. Ekşi hamur kullanımının son ürünün besleyici özelliklerini geliştirmesi, raf ömrünü uzatması (Chavan ve Chavan, 2011), ekmek lezzet ve aromasında belirgin iyileştirmeler sağlaması gibi birden çok katkısı vardır (De Vuyst vd., 2013). Ekşi hamur aynı zamanda nişasta sindirilebilirliğini yavaşlatarak son üründe düşük glisemik indeksle sonuçlanabilmektedir. Biyoaktif bileşiklerin düzeylerini ve biyolojik olarak erişilebilirliğini modüle etmekte ve mineral biyoyararlanımını geliştirmektedir. Tahıl matriksindeki değişiklikler beslenme kalitesine sayısız katkıda bulunmaktadır. Bunlar, asit üretimini, nişasta sindirilebilirliğini geciktirmeyi ve pH aralığının belirli endojen enzimlerin etkisini destekleyen bir aralığa ayarlanmasını, böylece minerallerin ve fitokimyasalların biyoyararlılık modelinin değiştirilmesini içermektedir. Prebiyotik oligosakaritler veya diğer metabolitler gibi yeni biyoaktif bileşikler de tahıl fermantasyonlarında oluşabilmektedir. Tahıl proteini hassasiyeti olan bireylerde; ekşi hamurdaki laktobasillerin peptidazları ve tahıldan gelen endojen ve egzojen proteazların

etkileri alerji ve intolerans tepkilerini azaltabilmektedir. Ayrıca ekşi hamur fermantasyonu esnasındaki mikrobiyal metabolizma etkisi ile peptidler ve amino asit türevleri gibi çeşitli aktif bileşenler üretilmektedir (Gobbetti vd., 2014).

Günlük diyette hızlı sindirilen karbonhidratlara daha fazla yer verildikçe postprandiyal dönemde kan glukoz seviyesinin hızla artmasına ve daha fazla insülin gereksinimine neden olmaktadır. Hipergliseminin metabolik sendromla ilişkili hastalıkların etiyolojisinde rol oynayan bir risk faktörü olduğu bilinmektedir. Fırıncılık ürünleri batı diyetinin başlıca karbonhidrat kaynağıdır. Bu fırıncılık ürünlerinin tam tahıldan yapılmış olsalar bile glisemik indeksleri yüksektir (Foster-Powell vd., 2002). Birçok fizyolojik faktör nişasta sindirilebilirliğini etkilemektedir. α-amilazın substrata bağlanması, gastrik boşalma, enzim inhibitörleri, sindirim enzimlerinin özellikleri ve sindirim sistemi enzimlerinin viskoziteleri bu faktörlerin bir kaçıdır (Leloup vd., 2004; Zhang vd., 2008; Zhang ve Hamaker, 2009). Tahılların makro ve mikro yapıları da nişasta sindirilebilirliğini etkilemektedir. Örneğin jelatinize olan nişasta daha hızlı sindirilmektedir. Bu durumun tam tersine, nişastanın retrogradasyonu yavaş sindirilebilirliği destekler. Amilopektinin dallanmış yapısının yüksek yoğunluğa sahip olması da aynı şekilde nişasta sindirimini yavaşlatmaktadır. Ekşi hamur ekmeği tüketimi postprandiyal kan glukozunu ve insülin yanıtını azaltmaktadır. Bu mekanizma gastrik boşalmayı yavaşlatan ve sindirim enzimlerinin nişastaya erişimini azaltan organik asitlerin varlığı ile açıklanmaktadır (Fardet vd., 2006). Bu mekanizma ve ekşi hamur ekmeğinin yoğun yapısı sayesinde son ürün daha düşük glisemik indekse sahip olmaktadır. Etkinin esas olarak fermantasyon sırasında organik asitler, özellikle laktik asit oluşumundan kaynaklandığı kabul edilir. Asitlerin akut etkileri için fizyolojik mekanizmalar değişir; laktik asit ekmekteki nişasta sindirim oranını düşürürken (Liljeberg vd., 1995) asetik ve propiyonik asitler gastrik boşalma oranını düşürürler (Liljeberg ve Bjo, 1998). Ekşi hamur fermantasyonu sırasında meydana gelen kimyasal değişiklikler, ekşi hamur fermantasyonu uygulanan tahıllarda nişasta jelatinleşme derecesinin azalmasıyla daha düşük nişasta sindirilebilirliği ortaya çıkmaktadır (Östman, 2003). Ayrıca ekşi hamur fermantasyonu esnasında serbest hale geçen peptidler, amino asitler ve fenolik bileşikler glukoz metabolizmasını regüle ederek GI değerini düşürmede

etkili olmaktadır (Novotni vd., 2011). Bu etkiler ise ekşi hamurun kullanma koşulları ve ham maddeye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ekşi hamur fermantasyonunun; özellikle düşük pH değerlerinde (3,5-4,0) çözünür lif ilavesi ile birlikte glisemik indeksi düşürmek için etkili olabileceği düşünülmektedir (Fardet vd., 2006). Literatürde yer alan çalışmalarda sağlıklı bireylerin ekşi hamur ile hazırlanan beyaz ekmek ve tam buğday ekmeği tükettiklerinde glisemik yanıtının 53,7 GI değeri ile; fırıncı mayası ile üretilen beyaz ekmek tüketimleri sonrası 72 GI sonucuna göre belirgin bir azalma bildirilmiştir (Gobbetti vd., 2014). Shumoy vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada teff unu kullanarak ekşi hamur ekmeği elde etmişlerdir. Ekşi hamur ilavesinin taze tüketilen ekşi hamur ekmeklerinde tahmin edilen glisemik indeksi azaltırken, depolama yapılan ekşi hamur ekmeklerinde ise düzgün bir değişim gözlenmediği bildirilmiştir. Depolama süresi arttıkça tüm ekmeklerde glisemik indeksin düştüğü sonucuna varılmıştır. Likit ekşi hamurun makarna üretiminde kullanımı ile yürütülen araştırmada ise (Fois vd., 2018) nişasta sindirim düzeylerindeki farklılıklar incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına ekşi hamur fermantasyonunun 180 dk içinde sindirilen toplam nişasta düzeyine etki etmezken, yavaş sindirilen nişasta (YSN) olarak ifade edilen 20-120 dk arasında sindirilen nişastada belirgin bir azalma sağlamıştır. Nişasta sindirilebilirliği ve postprandiyal glisemik yanıtın araştırıldığı bir diğer çalışmada (Scazzina vd., 2009) 4 farklı ekmek incelenmiştir. Beyaz un ve tam buğday unun kullanıldığı çalışmada hamuru mayalama amacı ile ekşi hamur ve ticari maya kullanılmıştır. Bu çalışmada hem *in vitro* olarak nişasta sindirimi hem de sağlıklı bireyler tarafından ekmeklerin tüketimi sonrası kan glukozu düzeyi takip edilmiştir. Ekşi hamur ile mayalanan ekmeklerin glisemik tepkileri; ticari maya kullanılarak mayalanan ekmeğe göre daha düşük bulunmuştur. Diyet lifin ise glisemik indeks üzerinde bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Dirençli nişasta seviyelerinin aynı şekilde ekşi hamurdan hazırlanan ekmekte daha yüksek bulunduğu bu çalışmada, esas mekanizmanın nişasta hidroliz oranı ile ilişkili olmadığı gösterilmiştir.

Ekşi hamur fermantasyonu ile üretilen ekmek ve diğer ürünlerde protein sindirilebilirliğinin daha fazla olduğu görülmektedir. Genel olarak fermantasyon esnasında meydana gelen biyokimyasal değişimler son ürünün protein

sindirilebilirliği üzerinde belirleyici olmaktadır. Tahıl degredasyonu son ürünün kalitesini ve tüketici beğenisini etkileyen bir faktördür. Fermantasyon esnasında primer ve sekonder proteoliz ile beraber serbest amino asitlerin katabolizması meydana gelmektedir. Heterofermentatif laktobasillerin tahıl proteazlarının primer aktivitesini teşvik etmesi ile glutenin disülfit bağlarında azalma meydana gelmekte ve farklı boyutlardaki polipeptidler serbest hale gelmektedir (Gobbetti vd., 2014).

Çölyak hastalığı görülme sıklığı genetik yatkınlığın yanı sıra çeşitli çevresel faktörlere de bağlı olarak değişmektedir. Yapılan epidemiyolojik çalışmalar Avrupa ülkeleri başta olmak üzere, Orta Doğu, Kuzey Afrika, Kuzey ve Güney Asya ve Latin Amerika'da çölyak hastalığının görülme sıklığının daha yüksek olduğunu göstermiştir (Nionelli ve Rizzello, 2016). Gluten hassasiyeti yaşayan bireyler ve çölyak hastaları tarafından glutensiz ürünlerin temini hem kolay ulaşabilirlik hem de ürün fiyatlarının yüksek olması sebebi ile güç olmaktadır. Gluten özellikle mayalı fırın mamulleri için hamura sağladığı elastikiyet açısından önemli bir protein kompleksidir. Glutensiz ürünlerde glutene ikame olabilecek çeşitli ajanlar hamur işleme açısından katkıda bulunsa da lezzet, tekstür ve ağızda bıraktığı his açısından geleneksek fırıncılık ürünlerinin yerini tutmamaktadır. Glutensiz diyetlerde tüketicinin hem sağlık hem de lezzet beklentilerinin karşılanması için ekşi hamur fermantasyonu iyi bir alternatif olarak görünmektedir. Glutensiz un karışımları kullanılarak yapılan denemelerde LAB'ların gelişimi buğday unu ekşi hamuru ile benzer olarak bulunmuş ve ekşi hamur fermantasyonunun hamurun elastikiyetini artırdığı ve bayatlamayı geciktirdiği sonucuna varılmıştır (Ryan vd., 2006). Campo vd. (2016) yürütmüş oldukları araştırmada farklı oranlarda teff unu ilavesi ile taze ve kurutulmuş ekşi hamur kullanarak hazırlanan ekmeklerde duyusal kalite özellikleri ve tüketici tercihini incelemişlerdir. Teff ununun %10 kullanıldığı ekşi hamur ilaveli ekmek; çölyak hastaları tarafından en çok beğenilen formülasyon olmuştur. Aynı çalışmada karabuğdaydan elde edilen ekşi hamur ilave edilerek hazırlanan ekmekler tüketiciler tarafından bitter tada sahip olduğu gerekçesi ile beğenilmemiştir. Teff unu kullanımı ile kombine ekşi hamur formülasyonları glutensiz ürünlerin duyusal kalite özelliklerini iyileştirebileceği sonucuna varılmıştır. Glutensiz tahıl ve tahıl benzeri unlarından elde edilen

fırıncılık ürünlerinin yanı sıra buğday bazlı gıdalarda ekşi hamur fermantasyonu glutenin degradasyonuna yardımcı olmaktadır. Gıda teknolojisi yaklaşımı ile ekmek yapımında ekşi hamur kullanımı esnasında toksik epitoplar degrade olmaktadır. Tıbbi yaklaşıma göre ise ekşi hamur fermantasyonu; gıda alındıktan sonra gastrointestinal kanalda toksik gluten peptidlerinin hidrolizini destekleyici alternatif bir yöntem olarak önerilmektedir (M'hir vd., 2012). Gıda prosesi esnasında gluteni degrade edebilecek proteolotik enzimlerin; özellikle peptidazların etkilerini araştıran çalışmalar yoğunlaşmıştır. Çok sayıda *in vitro* ve akut *in vivo* denemeler sonucu sadece gliadin fraksiyonunda tam bir degradasyon olmaksızın bir azalma kaydedilmiştir (Nionelli ve Rizzello, 2016). Ekşi hamur fermantasyonunun buğday gluteni toksisitesini bütünüyle yok etme kabiliyetinde olmadığı için glutensiz ürün üretiminde kullanılması güvenilir bulunmamaktadır.

Kepekli gıdalar iyi birer mineral madde kaynağı olarak kabul edilmektedir. Ca, Fe, K, Zn bakımından zengin olan tahıl ürünlerinin mineral biyoyararlanımları fitik asit sebebi ile kısıtlanmaktadır. Fosforun ana depo formu olan fitik asit; pH 5 ve daha altındaki değerlerde fitaz aktivitesinin artması ile beraber yaklaşık olarak %70 düzeylerinde parçalandığı ifade edilmiştir (Leenhardt vd., 2005). Bu artış; asitlik düzeyi ile beraber unun partükül boyutu, mevcut fitaz aktivitesi, sıcaklık-nem koşulları gibi parametrelere bağlı olarak değişkenlik gösterir (Hendek-Ertop ve Hayta, 2016; Lopez vd., 2001). Fitik asitin enzimatik olarak parçalanması ile beraber mineral biyoerişilebilirlik düzeyleri artış göstermektedir. Ayrıca tahılların dış katmanları, fenolik asitler, alkilresorsinoller, lignanlar, fitosteroller, tokoller ve folat gibi iç kısımlara kıyasla daha yüksek seviyelerde fitokimyasallar içerirler (Liukkonen vd., 2003; Mattila vd., 2005). Ekşi hamur fermantasyonu kullanılarak elde edilen ürünlerin bioproses işlemlerinin insan sindirim sistemine etki ederek biyoaktif bileşiklerin iletimini artırdığı çeşitli bilimsel çalışmalarda gösterilmiştir. Unlu mamüllerin antioksidan özellikleri öğütme ve depolama gibi işlemler sonrasında değişken durumda olan fitokimyasal miktarı ve değişken biyoyararlanım seviyelerinden etkilenmektedir. Fermantasyon ekstrakte edilebilir fenolik bileşiklerin seviyelerini artırmaktadır. (Liukkonen vd., 2003). Çimlenme ve fermantasyon; α ve β-amilazları, proteazları ve di-fenol oksidazları tetikleyerek nişasta, lif ve proteinlerin parçalanması ve fonksiyonel bileşiklerin içeriğinin

artırılmasına katkı sağlamaktadır. Anti nutrisyonel faktörlerin ise (enzim inhibitörleri, anti vitaminler) çimlenme sırasında azaldığı bildirilmiştir (Singh ve Sharma, 2017).

1.2 Tezin Amacı

Ekşi hamur fermantasyonu gıdaların beslenme kalitesinin ve sağlık etkilerinin iyileştirilmesi ve tasarımında belirgin bir potansiyel göstermektedir. Fermantasyon ile meydana gelen tahıl matrisindeki değişiklikler beslenme kalitesine sayısız katkıda bulunmakta ve işlendiği gıdanın fonksiyonel özelliklerini artırmaktadır. Mineral ve proteinlerin biyoyararlanım düzeylerinde artış, serbest fenolik madde düzeyinde artış ve nişasta sindirim miktarının azalması ile glisemik indekste azalma bunlardan sadece bir kaçıdır. Dünyada özellikle hamur ve fırıncılık ürünlerinin yoğun olarak tüketildiği ülkelerde ekşi hamurun beslenme fizyolojisi bakımından etkileri üzerine bir çok bilimsel araştırma yapılmış ve ekşi hamur kullanmanın fonksiyonel özellikleri artırması tüketicinin de ilgisini çekerek sağlık beklentisini karşılamıştır. Bu tez kapsamında ise spontan fermantasyon (tip-1 ekşi hamur) ve seçilmiş mikroorganizmaların ilavesi ile fermantasyon (tip-2 ekşi hamur), farklı fermantasyon sıcaklıkları ve sürelerini içeren araştırmalar yapılarak besleyici özelliklerin en yüksek olacağı fermantasyon koşulları belirlenmesi amaçlanmıştır. Beslenme yönünden sayısız yararlar sağlayan ekşi hamurun nişasta sindirim düzeyindeki değişimler ile mineral ve protein biyoerişilebilirlik düzeylerinin aydınlatılması önem taşımaktadır. Bu kapsamda tezin amacı aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Fermantasyon koşullarının etkisi sonucu (starter olarak kullanılan ekşi hamur tipi ve sıcaklık-süre ilişkisi) mineral ve proteinlerin biyoerişilebilirlik durumlarının değişimini incelemek
- Ekmeğin beslenme fizyolojisi bakımından önemi üzerinde literatür eksiklerini kapatmak, besin kalitesini artırmak amacı ile doğru yöntemle üretim koşullarını belirlemek

- Ekşi hamur ile hazırlanan ekmek ve ticari maya (*Saccharomyces cerevisiae*) kullanılarak hazırlanan ekmekler arasındaki mineral ve protein biyoerişilebilirliği ve nişasta kompozisyonu farklılıklarını incelemek
- Ekşi hamur ekmeğinin tekstür analizlerinin yapılarak ticari maya (*Saccharomyces cerevisiae*) ile üretilen ekmek ile farklılıklarını aydınlatmak, fermantasyon sıcaklığı ve starter olarak kullanılan ekşi hamur tipinden kaynaklanan tekstür farklılıklarını incelemek
- Ekşi hamur fermantasyonun nişasta fraksiyonları ve diyet lifi üzerinde etkisinin incelemek ve ticari maya (*Saccharomyces cerevisiae*) ile üretilen ekmek ile farklılıklarını aydınlatmak
- Fermantasyon koşullarının glisemik indeks üzerindeki etkisinin hem *in vivo* ve hem de *in vitro* yöntemler ile belirlemek.

1.3 Hipotez

Ekmek; dünya genelinde en fazla tüketilen gıda maddesidir. Avrupa ülkelerinde ekmek karbonhidrat kaynağı olarak birinci sırada yer almaktadır (Bo vd., 2017). Yetişkinler arasındaki küresel diyabet prevalansının 2035 yılında %8,8'e çıkacağı tahmin edilmektedir. (Guariguata vd., 2014). Yüksek glisemik indekse sahip gıdaların uzun bir periyotta sıklıkla tüketilmesi yüksek insülin direnci üretmektedir. Diyetin fiziksel aktivite ile desteklendiği bir hayat stilinde tip-2 diyabetin engellendiği bilinmektedir (Shumoy vd., 2018). Bu sebeplerle tüketiciler artık sağlık endişelerini azaltabilmek için beyaz un yerine rafine edilmemiş tam tahıl unlarını ve ticari maya ile üretilen ekmek yerine ise ekşi hamur fermantasyonu ile üretilen ekmeği tercih etmekte ve böylelikle kardiyovasküler hastalıklar ve diğer kronik hastalıklara yakalanma risklerini düşürmektedir. Ülkemiz beslenme alışkanlığı değerlendirildiğinde ise karbonhidrat ağırlıklı beslenen toplumumuzda tüketilen besin maddelerinin sıklığı bakımından ekmek başı çekmektedir. Ekşi hamurun fırıncı mayası olarak bilinen *Saccharomyces cerevisiae* ile üretilen ekmek ve diğer ürünlerle kıyaslandığında besleyici özellikleri bakımından üstünlüğü literatür çalışmaları tarafından gösterilmiştir.

Tahıl fermantasyonu sırasında, orta derecedeki sıcaklıklarda mevcut mikroorganizmaların metabolik aktivitesi tane unsurları ile etkileşim halindedir. Bu etkileşim ile laktik asit bakterileri; laktik ve asetik asitler üretir ve pH'ı genellikle pH 5'in altına düşürür. Mayalar ve laktobasillerle olan etkileşimler, ekşi hamurun metabolik aktivitesi için önemlidir. Fermantasyon sırasında değişen koşullar, mevcut enzimlerin aktivasyonuna katkıda bulunur. Enzimler tarafından indüklenen değişiklikler, mikrobiyal metabolitler ile birlikte fermente edilmiş tahıl ürünlerinin teknolojik ve besleyici etkilerini ortaya çıkarmaktadır. Fermantasyon esnasında enzim aktivitesi ayrıca proteinler ve hücre duvarı polisakkaritleri gibi tahıl makro moleküllerinin hidrolizine ve çözünmesine neden olur**.** Bu da son ürünün tekstürünü değiştirir ve besin öğelerinin emilimini etkiler. Ekşi hamur fermantasyonu ekmekte glisemik yanıtları azaltmakta, diyet lif kompleksinin özelliklerini geliştirmekte ve mineral, ve proteinlerin yararlanma düzeylerini artırmaktadır. Ekşi hamur ekmeği tüketimi postprandiyal kan glukozunu ve insülin yanıtını azaltmaktadır. Tez kaspamında yapılan araştırma; literatür çalışmalarının ışığında belirlenmiş olan hipoteze göre yerli kaynaklardan izole edilmiş starter kültürler kullanılarak, mineral ve proteinlerin biyoerişilebilirlik durumlarının fermantasyon koşullarına göre (tip-1 ve tip-2 ekşi hamur kullanımı, sıcaklık ve süre kombinasyonları) değişiminin aydınlatılacağı, glisemik indeksin *in vitro* ve *in vivo* olarak belirlendiği, kapsamı ve ulusal değeri açısından ilk çalışma niteliği taşımaktadır.

2
GENEL BİLGİLER

2.1 Ekşi Hamurun Tarihçesi

İlk çağlardan beri, tahıllar insan beslenmesinin temelini oluşturmuştur. İlkel buğday çeşitlerinin Akdeniz bölgesinde en az 10.000 yıldır yetiştirilmekte ve ekmek üretiminde kullanıldığı bilinmektedir (Feullet vd., 2007). Nil Nehri çevresinde yetiştirilen kavılca buğdayı (*Triticum dicoccum*) ve arpanın, eski Mısır'da, günde binlerce insanı besleyecek kadar mayasız ve mayalanmış ekmek üretmek için kullanıldığı düşünülmektedir. Antik Mısır'da mayalı ekmeğin en eski mayalama ajanı olan spontan ekşi hamur kullanılarak elde edildiği düşünülse de, hamurun fermantasyonu esnasında mayalar tarafından kontamine olması ile de açıklanabilmektedir (Samuel, 1996). Ekşi hamur kullanımı Antik Mısır'dan Yunanistan ve Roma İmparatorluğu'na yayılmıştır ve o zamandan beri devam etmektedir (Catzeddu, 2019).

Tarihsel gelişim süreci incelendiğinde, eski Yunanlıların teknoloji ve pişirme ekipmanlarında yapmış oldukları gelişmeler dikkat çekici bulunmaktadır. Yunan fırıncılar esir olarak Roma'ya götürülmesi ile birlikte önemi gittikçe artan ve toplum için vazgeçilmez hale gelen işletmeler kurmuşlardır. Ekmek, Roma İmparatorluğu'nda diyetin önemli bir parçası haline gelmiş ve birçok kamu fırını kurulmuştur. Fırıncılar kamu görevlileri; dolayısıyla devletin çalışanları olmuş ve Roma vatandaşlarına ücretsiz dağıtılan büyük miktarlarda ekmek üretmişlerdir. Fırıncı olmak ailelerde nesilden nesile devam eden bir meslek halini almıştır. Avrupa'daki Barbar göç dönemi boyunca (M.S. 300-700), ekmek Barbarlar için birincil gıda olmadığından endüstriyel ekmek üretimi kaybolmuştur. Ekşi hamurun kullanıldığı ekmek teknolojisi manastırlarda 12. yüzyıla dek kullanılmıştır. Orta çağ'dan sonra ekmek yapma teknolojisi, özellikle hem fırıncılık hem de bira üretiminin popüler olduğu Kuzey Avrupa'da yeni bir boyut kazanmıştır. Bira üretiminde elde edilen fermente malt köpüğü hamur mayalama amacı ile ekşi

hamur yerine kullanılmıştır. 19. yüzyılda ise *Saccharomyses cerevisiae* sıkıştırılmış hale getirilerek endüstriyel ölçekte ekmek üretiminde kullanıma uygun hale getirilmiştir (Van Dam, 1986). Ekmek üretimi mekanik olarak destekleyen yenilikçi fırınların gereksinimlerini karşılama kapasitesinin daha yüksek olmasından dolayı *Saccharomyses cerevisiae* (ticari maya) hızla yayıldı. Böylece, ticari maya ile hızlı ve basit mayalama işlemi; uzun fermantasyon süresi ve zahmetli yönetimi nedeniyle çok daha fazla zaman alan ekşi hamur kullanımının yerini aldı. Son 20 yıllık süreç değerlendirildiğinde ise, ekşi hamur kullanımı hem tüketicilerin hem de fırıncıların ürüne olan ilginin artması nedeniyle artmıştır. Belirgin lezzeti, sağlıklı özellikleri, uzun raf ömrü, daha az katkı maddesi kullanımı ve son olarak geleneksel yönleri tüketicilerin ilgisini çekmiştir. Özellikle Kuzey Avrupa ülkelerinde, fırıncıların farklı formlarda (toz veya likit) satın alarak ekmek üretiminde kullanabilecekleri ekşi hamur ürünlerinin özel şirketler tarafından geliştirilip ticarileştirilmesi ile fırıncılar tüketici taleplerine teknolojik gelişmeler sayesinde cevap verebilmişlerdir (Brandt, 2007). Son yıllarda ise ekmek üretiminin yanı sıra pizza hamuru, glütensiz ürünler ve makarna üretiminde ürünün tekstürünü iyileştirmek, duyusal ve besinsel özelliklerini geliştirmek amaçları ile kullanımı artmıştır (Fois vd., 2018; Moroni vd., 2009).

Kuzey Avrupa'da, özellikle Almanya, Baltık Devletleri, Polonya ve Rusya'da ekşi hamurun çavdar unlu ekmek yapımında her zaman önemli bir rol oynamıştır. % 100 çavdar unu ile yapılan ekmek hala ekşi hamur fermantasyonu ile elde edilmektedir. Çavdar unu; buğday unu gibi gliadin ve glutenin içermediğinden bunun yerine, hamurda süreksiz ve elastik olmayan bir ağ yapısı oluşturan 'secalin' adı verilen proteine sahiptir. Ayrıca çavdar unu, protein ağının oluşumunu engelleyen yüksek seviyelerde pentozan içerir; bu nedenle asitlenmemiş çavdar hamuru, fermantasyon sırasında üretilen CO_2'i tutamaz (He ve Hoseney, 1991). Ekşi maya fermantasyonu ile oluşturulan düşük pH, pentozanların çözünürlük ve şişme özelliklerini arttırır, hamurun su bağlama kapasitesini arttırır ve ekmek yapımını kolaylaştırır. Ekşi hamurun asitliği, çavdar unu içinde güçlü bir şekilde aktif olan endojen α-amilazları etkisiz hale getirir, böylece aşırı nişasta bozulmasını önler ve nişastanın jelleşmesine ve pişirme sırasında bir matris oluşturmasına izin verir (Arendt vd.,2007).

Bazlamanın eski toplumlar tarafından üretilen ilk ekmek türü olduğu düşünülmektedir. Bu ekmekler Orta Doğu bölgesinde ortaya çıkmış ve üretimi dünya genelinde yaygınlaşmıştır. Bazlama; günümüzde çeşitli ana malzemeler kullanılarak ve hem mayalı hem de mayasız ekmek olarak üretilmektedir. Akdeniz bölgesinde, Güney İtalya (Sardunya), Kuzey Afrika ve İspanya'da oldukça popülerdir ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*) veya makarnalık buğday (*Triticum turgidum* subsp*. durum*) unu kullanılarak üretilmektedir. Geleneksel yöntemlerle hazırlanan bazlama halen ekşi hamur fermantasyonu kullanılarak üretilmektedir (Catzeddu, 2019).

2.2 Ekşi Hamur Mikroorganizmaları

Ekşi hamurda mikroorganizmaların varlığı yaklaşık 1900'lü yıllarda keşfedilmiştir. *Lactobacillus* türleri ekşi hamurdan izole edilen mikroorganizmaların başında gelmektedir. LAB'lar un içinde yer alan maltozu fermente ederek homofermentatif metabolizmada laktik asit üretir ve heterofermentatif metabolizmada ise laktik asite ilave olarak CO_2, asetik asit ve/veya etanol üretirler. Homofermatif ve heterofermentatif türlerin miktarı hamurun özelliklerini etkiler. Asetik asit glutenin sertleşmesinden sorumluyken, laktik asit ise glutene elastikiyet kazandırır. Ekmeğin tekstürü ve aromatik profili de mikroorganizma çeşitliliğinden etkilenmektedir (Corsetti, 2007). *L. sanfranciscensis*, İtalya'da üretilen tatlı mayalı pişmiş ürünlerin ve buğday ekmeklerinin ekşi hamur mikrobiyotasında baskındır ve aynı tür, geleneksel Yunan buğday ekşi hamurunda da tespit edilmiştir (De Vuyst vd., 2002). *L. pentosus* ve *L. plantarum*, güney İtalya'da durum buğdayı unu kullanılarak üretilen ekşi hamur ekmeklerinde baskındır (Catzeddu vd., 2006; Ricciardi vd., 2005) *L. brevis* ise Türk ve Portekiz ekşi hamur ekmeklerinde baskın olduğu bildirilmiştir (Gül vd., 2005; Rocha ve Malcata, 1999). Farklı türlerde maya; ekşi hamur örneklerinden tespit edilmiş olsa da *Saccharomyces* ve *Candida* türlerinin spontan ekşi hamurlarda en çok tespit edilen türlerdir (De Vuyst vd., 2016). *S. cerevisiae* 'nin yüksek tespit sıklığı fırınlarda kullanılan ticari mayadan bulaşı olma ihtimalini de düşündürmektedir (Minervini vd., 2015).

Kazachstania exigua ekşi hamurdan izole edilen ilk maya türü olarak bilnmektedir (Kline ve Sugihara, 1971). *L. sanfranciscensis* ile birlikte tespit edilen her iki tür de San Francisco ekmeğindeki fermantasyon ve ekşime faaliyetlerinden sorumludur. Bu türler metabolik özellikleri nedeniyle ekşi hamurda sıkı bir ilişki oluşturur. Bu iki tür arasındaki ilişki araştırmacılar tarafından şöyle açıklanmaktadır (Corsetti ve Settani, 2007); mikroorganizmalar şeker alımı için rekabet etmemekteler çünkü *L. sanfranciscensis* maltoz pozitif ve *K. exigua* maltoz negatif bir türdür. Ekşi maya fermantasyonu sırasında *L. sanfranciscensis*, maltozu iki glukoz molekülüne ayırır, ancak sadece bir tanesi metabolize olur; diğeri maya tarafından fermente edilebileceği yere hücrenin dışına atılır. Ayrıca, hamur mayası fermantasyonu sırasında, maya tarafından spesifik amino asitlerin ve küçük peptitlerin atılımı, maya gelişmesi için uygun bir substrat oluşturur, hamurda laktik veya asetik asit üreten ve pH'ı azaltan laktobasillerin avantajıdır. Ekşi hamurda bulunan kararlı maya-LAB ilişkilerinin diğer örnekleri arasında *Candida humilis* (maltoz-negatif) ve *L. sanfranciscensis* (maltoz-pozitif); ve *S. cerevisiae* (maltoz pozitif) ve *L. plantarum* (glukoz ve fruktozu tercih eder) bildirilmiştir.

Ekşi hamur fermantasyonu ekmeğin kalite özelliklerine doğrudan ve dolaylı olarak etki etmektedir. Çok sayıda endojen ve eksojen değişkenler mikroorganizmaların sayısı ile fermantasyon sırasında bir mikrobiyal türün diğer türlerle bir arada bulunma durumundaki dengeyi etkilemektedir (Minervini vd., 2014).

Ekşi hamur eldesi esnasında her bir beslemede eklenen su ve un miktarları, fermantasyon süresi ve / veya sıcaklığı, depolama sıcaklığı veya besleme sayısı gibi faktörler değiştiğinde LAB ve maya türleri arasında kurulan dengenin de değişmesi beklenmektedir. Örneğin, fermantasyon sıcaklığındaki bir artış ve hamur formülasyonundaki daha yüksek miktarda su; mayaya kıyasla LAB'ların artışını desteklerken, oksijenin fazla olmasıi maya sayısında artışa sebep olmaktadır (Savolainen vd., 2015). Ekşi hamurun mikrobiyal bileşimini etkileyebilen bir başka faktör; çevre ile kontamine olan tüm mikroorganizmalar ve ekşi hamurla temas edebilecek ekipmanlardır (Minervini vd., 2012). Ayrıca, bazı LAB suşları tarafından üretilen antimikrobiyal bileşikler, mikroorganizmalar arasındaki antagonistik bir etkileşimden sorumludur ve diğer suşlara göre rekabet avantajı sağlamaktadır.

Un ve diğer gıdalar gibi steril olmayan çiğ hammaddeler, ekşi hamurun mikrobiyal kompozisyonunu belirlemektedir (Ganzle vd., 2003).

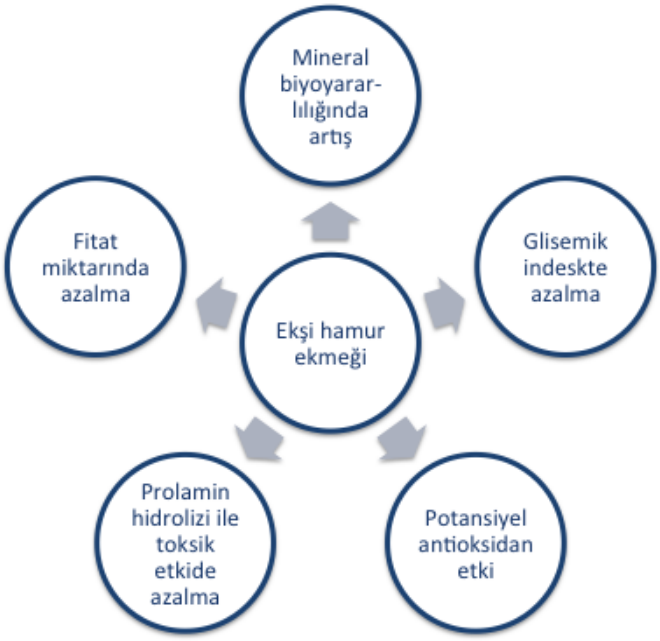
Tablo 2.1 Ekşi hamurdan izole edilen LAB ve maya türleri (Catzeddu, 2019)

Obligat Heterofermentatif LAB	Fakültatif heterofermentatif LAB	Homofermentatif LAB	Mayalar
•*Lactobacillus sanfranciscensis*	• *Lactobacillus plantarum*	• *Lactobacillus amylovorus*	• *Saccharomyces cerevisiae*
•*Lactobacillus brevis*	• *Lactobacillus casei*	• *Lactobacillus acidophilus*	• *Candida humilis*
•*Lactobacillus fermentum*	• *Lactobacillus rhamnosus*	• *Lactobacillus farciminis*	• *Wickerhamomyces anomalus*
•*Lactobacillus reuteri*	• *Lactobacillus alimentarius*	• *Lactobacillus delbrueckii*	• *Torulaspora delbrueckii*
•*Lactobacillus panis*			• *Kazachstania exigua*
•*Lactobacillus pontis*			• *Pichia kudriavzevii*
•*Lactobacillus fructivorans*			
•*Lactobacillus rossiae*			
•*Weissella confuse*			
•*Weissella cibaria*			
•*Leuconostoc citreum*			
•*Leuconostoc mesenteroides*			

2.3 Beslenme Fizyolojisi Bakış Açısı ile Ekşi Hamur Fermantasyonu

Tüketicilerin sağlık beklentilerinin artması ile birlikte besleyici özelliklerinin yüksek olduğu gıdalara yönelim artmıştır. Özellikle son on yıllık zaman diliminde ekşi hamurun teknolojik özelliklerinden ziyade sağlık etkilerinin *in vitro* ve *in vivo* yöntemlerle araştırıldığı çalışmaların yoğunlaştığı görülmektedir. Tam buğday ekmeği ile yapılan araştırmalarda diyet lifi, mineraller, vitaminler ve kompleks karbonhidratlar içeren koruyucu bileşikler tanımlanmıştır. Diğer taraftan, tam buğday ekmeği kalsiyum, çinko ve demir gibi temel minerallerin emilimini engelleyen önemli miktarda fitat içermektedir. Ekşi hamur fermantasyonu ile birlikte fitatın fitaz enzimi tarafından bozulması büyük ölçüde tespit edilmiştir; son

birkaç yılda, buğday fitazının aktivitesinin ekşi hamur mikroorganizmalarına göre daha baskın olduğu, ancak ekşi hamurdaki pH'ın düşürülmesinin, bakterilerin fermentif metabolizması nedeniyle, endojen tahıl fitazı için daha uygun koşullar sağladıkları bildirilmiştir (Reale vd., 2007). Rodriguez-Ramiro vd. tarafından, bağırsak hücresi modeli kullanarak yaptıkları araştırmada ticari maya ile üretilen ekmeğe kıyasla ekşi hamur ekmeğinde demir biyoyararlanımında bir artış olduğu bildirilmiştir (Rodrigez-Ramiro vd., 2017).



Şekil 2.1 Ekşi hamur fermantasyonunun ekmeğin besinsel özellikleri üzerinde etkileri

Ekşi hamur fermantasyonu, ekmeğin besinsel özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Mineral biyoyararlanımının artırması özellikle düşük pH aralıklarında fitat degradasyonu ile ilişkilendirilmiştir. Glisemik indeks ve nişasta sindirilebilirliğin azaltılması, serbest amino asit miktarında artış, prolamin proteinlerinin hidrolizi ile gluten intoleransını önleme potansiyeli, antioksidan aktivite ve biyoaktif bileşenlerde artış gibi sağlık etkileri bir çok araştırma bulgularında ifade edilmiştir (Siepmann vd., 2018; Novotni vd., 2011).

Ekşi hamur; buğday, çavdar ve kepekli unların yanı sıra kepek, tohum ve glütensiz esaslı ürünlerin potansiyelinden yararlanmak için vazgeçilmez bir araç olarak düşünülebilir. Ekşi hamur fermantasyonu son üründe glisemik yanıtları

azaltmakta, diyet lif kompleksinin özelliklerini geliştirmekte ve mineral, vitamin ve fitokimyasalların yararlanma düzeylerini artırmaktadır. Tahıl hassasiyeti olan bireylerde; ekşi hamurdaki laktobasillerin peptidazları ve tahıldan gelen endojen ve egzojen proteazların etkileri alerji ve intolerans tepkilerini azaltabilmektedir. Ayrıca ekşi hamur fermantasyonu esnasındaki mikrobiyal metabolizma etkisi ile peptidler ve aminoasit türevleri gibi çeşitli aktif bileşenler üretilmektedir (Gobbetti vd., 2014). LAB suşları kullanarak sağlık düzeyinin iyileştirilmesi olasılığı; sindirilen gıdanın verdiği doygunluk hissine bağlı olabilmektedir. Bu durum kilo kontrolünde avantaj sağlar. Bu bakış açısı, bir öğünün sonunda bağırsak hücresi tarafından anoretik hormonların üretimini göz önünde bulundurarak, işlevlerini iki farklı seviyede uygulayabilmektedir: (i) gastrointestinal sistemde mide boşalmasının engellenmesi ve gelişmiş bir sindirim ve besin maddelerinin emilimin kapasitesini artmasına yol açan pankreatik enzimlerin salgılanması (ii) Merkezi Sinir Sistemi'nde, diğer anoretik faktörlerin üretimini teşvik etmesidir. (Bruen vd., 2012; Hameed vd., 2009). Birlikte ele alındığında, bu iki etki doygunluk üzerinde uzun süreli etkiler oluşurur ve sonuç olarak gıda tüketimini azaltır. Anoretik hormonlar, glisemik indeks ile birlikte, aşırı kilolu ve / veya obez fenotipin güçlü belirleyicisidir (Sezer, 2017).

Tahılların dış katmanları, fenolik asitler, alkilresorsinoller, lignanlar, fitosteroller, tokoller ve folat gibi iç kısımlara kıyasla daha yüksek seviyelerde fitokimyasallar içerirler (Mattila vd., 2005; Liukkonen vd., 2003). Ekşi hamur fermantasyonu kullanılarak elde edilen ürünlerin insan sindirim sistemine etki ederek biyoaktif bileşiklerin iletimini artırdığı çeşitli bilimsel çalışmalarda gösterilmiştir. Unlu mamüllerin antioksidan özellikleri öğütme ve depolama gibi işlemler sonrasında değişken durumda olan fitokimyasal miktarı ve değişken biyoyararlanım seviyelerinden etkilenmektedir. Fermantasyon ekstrakte edilebilir fenolik bileşiklerin seviyelerini artırmaktadır. (Liukkonen vd., 2003). Çimlenme ve fermantasyon; amilazları, proteazları ve di-fenol oksidazları tetikleyerek nişasta, lif ve proteinlerin parçalanması ve fonksiyonel bileşiklerin içeriğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Anti nutrisyonel faktörlerin de (enzim inhibitörleri vb.) fermantasyon ile birlikte azaldığı bildirilmiştir (Singh ve Sharma, 2017).

2.4 Ekmek Üretiminde Ekşi Hamur Fermantasyonunun Etkileri

Mikroorganizma gelişimi ile birlikte ortamda artan mikrobiyal enzimler bir çok biyokimyasal değişikliğe yol açmaktadır. Bu değişiklikler; materyal olarak kullanılan un, su ve diğer bileşenlerin de etkisi ile ekşi hamurun karakteristiğini belirlemektedir. Ekşi hamur fermantasyonu ekmeğin tekstürü, aroması besin değeri ve besleyici özellikleri ile raf ömrüne etki eder (Siepman vd., 2018). Fermantasyonla meydana gelen laktik ve asetik asitler ortamın pH'sını düşürerek tahılda yer alan gluten fraksiyonunun çözünürlüğünün artmasına sebep olmaktadır (Nionelli ve Rizello, 2016). LAB ve mayaların sınırlı proteolitik aktivitesi ile daha fazla CO_2 tutularak son ürüne yüksek hacim ve yumuşaklık sağlar (Clarke vd., 2002). Ekmeğin raf ömrünün daha uzun olması LAB'ların ürettiği ekzopolisakkaritler ve daha geç gerçekleşen nişasta retrogradasyonu ile ilişkilendirilmiştir (Chavan ve Chavan, 2011). Fermantasyon ile beraber meydana gelen asit, aldehit keton ve esterler ekmekte uçucu bileşenlerin oluşumuna katkı sağlar (Pico vd., 2015). İzoalkoller, bunların aldehitleri ve etil asetat maya fermantasyonunun karakteristik uçucu bileşenleri iken; homofermentatif LAB'ların ağırlıklı olarak diasetil, asetaldehit ve hekzanal sentez ettiği bildirilmiştir (Petel vd., 2017; Nionelli ve Rizello, 2016). Lösin türevi 3-metil-1 bütanol ekmeğin kabuk aroması oluşumu ile karakterize edilmiştir (De Vuyst vd., 2016). Zhao vd. (2015) tarafından yürütülen araştırma bulgularına göre glutamat dekarboksilaz ve glutaminaz aktivitesi ile özellikle umami tattan sorumlu glutamat düzeyini önemli düzeyde artırmıştır.

Ekşi hamur mikroorganizmaları koruyucu etki gösteren biyolojik bir ajan gibi davranmaktadırlar (Papadimitriou vd., 2019; Cizeikinene vd.,2013). Bayatlama ile ekmeklerin küflenmesi hem ekonomik kayba sebep olmakta hem de küflerin toksinleri insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır. LAB'ların fermantasyon esnasından ürettikleri organik asitler, CO_2 , etanol H_2O_2, diasetil ve reuterin vb bileşikler antifungal etkilere sahiptir (Siepmann vd.,2018).

Coda vd. tarafından yapılan araştırmada *Wickerhamomyces anomalus* ve *L. plantarum'un* kombinasyonu ile elde edilen ekşi hamur kullanımının 28 gün

süresince oda sıcaklığı koşullarında depolamada küf gelişimini geciktirdiği bildirilmiştir (Coda vd., 2011).

Fitik asit mevcudiyeti mineral biyoyararlılığını kısıtlayıcı etki göstermektedir. (Poutanen vd., 2009). Fitik asit, esas olarak tahıl enzimleri tarafından parçalanabilen bir antinutrisyonel faktör olarak kabul edilir (Reale vd., 2007). Ekşi hamurda yer alan laktobasillerin fitaz aktivitesi göstererek mineral biyoerişilebilirliği ve biyoyararlılığında artışa meydana getirdiği bildirilmiştir. Fermantasyon ile birlikte, fenolik maddeler gibi biyoaktif bileşiklerin mevcudiyeti ile tahıl bazlı gıdaların antioksidan seviyesi artış gösterir. Ekşi hamur ekmeğinin nişasta sindirilebilirliği fermantasyon yöntemine göre değişmekle birlikte glisemik indeks üzerinde azaltıcı etki gösterdiği bir çok çalışmada bildirilmiştir (De Vuyst vd., 2017; Siepmann vd., 2018). Bunun yanı sıra bazı LAB'ların prolamin peptidlerine karşı hidrolize edici özelliği sayesinde gıda hassasiyeti olan bireylerin tahıl tüketimi için alternatif yöntem olarak umut vadetmektedir (Di Cagno vd., 2002).

2.5 Karbonhidrat Sindirimi ve Metabolizması

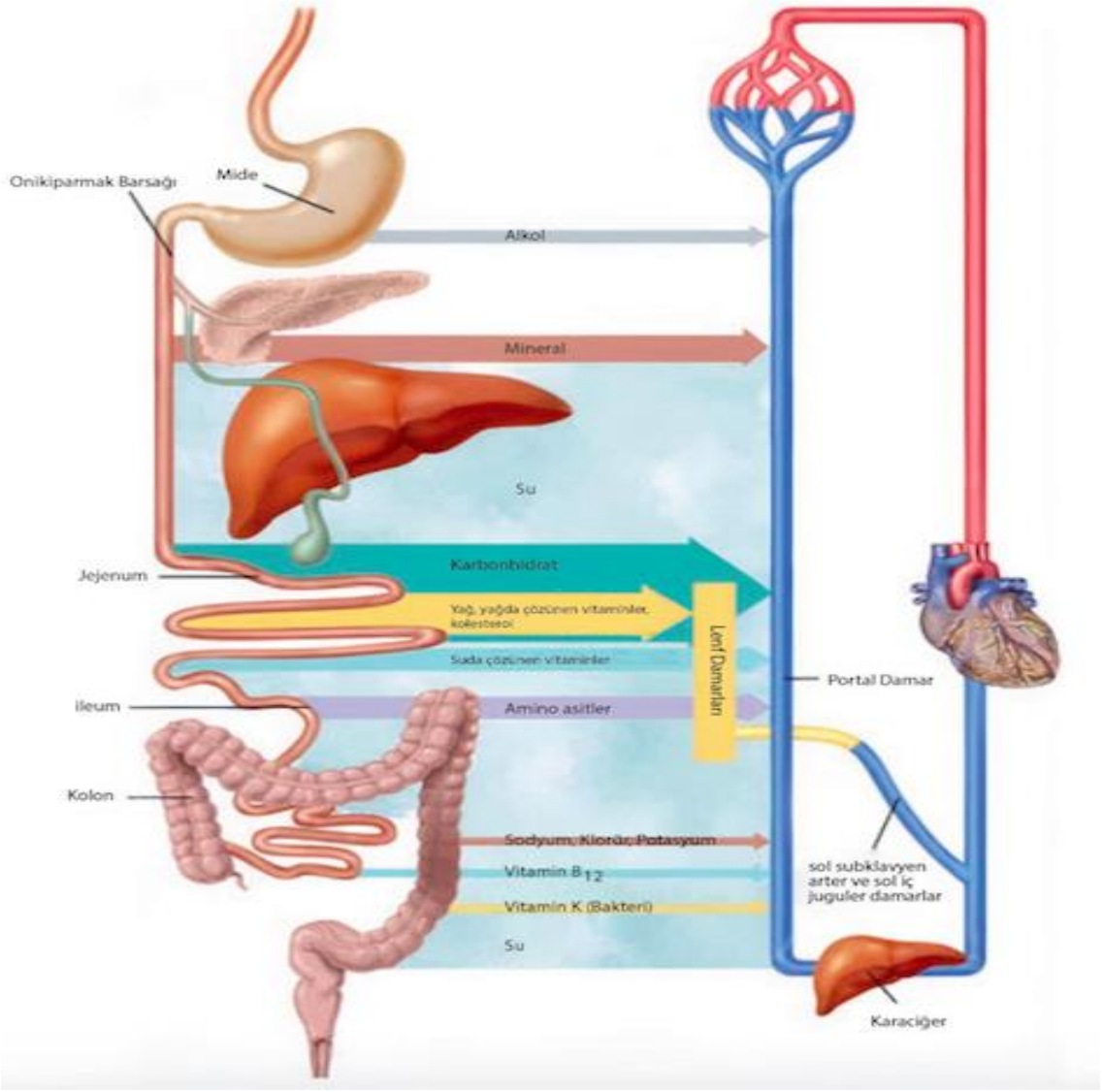
Diyette yer alan karbonhidratların yaklaşık %95'inin ince bağırsakta sindirilerek emildiği bilinmektedir. Farklı karbonhidrat sınıflarının biyoyararlanım düzeyinde önemli farklar bulunur. Monosakkaritlere kadar sindirilen ve ince bağırsakta emilen karbonhidratlar "glisemik karbonhidratlar '' olarak adlandırılmaktadır (Gibney vd, 2009).

2.5.1 Karbonhidratların Metabolik Kullanımı

ATP üretimi ile birlikte glukozun piruvata dönüştürüldüğü bir reaksiyon dizisi olan glikoliz, glukoz içinde bulunan enerjiyi serbest bırakan sitrik asit döngüsü ve elektron taşıma zincirinin başlangıcıdır. Aerobik koşullar altında piruvat, tamamen karbondioksit ve suya oksitlendiği yer olan mitokondriye girer. Oksijen kaynağı sınırlı ise, aktif olarak kas kasılmasında olduğu gibi, piruvat laktata dönüştürülür. Bu nedenle, glukozun karbondioksite ve suya tamamen oksidasyonu, aerobik koşullar altında glikolitik yolun (hücrenin sitoplazmasında) krebs döngüsünün ve

oksidatif fosforilasyonun (mitokondride) reaksiyonları yoluyla gerçekleşir (Burkitt ve Trowell, 1975).

Karaciğer ve kas hücrelerinde glukoz; glikojene dönüştürülür. Glikojen, α-1,4-glukozidik bağlarla büyük, dallı bir polimere bağlanan glukoz kalıntılarının kolayca mobilize edilmiş bir depolama şeklidir. Glikojen, şiddetli kas aktivitesi için bir glukoz rezervuarıdır ve sentezi ve indirgenmesi kan şekeri konsantrasyonlarının düzenlenmesi için önemlidir. Karbonhidratlar ve diğer besin öğelerine ait sindirim ve emilim diyagramı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Besin öğelerinin sindirim ve emilim diyagramı (Muto, 1988)

2.5.2 Kan Şekeri Konsantrasyonunun Düzenlenmesi

Ekzokrin pankreas, ince bağırsak mukozasındaki enteroendokrin hücrelerden salgılanan gastrik inhibitör peptit gibi peptit hormonları tarafından kan şekeri konsantrasyonunda bir artış beklemek üzere hazırlanır. Kandaki glukoz konsantrasyonu yemekten sonra 5 mm'nin üzerine çıktığında, bu peptit hormonlar endokrin pankreasın β-hücrelerinin tepkisini arttırır, bu da insülin hormonunun hücre zarı ile kaynaşan salgı granüllerinden boşalmasına neden olur. İnsülin, GLUT4 ile glukozun adipositlere ve kas hücrelerine taşınmasını kolaylaştırmak da dahil olmak üzere metabolizma üzerinde çeşitli etkilere sahiptir (Gibney vd., 2009; Burkitt ve Trowell, 1975).

Sağlıklı insanlarda, kan şekeri konsantrasyonu (glisemi) oldukça dar bir aralıkta homeostatik olarak kontrol edilir. Uzun bir açlıktan sonra bile nadiren yaklaşık 5 mm'nin altına düşer ve bir yemekten birkaç saat sonra bu değere geri döner. Bağırsaktan (postabsorptif durum) alımın yokluğunda, karaciğer ve kasta glikojen depolarının parçalanması ile, glukoza zorunlu ihtiyacı olan dokular için - beyin, kırmızı kan hücreleri, meme bezi ve testis - saatte yaklaşık 8 g glukoz sağlanır. Bir yetişkinin beyninin günde yaklaşık 120 g glukoz ihtiyacı vardır. Glikojen içinde kolayca kullanılabilinen miktar 190 g'a yakındır. Uzun açlık ve aşırı açlık dönemlerinde glukoz, glukoneogenez olarak bilinen bir işlemle karbonhidrat olmayan kaynaklardan oluşturulmaktadır. Glukoneogenez, karaciğerde (glukoneogenezin yaklaşık% 90'ından sorumlu) ve böbrekte meydana gelir ve piruvat, laktat, gliserol ve amino asitler de dahil olmak üzere çeşitli substratlardan glukoz sentezidir (Gibney vd., 2009).

2.5.3 Glisemik İndeks

Diyabetlilerde kan şekeri konsantrasyonlarının diyet yönetimine yardımcı olarak, Jenkins vd. (1981) farklı gıdalardan eşdeğer miktarda sindirilebilir karbonhidrat alımının ardından kan şekeri yanıtlarının (*in vivo* deneylerle) kantitatif olarak karşılaştırılması için bir araç sağlayan glisemik indeks (GI) kavramını tanıtmıştır. *In vivo* olarak GI ölçümlerine dayanan mevcut yaklaşımdan daha hızlı ve daha ucuz olabilmesi için gıdaların *in vitro* analiz yöntemleri de kullanılabilmektedir.

Gıdaların GI değerleri ile hızlı ulaşılabilir glukoz değerleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu bildirilmiştir (Englyst vd., 1999).

Araştırmalar yemekten sonra bağırsaktan glukoz emiliminin, kan konsantrasyonları açlık seviyelerine döndükten sonra birkaç saat devam ettiğini göstermektedir. Daha sonraki yemek sonrası dönemde, glukoz emilim oranının dolaşımdan çıkarılan glukoz oranı ile eşleşmesini sağlamak için insülin salgısı yeterli olmaktadır. Yüksek glukoz emilim oranları ve pankreas hücrelerinin insülin salgılama kapasitesinin zorlanması birkaç yıl boyunca devam ettiğinde ise insülin direnci ve pankreas yetmezliği gelişerek diyabet ve kardiyovasküler hastalıklara yol açabilmektedir (Nilsson vd., 2008).

2.5.4 Nonglisemik Karbonhidratlar

İnce bağırsakta emilmeyen karbonhidratlar, kolondaki bakteriler tarafından fermente edildikleri kalın bağırsağa geçmektedir. McCance ve Lawrence (1929) karbonhidratları "kullanılabilinen" ve "kullanılamayan" olarak sınıflandırmışlardır. Vücuda metabolizma için karbonhidrat sağlamayan karbonhidratları "kullanılamayan" olarak adlandırdılar. Günümüzde ise kullanılamayan karbonhidrat olarak adlandırılmasının yanıltıcı olduğu anlaşılmaktadır, çünkü bazı sindirilemeyen karbonhidratlar kolonda fermantasyon yoluyla vücuda enerji sağlayabilmektedir. Bu nedenle Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO 1998) ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından "nonglisemik karbonhidratlar" teriminin daha uygun olduğu ifade edilmiştir.

Kolona giren karbonhidratlar fizyolojik veya kimyasal olarak sınıflandırılabilir. Fakat fizyolojik olarak sindirilemez karbonhidratın ölçülmesi hem zordur hem de bireysel duruma göre değişkenlik göstermektedir. Ayrıca, karbonhidratların kimyasal yapısının her zaman fizyolojik davranışlarını yansıtmadığı bilinmektedir (Gibney vd., 2009).

- **Kolona giren karbonhidratların fizyolojik sınıflandırması**

Karbonhidratların kolona girme sebepleri;

1-Monosakkarit taşıyıcıların bağırsak mukozasında mevcut olmaması veya yeterince işlev görmemesi

2-Karbonhidratları sindirmek için gereken enzimlerin ince bağırsakta bulunmaması

3-Enzimlerin mevcut olduğu halde ancak karbonhidratlara erişememesi

4-Enzimlerin karbonhidratları tamamen emilecek kadar hızlı sindirememesi

Bazı karbonhidratlar her zaman nonglisemiktir, çünkü insan türünde sindirim için gerekli enzim yoktur. Bununla birlikte, ince bağırsakta sindirimden kaçan tüm karbonhidratların önemli bir kısmı kimyasal olarak, ince bağırsakta sindirilebilecek veya emilebilecek şekilde kimyasal yapıya sahiptir, ancak çeşitli nedenlerden dolayı emilimi değişkenlik göstermektedir. Bazı monosakkaritler ve şeker alkolleri, bağırsak taşıyıcılarına düşük afinite nedeniyle sadece kısmen emilir. Emilim için uygun olan ince bağırsağın yüzey alanı, çölyak hastalığı gibi bağırsak mukozasının atropisine neden olan hastalıklar tarafından azaltılır. Artmış bağırsak geçiş hızı da emilimin meydana gelme süresini azaltmaktadır. Nişasta, ince bağırsakta potansiyel olarak sindirilse de, sağlam hücre duvarlarında veya diğer bitki hücre yapılarında sıkışırsa, bağırsak enzimleri ulaşamayabilir ve bu nedenle sindirilmeden kalır. Örneğin muzdaki karbonhidratların sindirilebilirliği olgunluk derecesine bağlıdır. Yeşil muzdaki nişasta çok sindirilemez, ancak muz olgunlaştıkça nişasta sindirilebilir şekere dönüştürülmektedir (Williams vd., 2019).

Karbonhidratların tamamen emilecek kadar hızlı sindirilmemesinin birçok nedeni vardır. Bazı retrograde veya dirençli nişasta formları ve büyük partikül boyutuna sahip yiyecekler o kadar yavaş sindirilirler ki, ince bağırsakta geçirilen süre tam sindirimleri için yeterince uzun değildir. Bu karbonhidratların sindirimi, geçiş süresini etkileyen faktörlerle değişebilir. Ozmotik olarak aktif ve emilmemiş moleküllerin (emilmemiş şekerler gibi) varlığı, bağırsağa su çekecek ve geçiş hızını artıracaktır. Buğday kepeği gibi hacmi artıran maddelerin benzer etkileri olacaktır. Geçiş hızı yaşlılıkta ve viskoz liflerin varlığında yavaşlamaktadır (Gibney vd.,2009; Salmenkallio-Marttila vd., 2001).

2.5.4.1 Dirençli Nişasta

Dirençli nişasta (DN) ince bağırsakta sindirimden kaçan ve kolona giren nişastadır. Bununla birlikte, gıdalardaki dirençli nişasta miktarları üzerinde tartışmalar vardır, *in vitro* yöntemlerle ölçülen dirençli nişasta miktarı, gönüllü insanlarla yapılan deneylerde genellikle kolona giren (veya ince bağırsaktan ayrıldığı) gözlemlenenden daha azdır (Englyst vd., 1996).

1970'lerde ve 1980'lerin başında ilk olarak, normal nişastalı yiyecekler yedikten sonra nefes hidrojenin arttığını gösteren deneylerden, ince bağırsakta kayda değer miktarlarda nişastanın sindirilmediği ortaya çıkmıştır. İnsan vücudundaki tek hidrojen gazı kaynağı, karbonhidratların kolonik bakteriler tarafından anaerobik fermantasyonunun bir sonucudur. Bir kişi glukoz gibi emilebilir bir şeker tüketirse, nefes hidrojeni yükselmez. Aksine, laktuloz (emilmemiş bir fruktoz ve galaktoz disakkariti) tüketildiğinde, nefes hidrojeni hızla artar ve 8-12 saatlik bir süre boyunca nefes hidrojen eğrisinin altındaki alan, tüketilen laktuloz miktarı ile doğru orantılıdır. Denekler beyaz ekmek veya patates gibi yaygın nişastalı yiyecekleri yerlerse, nefes hidrojen seviyeleri, nişastanın %5-10'unun kolonda fermente edildiğini öne süren bir dereceye kadar artmaktadır. Daha sonra, kolona giren karbonhidratın ölçülmesi için başka yollar geliştirilmiştir. Bir teknikte, denekler mideden ve ince bağırsağın ucundan geçen bir tüpü yutmuş, böylece ince bağırsaktan ayrılan ve kolona girmek üzere olan maddeler belirlenebilir. Başka bir yöntemle, kolonlarını cerrahi olarak çıkarılmış ve ileumun ucunun vücut duvarına dikildiği kişileri incelendiği araştırmalarda, ince bağırsağı terk eden maddeler aracılığı ile karbonhidrat miktarı doğrudan ölçülebilir. Bu yöntemler, önemli miktarda nişastanın kolona girdiğini doğrulamaktadır (Gibney vd., 2009; Englyst vd., 1996).

Tip-1 DN; sindirilemeyen bir matris içinde bulunan nişasta formu olarak tanımlanmıştır. Tip-1 DN; amilaz tarafından yavaş hidrolizasyonun mümkün olduğu jelatinize olmamamış nişsata granülleridir. Pişirilip soğutulan nişastalı gıdalarda meydana gelen dirençli nişasta formu Tip-3 DN olarak tanımlanrken, kimyasal olarak modifiye edilimiş (çapraz bağlama vb. yöntemler ile) nişasta formu tip-4 DN olarak tanımlanmıştır (Fuantes-Zaragoza vd., 2010).

2.5.4.2 Diyet Lifi

Diyet lifinin beslenme fizyolojisindeki ilgisi 1970'lerin başında Burkitt ve Trowell (1975) tarafından birçok Batı hastalığının diyette lif eksikliğinden kaynaklandığı iddiasıyla başlamıştır. Lif tanımı ve ölçme yöntemi bilimsel çalışmalar ve gıda etiketleme amaçları için önemlidir. "Lif" terimi ile neyin kastedildiğinin ve ölçüme neyin dahil edildiğinin bilinmesi, bilimsel literatürün doğru bir şekilde yorumlanması için esastır. Başlangıçta Burkitt ve Trowell (1975) lifi, insan ince bağırsağında sindirilemeyen bitki hücre duvarlarının bileşenleri olarak tanımlamıştır. Daha sonra, tanım bitki hücreleri içindeki depolama polisakkaritlerini içerecek şekilde genişletilmiştir. Diyet lifini ölçmek için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Tüm yöntemler, gıdanın kurutulması ve öğütülmesi ve organik bir çözücü kullanılarak yağın ekstraksiyonu ile başlar, kalan madde kuvvetli asitle muamele edilirse nişasta içindeki kimyasal bağlar ve birçok polisakkarit, bileşen şekerlerini serbest bırakmak üzere parçalanır. Bunlar filtrelenirse, kalıntı “ham lifdir”. Uzun yıllar bu, besin etiketleri için lifin ölçülme biçimi olmuştur. Bununla birlikte, asit hidrolizi, ince bağırsakta sindirilmeyen birçok karbonhidratı parçalar. Bu nedenle, daha modern yöntemlerde, nişasta çözünür şekerlere ve oligosakkaritlere hidrolize etmek için gıda kalıntısı amilaz ile sindirilir. Daha sonra, esas olarak diyet lifi, proteinler ve inorganik malzemeler içeren bir tortu bırakmak için süzme veya santrifüjleme yoluyla uzaklaştırılır.

Diyet lifini belirlemek için kullanılan iki ana yöntem kimyasal ve gravimetriktir. Kimyasal yöntemde kalıntı asit hidrolize tabi tutulur ve elde edilen şekerler kolorimetrik olarak, gaz kromatografisi veya yüksek performanslı sıvı kromatografisi ile ölçülür. Gravimetrik yöntemde kalıntı kurutulur ve tartılır ve mevcut protein ve mineral madde miktarları çıkarılır. Gravimetrik yöntem ham lifin yanı sıra lignin ve vakslar gibi diğer karbonhidrat olmayan bileşenleri içerir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve kabul görmüş yöntem gravimetrik yöntemdir (Boyacıoğlu ve Boyacıoğlu, 1994).

Japonya'da fruktooligosakkaritler (FOS), gıda etiketleri için diyet lifi olarak sınıflandırılır. Bununla birlikte, suda çözünür olan FOS'lar ve benzer bileşikler, diyet lifi yöntemlerine dahil edilmez, çünkü bunlar nişasta hidrolizinden

kaynaklanan şekerler ile birlikte filtrelenir. FOS'lar ve ilgili bileşikler için spesifik yöntemler mevcuttur ve bunlar lif olarak dahil edilebilir. Karides ve yengeç kabuklarından türetilen kitin ve kitosan gibi hayvandan türetilen bazı bileşikler sindirilemez, gravimetrik lif analizine dahil edilir ve lif olarak sınıflandırılabilir. Kitin, diyet lifi ile ilişkili kolesterol düşürücü gibi bazı fizyolojik özelliklere sahiptir. Hem doğal hemde yapay "lif" olarak sınıflandırılabilecek birçok sindirilemeyen karbonhidrat ve karbonhidrat olmayan bileşikler vardır (örn, Polidekstroz, sükroz polyester, strafor). Buna karşı, diyet lifinin sadece diyette normal olarak bulunan bitki materyallerini içermesi gerektiği düşüncesi yaygındır (Gibney vd., 2009; Mitsuoka vd., 1987).

2.6 Mineraller ve Mineral Biyoyararlılığı

Tahıllar ve tahıl içeren gıda ürünleri, makrobesin ve mikrobesin taşıyıcıları olarak dünya nüfusu için çok yönlü temel gıdalardır. Enerji kaynağı olarak yüksek nişasta içeriğinin yanı sıra, tahıllar diyet lifi, besleyici protein ve esansiyel yağ asitlerinden zengin lipitler içerir. Tahıllarda bulunan önemli mikro besinler arasında vitaminler, mineraller, antioksidanlar ve fitokimyasallar bulunur. Bununla birlikte, işleme, tahıllardaki mineral elementlerin seviyesini azaltabilir veya artırabilir ve ayrıca bu bileşenlerin biyoyararlanımını değiştirebilmektedir. Ekmek ürünleri, üretim teknikleri açısından dünya çapında büyük farklılıklar göstermektedir (Dewettinck vd., 2008). Tüketicilerin sağlık beklentilerinin artması ile mineral ve vitamin gibi mikrobesin öğelerinin daha yüksek olduğu ürünler tercih sebebi olmaktadır. Dünya çapında, mikrobesin malnutrisyonunun en yaygın üç formu demir, A vitamini ve iyot eksikliğidir.. Üçü arasında en yaygın olanı demir eksikliğidir (Allen vd., 2006). Gastrointestinal sistemden emilim ve vücut sıvıları ile atılım süreçleri, bir elementin konsantrasyonunun ve miktarının vücutta kontrol edilebileceği başlıca yollar olduğu bilinmektedir. İnaktif bölgelerde veya reaktif olmayan bir formda depolanması, bir elementin vücutta olumsuz etkilere neden olmasını önleyebilmekte ve depoların serbest bırakılması diyet yetersizliği zamanlarında önemli olabilmektedir.

Tahıllar yaklaşık %1,5-2,5 mineral madde içerimektedir (Bock vd., 2000). Tüm tahıllarda en yüksek konsantrasyonda (toplam kül içeriğinin %16-22'si) bulunan

mineral, çoğunlukla kalsiyum ve magnezyum fitatlarıyla ilişkili olan fosfordur (Dewettinck vd., 2008). Buğday, çavdar ve yulaf zengin fosfor kaynakları olarak sınıflandırılırken (100 g başına 200-1200 mg), arpa orta derecede bir kaynak olarak kabul edilir (100 g başına 100-200 mg). Potasyum seviyeleri buğday, çavdar, arpa ve yulafta yüksektir, ancak hiçbir tahıl tanesi yüksek veya orta düzeyde bir sodyum kaynağı olarak kabul edilmez. Buğday, çavdar, arpa ve yulaf aynı zamanda orta düzeyde kalsiyum (100 g başına 100-200 mg), magnezyum (100 g başına 100-200 mg), demir (100 g başına 1-5 mg), çinko (100 g başına 1-5 mg) ve bakır (100 g başına 0,1–1 mg) kaynaklarıdırlar. Bunların yanı sıra, eser miktarlarda çok sayıda başka elementler de yer almaktadır (Bock vd., 2000). Tahıl taneleri önemli mineral kaynaklarıdır, ancak aynı zamanda anti-nütrisyonel faktör olarak kabul edilen miyoinositol heksakfosfat (IP6) olarak da bilinen %1-4 fitik asit içerir (Lopez vd., 2003) Fitik asit minerallerin biyoyararlanımını azaltabilecek yüksek şelatlama aktivitesine sahip olduğu bilinmektedir.

Mineral eksiklikleri, özellikle demir, kalsiyum ve çinko, insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir ve demir eksikliği anemisi, raşitizm, osteoporoz ve bağışıklık sistemi hastalıkları gibi durumlara yol açabilir. Mineral dengesini korumak için, emilebilecek mevcut mineral miktarı, alımdan çok daha önemlidir. Tahıl unu ile yapılan ekmek ve unlu mamuller birçok ülkede temel bir besindir ve bu nedenle uluslararası beslenmede küresel öneme sahiptir. İşleme adımları, özellikle öğütme ve ekmek yapımı, tahıllardaki biyoaktif bileşiklerin seviyelerini değiştirebilir ve ayrıca bu bileşiklerin biyoyararlanımını değiştirebilmektedir (Dewettink vd., 2008). Öğütmenin amacı, kepeği ve tohumu nişastalı endospermden ayırmaktır, böylece endosperm öğütülerek un haline getirilebilir. Protein, mineraller ve vitaminler açısından zengin olan aleuron tabakası genellikle öğütme işleminde kepeğin dış tabakası ile ayrılarak kepek fraksiyonunun besin kalitesine önemli ölçüde katkıda bulunur. Unlar, bilinen bir miktarda taneden öğütülerek elde edilen ağırlığa göre unun oranı olarak tanımlanan ekstraksiyon oranlarında farklılık gösterir. Ekstraksiyon oranı %75 veya daha az olduğunda beyaz un üretilir. Ekstraksiyon oranı %80'i geçtiğinde, un kepek parçacıkları içermekte ve un ekstraksiyon oranı %100'e yaklaştığında, tam tahıllı un elde

edilmektedir. Rafine un üretildiğinde birçok önemli besin maddesi azalmakta hatta yok olmaktadır (Collar vd., 2008).

Buğday ununun rafine edilmesi, kepeği ve endospermi ortadan kaldırarak bazı mineraller için tam buğdayda doğal olarak bulunanların yarısından daha düşük seviyelere düşürür: %16 (magnezyum), %24 (çinko), %26 (potasyum), %30 (demir), % 31 (fosfor), %38 (bakır), %40 (sodyum), %44 (kalsiyum) ve %48 (selenyum) (Gobetti vd., 2005). Öğütme sonucunda tüketicinin lezzet beklentisi karşılanırken ürünün besin değeri azalmaktadır. Gıdaların partikül büyüklüğü, pH, sıcaklık, su içeriği ve fermantasyon süresi gibi faktörler fitik asitin azalmasına katkıda bulunmaktadır. Hamurun fermantasyonu fitik asitin olumsuz etkilerini en aza indirmekte, özellikle ekşi hamur ekmeği magnezyum, demir ve çinko içeriği bakımından daha yüksek değerlere sahip olduğu bildirilmiştir (Chaoui vd., 2006; Lopez vd., 2003).

Beslenmemizde yer alan mineral madde varlığı atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) veya indüktif eşleşmiş plazma -optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) ölçülen toplam konsantrasyonlarını ifade eder. Bununla birlikte, bu yöntemler insan vücudu için biyolojik olarak erişilebilen fraksiyonun ölçülmesine izin vermez. Bu fraksiyon, organometalik türlerin ve komplekslerin gastrointestinal sistemdeki davranışına ve besin matrisi ile etkileşimlerine bağlıdır (Khouzam vd., 2011). Gastrointestinal koşullar altında çözünür formlara dönüştürülen mineral miktarı olarak tanımlanabilecek biyolojik erişilebilirlik, tipik olarak mide ve bağırsak koşullarının simüle edildiği bir analiz ortamında çözünür fraksiyonun tespiti üzerinden değerlendirilmektedir. *In vitro* yöntemler, biyoerişilebilirlik ve biyoyararlanım kavramını tanımlar: ilki, filtrasyon veya santrifüjlemeden sonra simüle edilmiş gastrointestinal solüsyondaki hedef elementin maksimum çözünür konsantrasyonudur ve ikincisi, elementin yarı geçirgen denge ve denge dışı koşullarda belirli bir gözenek boyutuna sahip membrandan geçebilen diyaliz edilebilir fraksiyonudur. Bir elementin biyolojik olarak erişilebilir olması için olmazsa olmaz koşul, bağırsak koşullarında çözünür formlarda bulunmasıdır. Bunu doğrulamak için uygulanan deneysel yaklaşım, önce bir mide sıvısı (pepsin) kullanarak bir 'asidik midede' ekstraksiyonu ve daha sonra

bir bağırsak sıvısı (pankreatin, amilaz ve safra tuzları) kullanarak bir 'nötr ince bağırsakta' ekstraksiyonu taklit eden iki adımı içermektedir. Bazı çözünür türler bağırsak zarından geçemez ve bu nedenle biyolojik olarak erişilebilir değildir. Çözünür fraksiyon, kalıntı ve toplam element konsantrasyonu toplamı arasındaki kontrol, analizin sonuçları için önem taşımaktadır (Khouzam vd., 2011).

Farklı unlu mamullerde kullanılan bileşenlerin mineral biyoyararlanımı üzerinde farklı etkileri olabilir. *In vitro* ve *in vivo* biyoyararlanım arasındaki iyi korelasyonlara rağmen, insan kolon hücre kültürü çalışmaları da önerilmektedir (Perales vd., 2005). Frontela vd. (2011) tarafından, tahıl bazlı gıdalarda minerallerin varlığı *in vitro* sindirimden sonra caco-2 hücreleri tarafından mineral alımı ve taşınması ölçülerek araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre demirin çözünürlüğü fermantasyon ile artarken, kalsiyum ve çinko analiz edilen ürüne bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Pişirdikten sonra, çoğu durumda minerallerin diyaliz edilebilirliği fermente hamurlara göre artmıştır. Hücrelerdeki en yüksek demir ve kalsiyum alım ve taşıma verimliliği, fırınlanmış örneklere göre buğday ununun fermantasyonundan sonraki hamurda olduğu bildirilmiştir. Çinko için, fermente hamur ile pişirme sonrası emilim ve taşıma verimliliği arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Ekşi hamur fermantasyonu, kısmi pişirme ve dondurma teknolojisi, ekmeklerin besin değerini ticari maya ile klasik yöntem ile ekmek yapma süreçlerine kıyasla farklı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır Kopec vd. (2011) yürütmüş oldukları araştırma sonuçlarına göre ekşi hamur ve kısmen pişmiş dondurulmuş ekmeklerle beslenen deney hayvanlarının karaciğerindeki kalsiyum konsantrasyonu, klasik yöntem ile elde edilen ekmekle beslenenlere kıyasla daha yüksek miktarda fosfor içerdiği bildirilmiştir. Benzer şekilde ekşi hamur fermantasyonunun etkisi ile sıçanların femur kemiklerinde en yüksek kalsiyum seviyesi deney ekmeği (yarı pişmiş ve dondurulmuş ekşi hamur ekmeği) ile beslenme sonucu tespit edilmiştir

Cubadda vd. (2009) yürütmüş oldukları çalışmada makarna yapımında teknolojik proseslerin etkisini sekiz mineral (kalsiyum, bakır, demir, magnezyum, fosfor, potasyum, selenyum ve çinko) düzeyine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre geleneksel silindir öğütme; makarnalık buğday tanelerindeki her

bir mineral içeriğini önemli ölçüde azaltmıştır. Bununla birlikte, öğütmenin bir sonucu olarak konsantrasyon kayıpları büyük ölçüde farklılık göstermiştir. Makarna yapımının irmikteki mineral madde konsantrasyonları üzerinde çok az etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Pişirme, makarnanın kalsiyum içeriğinde artışa neden olurken, diğer elementlerin konsantrasyonları potasyum haricinde değişmemiş veya önemli olmayan düzeylerde azalma göstermiştir. Ticari makarna örnekleri, deneysel örneklerinkine benzer mineral konsantrasyonları göstermiştir. Genel olarak makarna, özellikle selenyum, bakır, magnezyum ve çinko olmak üzere birçok mineral için değerli bir gıda maddesi olduğu düşünülmektedir.

Demirözü vd. (2003), Ankara ve Samsun'daki 20 fırından tedarik edilen ekmek örneklerinin demir, bakır, çinko, kurşun ve kadmiyum düzeylerini AAS aracılığıyla belirlemişlerdir. Demir, bakır, çinko, kurşun ve kadmiyum değerleri sırasıyla 19.2±8.1 mg/kg, 2.1±1.0 mg/kg, 10.0±3.0 mg/kg, 86.8±176.0 mg/ kg ve 12.2±6.1 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre farklı illerden alınan örneklerde demir, çinko ve kurşun düzeyleri arasındaki fark araştırmacılar tarafından anlamlı olarak değerlendirilmiştir.

Angioloni ve Collar (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, antik tahılların (çavdar, yulaf, kamut buğdayı) ve tahıl benzerlerinin (karabuğday) ekmek yapımında uygunluğu tek ve çok tahıllı matrislerde değerlendirilmiştir. Ekmeklerdeki mineral içeriklerinde temel farklılıklar gözlenmiştir (toplam mineral içeriği, 3.36–4.06g / kg). Na, K, Mg ve Ca, buğday ekmeği dahil tüm örneklerde en yüksek konsantrasyonda bulunan mineraller olmuştur. Buğday ekmeğine göre mineral seviyelerinde en fazla artış %75 oranında buğday unu eklenerek elde edilen çok tahıllı örneklere ait olarak bildirilmiştir.

Erba vd. (2011) dört farklı yerde yetiştirilmiş siyez buğdayı ve bir ekmeklik buğday çeşidine ait unları iz elementler (Zn, Fe, Cu ve Mn) ve mineral (Ca, Mg, P ve K) içerikleri bakımından değerlendirmişlerdir. Mineral seviyelerini etkileyen başlıca faktörler, genotiplerin yanı sıra minerallerin kendi arasındaki etkileşimleri olarak bildirilmiştir. Siyez buğdayı çeşitleri, ekmeklik buğdaydan daha yüksek miktarda Zn (100g 7.18±0.76 mg/100g), Fe (5.23±0.47 mg/100g), Mn (4.65±0.23 mg/100g), Cu (0.90±0.08 mg/100g), Mg (151.2±9.00 mg/100g) ve P (541.1±35.37

mg/100g) değerlerine sahip olarak tespit edilmiş ve Mg konsantrasyonu, diğer iki değerlikli katyonlarla (Zn ve Ca) pozitif korelasyon gösterdiği bildirilmiştir.

2.6.1 Kalsiyum

Süt ve süt ürünleri çoğu insan için en önemli kalsiyum kaynaklarıdır; tahıl ürünleri ise çok daha küçük bir katkı sağlamaktadır. Süt ürünlerinin toplam kalsiyum alımına katkısının Hollanda'da % 73, Almanya'da % 51-52, ABD'de % 51-52, Birleşik Krallık'ta % 57 ve İrlanda'da % 44 olduğu tahmin edilmektedir. Genel olarak, bitkisel kökenli gıdalar çok zengin kalsiyum kaynakları değildir. Bununla birlikte, tüketim seviyesi nedeniyle, bitki kaynaklı gıdalar toplam kalsiyum alımına önemli bir katkıda bulunur. Kalsiyumdan zenginleştirilmiş gıdaların ve kalsiyum tuzları içeren diyet takviyelerinin kullanılabilirliğinin artması, daha geniş bir çeşitlilikte zengin kalsiyum kaynaklarına yol açmaktadır. Besin takviyelerinden veya ilaçlardan sağlanan katkılar önem arz etmektedir. Kemikte vücut kalsiyumunun yüksek oranda bulunması ve kalsiyumun ana rezervuarı olarak kemiğin önemi göz önüne alındığında, kemiğin gelişimi ve korunması kalsiyum ihtiyacının temel belirleyicisidir. Bu nedenle, diğer besin maddelerinden farklı olarak, kalsiyum gereksiniminin, besinin metabolik fonksiyonunun sürdürülmesi ile değil, optimal bir rezervin korunması ve rezervin fonksiyonunun korunması ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, kalsiyum gereksinimleri bireyin yaşamı boyunca değişir, çocukluk ve ergenlikte hızlı büyüme dönemlerinde, hamilelik ve emzirme döneminde ve daha sonraki yaşamda daha fazla ihtiyaç vardır. Hem sodyum hem de proteinin yüksek alımı, üriner kalsiyum kayıpları üzerindeki etkileri nedeniyle, diyet kalsiyum gereksinimini arttırmaktadır (Gibney vd., 2009).

Kalsiyum malabsorpsiyonunun negatif kalsiyum dengesini şiddetlendirdiği ve yaşa bağlı kemik kaybına önemli ölçüde katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Süt ürünleri zengin ve biyoyararlanımlı bir kalsiyum kaynağı olarak kabul edilmesine rağmen, bu ürünlerden kaçınan veya yeterli miktarda tüketmeyen insanlar vardır. Bu nedenle, besin takviyelerine ihtiyaç duymadan bireylere yeterli kalsiyum sağlayabilecek alternatif gıda seçeneklerine ihtiyaç vardır.

Juma vd. (1999) ekmek bazlı bir diyetin kalsiyum biyoyararlanımının süt bazlı bir diyet ile karşılaştırılabilir olup olmadığını incelemek için yürüttüğü çalışma

sonuçlarına göre kalsiyum emilimi, süt ve yüksek yağlı, yüksek proteinli gruplarda ekmek ve kontrol gruplarına göre anlamlı olarak daha düşük olduğu bildirilmiştir. Benzer enerji alımlarına rağmen, süt bazlı diyetle beslenen hayvanların sonuç olarak ortalama vücut ağırlığı, diğer gruplardan önemli ölçüde daha düşüktü. Bu sonuçlar, zenginleştirilmiş ekmeğin iyi bir biyoyararlanımlı kalsiyum kaynağı olarak hizmet edebileceğini göstermektedir. Ek olarak, veriler daha yüksek yağ içeriğine sahip diyetlerin kalsiyum emilimini engelleyebileceğini göstermektedir. Buğday unu, öğütme sırasında kaybedilen kalsiyumu geri kazanmak için ilk olarak 1943'te İngiltere'de kalsiyum ile zenginleştirildi. Bugün, İngiltere'de öğütülmüş beyaz ve kahverengi (ancak tam tahıllı değil) unlara kilogram başına 940–1560mg kalsiyum karbonat eklemek zorunludur. ABD'de, una kalsiyum eklenmesi 1940'ların başından beri isteğe bağlıdır. Kalsiyum sülfat, karbonat, klorür, fosfat, asetat veya laktat, buğday unlarının zenginleştirilmesi için uygundur, ancak oksit ve hidroksit, başarılı ekmek yapımı için hamurun pH'ında değişiklikler gerektirebilir (Allen vd., 2006).

Deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalardan, aşırı kalsiyum alımının diğer besin maddelerinin, özellikle demir, çinko ve magnezyumun beslenme durumunu bozabileceğine dair önemli bulgular bildirilmiştir. Kalsiyum, magnezyum ve fosfor ile etkileşime girer ve emilimini azalır, yüksek kalsiyum alımının etkilenen besin maddesinin tükenmesi ile ilişkili olduğuna dair bir kanıt yoktur. Kalsiyum, demirin doza bağlı bir şekilde emilimini engellemektedir. Bununla birlikte, mevcut insan verileri, yüksek kalsiyum alımının sonucu olarak demir eksikliği vakalarını ve hatta demir depolarının azaldığını göstermemektedir. Yüksek kalsiyum diyetlerinin alımının insanlarda çinko emilimini ve dengesini azalttığına ve çinko ihtiyacını artırabileceğine dair bazı kanıtlar vardır. D vitamini eksikliğinin (güneş ışığına maruz kalma eksikliğinden, yetersiz diyet alımından veya her ikisinden de kaynaklanan), bağırsakta kalsiyum emiliminin azalması ile sonuçlanabileceği ve bunun da serum iyonize kalsiyumda azalmaya yol açabileceği bilinmektedir (Rosell vd., 2015).

2.6.2 Demir

Günlük (emilen veya fizyolojik) demir gereksinimleri, bazal demir kayıpları, mentsrüal kayıpları ve büyüme ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli diyet demir miktarından hesaplanır. Yaş ve cinsiyete göre değişir ve vücut ağırlığına göre genç bebek için en yüksektir. Fizyolojik demir ihtiyaçları, demirin diyetten emilme verimliliği (tipik olarak % 10 civarında) dikkate alınarak diyet gereksinimlerine dönüştürülebilir. Demir et, yumurta, sebze ve tahıllarda yaygın olarak bulunur, ancak süt, meyve ve sebzede konsantrasyonu düşüktür. Demir emilimi önemli ölçüde değiştiğinden, bireysel gıdaların kendi başına demir içeriği çok az anlam ifade eder. İki tür gıda demiri vardır: hem bitkisel gıdalarda hem de hayvan dokularında bulunan heme olmayan demir ve hayvansal ürünlerde hemoglobin ve miyoglobinden gelen heme demir. Heme demir, yağsız ette toplam demirin %30-70'ini temsil eder ve her zaman iyi emilir. Et ve sebze gıdalarından elde edilen hem-olmayan demir, mide suyunda yaygın bir hem-olmayan demir havuzuna girer, buradaki emilen demir miktarı, büyük ölçüde öğünde zenginleştirici ve inhibe edici maddelerin varlığına ve bireyin demir durumuna bağlıdır (Rosell vd., 2015; Gibney vd., 2009).

Tayland'da buğday unundan üretilen ürünler kullanarak yürütülen bir çalışmada buğday ununa yapılan demir takviyesinin besin değerlerini artırmaya yardımcı olabileceği bildirilmişrtir (Zimmermann vd., 2005). Bu çalışmada, elektrolitik demirin demir sülfatla karşılaştırıldığında karşılaştırmalı etkinliği, zenginleştirilmiş buğday unu kurabiyeleri tüketen kadınlarda yaklaşık% 70 iken, hidrojeni azaltılmış demir için % 50 olarak bildirilmiştir. Bu kanıtlara dayanarak, demir sülfat ile karşılaştırıldığında iki kat daha fazla elektrolitik demir veya hidrojen indirgenmiş demir eklenmesi, demir sülfata eşdeğer bir etkinlik sağlayacağı düşünülmektedir. Deney hayvanları ile yürütülen araştırma sonuçlarına göre, karbonil demirin takviye edici olarak elektrolitik demir kadar iyi olabileceğini, ancak bunu doğrulamak için insan etkinliği çalışmalarının hala gerekli olduğunu göstermektedir. Demir sülfat Şili'de uzun yıllardır başarıyla kullanıldığı ve demir fumaratın Venezuela'da ve Orta Amerika'da kullanıldığu bilinse de diğer ülkelerde bu demir bileşiklerinin eklenmesi buğday unlarında

acılaşmaya meydana getirdiği bildirilmiştir (Dary, 2002). Bu sorun, stabiliteyi artırmak için kapsüllenmiş formlar kullanılarak aşılabilir. Demir sülfat ve daha az ölçüde demir fumarat, düşük nem içeriği nedeniyle ekşimenin gelişmesine buğday unundan daha az duyarlı olan makarna için de uygun zenginleştiricilerdir. Askorbik asit, emilimi artırmak için demir takviyeli gıdalara sıklıkla eklense de, pişirme sırasında ısı etkisiyle yok olmasından dolayı ekmek unlarında bu açıdan yararlılığı sınırlıdır. Yine de askorbik asit, demir emilimini artırmak için değil, daha çok bir kabartıcı olarak unlara sıklıkla eklenmektedir. Buğday unu ve buğday unu ürünlerinin başarılı bir şekilde zenginleştirilmesini sağlamak için, tek tek ülkelerin iklim, buğday unu kalitesi, işleme yöntemleri ve depolama koşulları bununla birlikte unun temel kullanımlarındaki farklılıklarını (yani ekmek veya diğer yiyecekler yapmak için) dikkate almak için farklı stratejiler benimsemesi gerekebilir.

Demir eksikliği anemisinin bazı vakalarında serum bakırının düşük olduğu gerçeği, demir durumunun bakır metabolizması üzerinde bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bakır eksikliği demir metabolizmasını etkiler, demir takviyesine cevap vermeyen bir anemiye neden olur. Demir ve bakır arasındaki etkileşimler, birinin diğerinin yokluğunda kullanımının bozulması nedeniyle görünmektedir. Kalsiyum da belirli koşullar altında demir emilimini engelleyebilmektedir (Gibney vd., 2009).

2.6.3 Çinko

Çinko için günlük gereksinimler; metabolik denge çalışmalarından elde edilen verilere dayanmaktadır. Çinko gereksinimlerini tahmin etmek için faktöriyel hesaplamalar, zorunlu kayıplar, doku bileşimi ve büyüme ve doku onarımı için ihtiyaçlar hakkında bilgi gerektirmektedir (Waters vd., 2012).

Farklı gıdalarda çinkonun biyoyararlanımı %5 ila %50 arasında değişmektedir. Et, deniz ürünleri (özellikle istiridye) ve karaciğer iyi biyoyararlanılabilir çinko kaynaklarıdır. ABD'deki diyetlerdeki diyet çinkonun yaklaşık %70'inin hayvansal ürünler tarafından sağlandığı tahmin edilmektedir. Et ürünlerinde, çinko içeriği bir dereceye kadar etin rengini izler, böylece en yüksek içerik, yaklaşık 50 mg/kg, yağsız kırmızı ette, tavuğun en az iki katı bulunur. Bununla birlikte, dünyanın

birçok yerinde, çinkonun çoğu tahıllar tarafından sağlanmaktadır. Tahıllarda, çinkonun çoğu çekirdeğin lif açısından zengin dış kısmında bulunur. Bu nedenle, rafinasyon derecesi toplam çinko içeriğini belirler. Tam tahıllı ürünler 30-50 mg / kg sağlar, ancak düşük ekstraksiyon oranı olan buğday unu 8-10 mg / kg içerir. Çinkonun biyoyararlanımı, güçlü bir çinko emilim inhibitörü olan fitik asit içeriği nedeniyle bitki bazlı diyetlerde, özellikle de tam tahıllı tahıllarda ve baklagillerde düşük olabilmektedir (Rossel vd., 2012).

Lopez de Romana vd. (2003) tarafınan yürütülen araştırma sonuçlarına göre çinko oksit ile takviye edilmiş tahıl ürünlerinden çinkonun emilmesinin, oksitin mide asidinde çözünür olması nedeniyle, daha çözünür çinko sülfat ile takviye edilenler kadar iyi olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, mide asidi salgısı düşük olan kişilerde oksitten çinko emilimi zayıf olabilmektedir. Gıdalardan çinko emilimi, tüketilen çinko miktarına ve tüketilen yemekteki fitatın çinkoya oranına bağlıdır. Uluslararası Çinko Beslenme Danışma Grubu'nun son tahminlerine göre, çinko alımı emilen çinko için fizyolojik gereksinimleri karşılamak için yeterli olduğunda, yetişkin erkeklerde çinko içeriğinin yaklaşık % 27'si, fitat / çinko molar oranı 18'den az olan diyetlerden emilir; bu, fitat / çinko molar oranı 18'den büyük olduğunda yaklaşık% 19'a düşmektedir. Yetişkin kadınlar için karşılık gelen çinko emilim oranları sırasıyla %35 ve %26'dır (Holt ve Brown, 2004). Çinko alımı, gereksinimleri karşılamak için gereken kritik seviyeden daha yüksek olduğunda, çinkonun net emilimi biraz artmasına rağmen, fraksiyonel emilim giderek daha az olur. ABD'den sağlıklı, iyi beslenmiş yetişkinlerin katıldığı bir çalışmada, düşük fitatlı bir ekmek ununa eklenen sülfattan çinko emilimi yaklaşık % 14 (toplam çinko içeriği, öğün başına 3.1-3.7 mg) iken, aynı takviye eklenen yüksek fitatlı buğday ununda (toplam çinko içeriği, öğün başına 2,7-3,1 mg) yaklaşık % 6'dır (Hurrel vd., 2003). Buğday ununun nispeten yüksek seviyelerde çinko (çinko asetat olarak) ile zenginleştirilmesi, ekmek hamurunun pişirme veya organoleptik özelliklerini etkilememiştir. Benzer şekilde, 60 veya 100 mg / kg buğday ununun (çinko sülfat veya çinko oksit olarak) çinko ilavesi ekmeğin kabul edilebilirliğini değiştirmemiştir (Lopez de Romana vd., 2002).

Aşırı çinko varlığında bakır emiliminde bir azalma olduğu bildirilmiştir. Veriler, biyoyararlanımı bozmak için gereken seviyenin > 40-50 mg / gün olduğunu göstermektedir; uzun süreler boyunca terapötik seviyeler (150 mg / gün) bakır eksikliği belirtileri üretmektedir. Belirli koşullar altında demir çinko emilimini bozar. Hayvan çalışmaları, fitat bakımından zengin diyetlerde kalsiyum ve çinko arasında bir etkileşim olduğunu göstermiştir (Gibney vd., 2009).

Sağlıklı bir yaşam tarzının farkındalığı arttığından dolayı tam tahıllı, çok tahıllı veya diğer fonksiyonel bileşenleri içeren ekmekler fırın endüstrisinde kazandığı değer gün geçtikçe artmaktadır. Buğdayın yanı sıra özellikle mikrobesin öğeleri bakımından değerli olan tahılların ve tahıl benzerlerinin ekmek üretiminde kullanımları yeni teknolojilerle birleştirildiğinde tüketicinin sağlık beklentisini karşılayabilecektir.

2.7 Tahılların Protein Sindirilebilirliği

Proteinler günlük diyetimizin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Fizyolojik olarak birden çok rolü olan proteinler yapı oluşturma, enzimatik reaksiyonlarda katalizör olarak görev alma, saf azot depo molekülleri olarak işlev görme gibi bir çok görevi vardır (Hoffman ve Falvo, 2004). Gıda tüketildikten sonra vücutta kullanılabilmesi için sindirilmesi gerekmektedir. Proteinlerin sindirimi gastrointestinal sistemde peptidazlar ve hidroliz enzimleri ile gerçekleşerek sindirim sonucu daha küçük yapıda olan peptidler ve amino asitler meydana gelmektedir (Joye, 2019). Yirmi amino asitten sekizinin (izolösin, lösin, lizin, metiyonin, fenilalanin, treonin, triptofan ve valin) esansiyel olduğu ve çocukluk çağında histidin ve arjinin amino asitleriyle on tanesinin esansiyel olduğu bilinmektedir. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) diyetteki amino asitlere ayrı besinler olarak yaklaşılmasını önermektedir. Bu nedenle, mümkün olan her yerde, sindirilebilir veya biyolojik olarak kullanılabilir amino asitlere ilişkin veriler, ayrı bir amino asit temelinde gıda tablolarında sunulmasının önemi bildirilmiştir (Paddon-Jones vd., 2015). Amino asit profilleri, iyon değişimine veya amino asitler arasındaki polarite farklılıklarına dayanarak kromatografik teknikler kullanılarak belirlenebilmektedir (Nielsen, 2017). Doğal hallerinde, proteinler tipik olarak proteinin benzersiz amino asit bileşimi tarafından yönlendirilen belirli bir konformasyonda katlanır. Bu sıkıca

katlanmış yapı, protein sindirilebilirliğini engellemektedir. Ek olarak, proteinler sıklıkla protein gövdeleri gibi supramoleküler yapılarda meydana gelir ve / veya hücresel yapılarda fiziksel olarak hapsolmakta ve meydana gelen yapı sonucunda enzimlerin substrata erişimi kısıtlanmaktadır (Bhattarai vd., 2017; Duodu vd., 2003).

Gıdanın işlenmesi, gıda güvenliğinin sağlanması, raf ömrünün uzatılması ve sindirilebilirliğin artırılması gibi çeşitli amaçlara hizmet eder. Örneğin kıtlık nedeniyle sindirilebilecek yiyecek miktarında kısıtlamaların olduğu koşullarda, kolay ve neredeyse tam sindirimi ve emilimi yapılan besinler büyük önem taşır. Gıda sindirilebilirliğini belirlemede bileşen seçimi ve işlemenin rolünü göstermek için, gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerdeki diyetlerdeki proteinlerin sindirilebilirliği karşılaştırılabilir. Gelişmekte olan ülkelerdeki geleneksel diyetler genellikle% 54 ile% 78 arasında değişen bir protein sindirilebilirliğine sahipken, Kuzey Amerika gibi gelişmiş ülkelerde diyette protein sindirilebilirliği % 90'a yakın ve hatta daha fazladır (Gilani, 2012). Gelişmekte olan ülkelerde gıdanın daha düşük sindirilebilirliğinin nedenleri, daha az rafine edilmiş bileşenlerin kullanılması ve daha az kapsamlı işlemedir. Gıda işleme, sindirim enzimlerinin besinlere/ biyopolimerlere daha kolay erişmesine izin vermek için moleküler ve supramoleküler yapılarda (genellikle yıkıcı) değişiklikleri tetikler, dolayısıyla gıdaların sindirilebilirliğini artırır. Protein bağlamında, gıda işleme genellikle proteinin açılmasına yol açar. Aslında, ısıtma, güçlü asit ve veya alkali koşullara maruz kalma ve organik moleküllerin ve emülgatörlerin mevcudiyeti genellikle konformasyonel değişikliklere ve hatta yeterince şiddetli olması halinde protein katlanması veya moleküler bölünmede geri dönüşü olmayan kayıplara yol açmaktadır. Denatürasyon, protein yapısını açarak onu hidrolitik enzimler için daha erişilebilir hale getirir ve dolayısıyla protein sindirilebilirliğini artırır. Ancak aynı zamanda protein denatürasyonu ayrıca, aksi takdirde sulu ortamdan korunan proteinlerin hidrofobik yamalarını da açığa çıkarır. Konformasyonel değişiklikler nedeniyle aniden etkinleştirilen diğer etkileşimlerle paralel hidrofobik etki, sonunda protein agregasyonuna ve sindirilebilirliğin azalmasına yol açabilmektedir (Gulati vd., 2017). Protein içeren gıdalar yüksek düzeyde yüksek kaliteli proteinlerle karakterize edilmektedir. Tipik proteinli gıdalar et ve süt

ürünleri gibi hayvansal gıdalardır. Bunların her biri, esansiyel kabul edilen amino asitler açısından zengin bir profile sahiptir (Reeds, 2000). Hayvansal gıdalar insan vücudundaki büyümeyi ve metabolik süreçleri sürdürmek için gereken oranlarda gerekli amino asitleri sağlarken, bitki bazlı protein kaynakları tipik olarak temel amino asitlerin optimal altı seviyelerine ve oranlarına sahiptir. Bununla birlikte, protein kalitesi belirlenirken sadece amino asit bileşimini değil, aynı zamanda üretilen hidroliz ürünlerinin insan gastrointestinal sisteminde sindirilebilirliğini ve emilimini de dikkate alınmaktadır. Yüksek kaliteli protein örneği, çok iyi bir amino asit profiline sahip olması ve iyi sindirilmesi ile mümkündür. Bu sebeplerle her iki faktör, yani amino asit bileşimi ve sindirilebilirlik ile birlikte dikkate alınmalıdır. Literatür çalışmalarında farklı kaynaklardan elde edilen proteinlerin besin değerindeki köklü farklar bir dizi protein kalitesi puanlama yönteminde değerlendirilmiştir (Schaafsma, 2000). En popüler puanlama yöntemlerinden biri 'protein sindirilebilirliği düzeltilmiş amino asit skoru (PDCAAS)'dur. Esansiyel amino asitlerin tümünün yeterli seviyelerini ve oranlarını içeren ve protein sindirilebilirliği yüksek olan süte maksimum PDCAAS 1.0 olarak verilmiştir (Hess ve Slavin 2016). Yumurta ise maksimum PDCAAS verilen başka bir proteinli gıdadır. Soya ve sığır eti sırasıyla 0,91 ve 0,92 değerlerine sahipken, lizin gibi temel amino asitlerden eksik olan buğdayın PDCAAS'ı 0,42'dir (Joye, 2019). Tahıl proteinlerinin çoğu, hayvandan elde edilen ürünlere göre daha düşük amino asit profillerinden dolayı aslında eksik protein kaynakları olarak kabul edilir (Shaheen vd., 2016). Daha yeni bir protein kalite skoru, bir proteindeki tüm sindirilebilir esansiyel amino asitlerin içeriğini bir referans proteindeki bu sindirilebilir amino asitlerin seviyesiyle karşılaştıran, sindirilebilir vazgeçilmez amino asit skorudur (DIAAS). Referans protein, 6 ay ile 3 yaş arasındaki bir çocuğun ihtiyaç duyduğu profile benzer, vazgeçilmez bir amino asit dizisine sahiptir. Bu yeni skor, proteinlerin fekal sindirilebilirliği yerine gerçek ileal sindirilebilirliği kullandığı için PDCAAS'dan daha üstün kabul edilir. İnce bağırsakta emilmeyen amino asitler, peptidler ve proteinler, mikrobiyota tarafından metabolize edildikleri kolonda son bulmaktadır (Joye, 2019). DIAAS hesaplama yönteminde kullanılan esansiyel amino asit, 'sınırlı amino asit' olarak tanımlanan en düşük referans oranına sahip amino asittir. Han vd. (2019) yapmış oldukları araştırma sonucunda kahverengi

pirinç (42, lizin), beyaz pirinç (37, lizin), karabuğday (68, kükürtlü amino asitler), yulaf (43, lizin), tam buğday (20, lizin) sırasıyla DIAAS ve sınırlı amino asitleri olarak bildirilmiştir. Bu skor tahıllarda değerlendirildiğinde, özellikle süt ve et ve yumurta gibi hayvansal gıdalara ait DIAAS skorları ile karşılaştırıldığında oldukça düşük olduğunu göstermektedir (Han vd., 2019).

2.7.1 Protein Sindirimi

Proteinler hidrolize edilerek peptidlere ve sonrasında amino asitlere dönüştürülerek insan vücudu tarafından sindirilebilmektedir. Bu süreçte yer alan enzimler peptidazlar olarak adlandırılır. Hidrolizden sonra, küçük peptidler ve amino asitler, ince bağırsakta enterositler tarafından hızlı ve verimli bir şekilde emilmelidir. Araştırmalar, amino asitlerin kanda, tekli amino asitlerin veya izole edilmiş proteinlerin alınmasından yaklaşık 10 ila 20 dk sonra ortaya çıktığını göstermiştir. Sığır eti, yumurta veya süt ürünlerinin bir parçası olarak tüketilen gıda ürünlerinde bulunan bozulmamış proteinler için, amino asitlerin kanda oluşması 2 saatten fazla sürebilir (Paddon Jones vd., 2015).

Genel olarak, protein sindiriminin gastrointestinal sistem aşamaları aşağıda özetlenmektedir (Erickson ve Kim, 1990).

- Mide fazı: Midedeki ana protein hidrolize etme aktivitesi, asit pH koşulları tarafından aktive edilen iki farklı pepsin tipinden kaynaklanır. İlk hidroliz ürünleri oldukça büyük polipeptitler, birkaç küçük peptit ve hatta bazı serbest amino asitlerdir. Bununla birlikte, mideleri çıkarılmış kişiler diyet yoluyla sağlanan proteini sindirip asimile edebildikleri için bu protein sindirim aşamasının çok önemli olmadığı bildirilmiştir (Joye, 2019).

- Pankreas fazı: Protein sindiriminde çok daha önemli olan bu faz, tripsin, kimotripsin, elastaz ve karboksipeptidaz A ve B gibi pankreas tarafından üretilen proteolitik enzimlerin karışımını kullanır. Ortaya çıkan hidroliz ürünleri, küçük oligopeptidlerin heterojen bir karışımı ve serbest amino asitlerdir. Bu aşamada pH artmıştır, dolayısıyla mide peptidazları etkisiz hale getirilmiştir. Tripsin, kimotripsin ve elastaz, amino asit zincirinin ortasındaki peptit bağlarını koparan endopeptidazlardır. Bu enzimlerin her biri, substratlarının birincil yapısı boyunca

çok spesifik amino asitleri tanır. Diğer yandan karboksipeptidazlar, tekli amino asitleri substratlarının C-terminal ucundan çıkaran ekzopeptidazlardır (Joye, 2019). Bu beş ana pankreas peptidazının katalitik tamamlayıcılığı, proteinlerin serbest amino asitlere ve oligopeptitlere uygun şekilde hidrolizini sağlar.

- İnce bağırsak fazı: İnce bağırsağın fırça kenar zarında, kısa oligopeptitleri sırayla N-terminal amino asitlerini uzaklaştırarak hidrolize eden bir aminopeptidaz N bulunur. Bu bağırsak sınırındaki enzimler, prolin içeren peptitler için yüksek bir özgüllük gösterir. Pankreas enzimleri prolin içeren peptid bağlarını hidrolize edemezler. Bu aminopeptidazlardan ayrı olarak, proteinleri oluşturan amino asitlere tamamen hidrolize edebilen birkaç metalo-endopeptidaz bulunur. İnce bağırsağın orta kısmı olan jejunum, amino asitlerin emilimi için en iyi noktadır. Araştırma ayrıca, diyet peptidlerinin biyoyararlanımını doğru bir şekilde belirlemek için bir *in vitro* sindirim süreci tasarlanırken peptidazlarla birlikte jejunal fazın göz ardı edilmemesi gerektiği bildirilmiştir (Picariello vd., 2015). Çeşitli süt protein karışımlarının iki farklı *in vitro* prosedürle yürütüldüğü araştırmada sindirim sonucu meydana gelen peptidler daha sonra jejunal fırçamsı kenar peptidazlarını içeren bir sistemle beslenmiştir. Fırçamsı kenar peptidaz uygulamasından sonra, hidroliz derecesindeki farklılıkların kaybolması Picariello vd. (2015) tarafından önemli bir bulgu olarak bildirilmiştir. İnce bağırsakta sindirilmeyen ve emilmeyen proteinler, peptitler ve hatta serbest amino asitler, sonunda bağırsak mikrobiyotası tarafından fermente edilecekleri kalın bağırsakta son bulur. Kalın bağırsakta meydana gelen yaygın protein dönüşüm reaksiyonları, deaminasyon ve dekarboksilasyondur ve sonunda kısa zincirli yağ asitleri ve aminlerin oluşumuna yol açmaktadır (Fan vd., 2015). Ayrıca gastrointestinal sistem boyunca değişen pH koşulları da protein sindiriminde anahtar rol oynamaktadır. Çoğu protein, midede asit koşulları altında yapılarını kaybederek protein hidrolizine yardımcı olduğu bilinmektedir (Swaisgood, 1991).

2.7.2 Protein Sindirilebilirliği ve Etkileyen Faktörler

Proteinlerin sindirilebilirliği hem iç hem de dış faktörlere bağlıdır. İç faktörler arasında protein amino asit profili, protein katlanması ve çapraz bağlanma faktörleri yer alırken dış faktörler arasında pH, sıcaklık ve iyonik güç koşulları, emülgatörler gibi ikincil moleküllerin varlığı ve antinutrsyonel faktörler yer almaktadır. Gıda işlemenin, bu faktörler ve dolayısıyla protein sindirilebilirliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ek olarak, hem iç hem de dış faktörler, bitki gelişimi sırasında büyüme koşullarından (örneğin, kuraklık ve sıcaklık stresi) etkilenebilmektedir (Impa vd., 2019).

2.7.2.1 İç Faktörler

Peptidazlar genellikle belirli bir amino asit tipine komşu olan peptit bağlarını hidrolize etmek için yüksek özgüllük sergiler. Bu amino asitler ve peptid bağlarının peptidazlar için kolayca erişilebilir olması gerekir. Protein sekansları üzerindeki prolin bakımından zengin uzantılar tipik olarak protein zincirinin esnekliğini azaltır ve peptidaz hidrolizine karşı yüksek dirençleriyle bilinir. Örneğin glüten proteinleri, sınırlı sindirilebilirliğinin nedenlerinden biri olan yüksek prolin seviyeleri ile karakterize edilir. Sıkı protein katlanması veya protein agregasyonu genellikle peptid zincirine erişimi kısıtlar ve dolayısıyla hidrolizi yavaşlatır. Protein çözünürlüğünü etkileyen faktörler ayrıca protein sindirilebilirliğini de etkiler (Martinez-Velasco vd., 2018). Literatür çalışmalarında depolama sırasında mısır ekmeğindeki proteinlerin sindirilebilirliği ile ikincil beta biçimlerinin seviyesi arasında negatif bir korelasyon bildirilmiştir (Martinez-Velasco vd., 2018). Bu ikincil yapıların sınırlı sindirilebilirliği, yüksek hidrofobikliklerine ilişkilendirilmiştir. Daha yüksek bir yapısal seviyede, tekli proteinlerin içinde ve arasında çapraz bağlanma, protein sindirilebilirliğini büyük ölçüde etkilemektedir (Joye, 2019; Geiger ve Harris, 1942).

2.7.2.2 Dış Faktörler

Protein sindirilebilirliğini azaltan dış faktörler, antinutrisyonel faktörlerin varlığı ve proteinleri peptidazlardan koruyan hücresel yapılarda fiziksel ayrılmadır. Tahıllarda bulunan ve protein sindirilebilirliğini sınırlayan en iyi tanımlanmış

antinutrisyonel faktörler; proteaz inhibitörleri, taninler ve fitatlardır (Köstekli ve Karakaya, 2017; Ikeda vd., 1991).

Tripsin ve kimotripsin inhibitörleri gibi peptidaz inhibitörleri de protein yapıdadır ancak sıcaklık uygulamalarına ve gastrointestinal sistemdeki hidrolitik koşullara çok daha duyarlı olduğu bildirilmiştir (Köstekli ve Karakaya, 2017). Tripsin inhibitörleri, gastrointestinal sistemdeki en önemli peptidaz olan tripsini inaktive ederek protein sindirilebilirliğini azaltmaktadır. Bununla birlikte, tripsin inhibitörleri söz konusu olduğunda, bu antinutrisyonel faktörleri etkisiz hale getirmek için genellikle basit bir ısıl işlem yeterli olmaktadır. Bununla birlikte, Clemente vd. (2000) tripsin inhibitör aktivitesinin önemli bir kısmının ısıya dirençli olduğunu bildirmiştir. Isıya dayanıklı antinutrisyonal faktörler arsında tanenler ve fitatlardır gösterilmektedir Tanenler, sulu ortamlarda kompleksler oluşturan ve proteinlerle çökelti oluşturan doğal olarak oluşan, suda çözünür polifenollerdir. Tanenler, proteinler (peptidazlar ve protein substratları) ve minerallerle etkileşime girerek gıdalardaki hidrolitik aktiviteyi azaltıcı etki gösterir (Nikmaram vd., 2017). Tanenler süpürge darısı, darı, çeşitli fasulye türleri ve bezelyede yüksek oranda bulunur. Isıl işlemler tanen konsantrasyonunu etkilemediğinden, tanenleri azaltmak için kabuk çıkarma, ıslatma, kimyasalların eklenmesi ve çimlenme gibi alternatif teknolojik işlemlerin uygulanması önerilmektedir (Osman, 2007).

Bitkilerde fitatlar çimlenme sırasında mineral kaynağı olarak işlev görür. İnsanların ve hayvanların gastrointestinal sisteminde fitat, temel mineralleri ayırarak bunları biyolojik olarak daha az kullanılabilir hale getirir. Fitat, aktif olması ve protein ile doğrudan etkileşim içinde olması için peptidazların ihtiyaç duyduğu mineral kofaktörleri için rekabet ederek proteinin sindirilebilirliğini etkilemektedir. Fitat içeriği ekstrüzyonla azaltılabilirken, klasik ısıl işlemler fitat seviyelerini etkilememektedir. Ek olarak, ısıl işlemler fitatı hidrolize ettiği bilinen enzimler olan fitazları inaktive etmektedir. Pirinç, buğday ve darı gibi tahıllarda fitat ağırlıklı olarak öğütme işlemi sırasında ayrılan dış katmanlarında bulunur (Laleg vd., 2016). Tam tane olarak tüketilen tahıl ürünlerinde fitat içeriği bu sebeple daha fazladır. Diyet lifi de engellenmiş ve/veya geciktirilmiş protein

hidrolizi ile ilişkilendirilmektedir. Diyet lifinin etkisi tamamen fiziksel olabilir, şöyle ki gastrointestinal sistem içeriğinin viskozitesinin artırılması ile hidrolitik enzimler substratlarına daha geç erişim sağlayabilmektedir (Lin vd., 2017).

Genel olarak, gıda işleme, sindirim süreçleri için daha kolay erişilebilir hale getirerek gıda ürünlerinin besin değerini artırmayı amaçlamaktadır (Nikmaram vd., 2017). Genel olarak bitkisel ürünlerde, uygun enerji ve besin değerini sağlamak için nişastanın jelatinleşmesi, hücre duvarlarının parçalanması ve antinutrisyonel faktörlerin inaktivasyonu sağlanmalıdır.

Tahıllar ve tahıl benzerleri, gıda üretiminde bileşen olarak kullanılmadan önce genellikle bir boyut küçültme veya öğütme işlemine tabi tutulur. Bu öğütme işlemi sırasında, hücresel yapılar parçalanır ve protein matrisinin hidrolitik enzimlere maruziyeti artar. Bu sebeple fiziksel boyut küçültme işlemlerinin genellikle protein sindirilebilirliğini artırdığı bildirilmiştir (Joye, 2019).

- **Isı ve Basınç Uygulamaları**

Proteinlerin sindirilebilirliği genellikle termal denatürasyonla birlikte artış göstermektedir (Swaisgood ve Catignani, 1991). İşlem koşullarına ve protein tipine bağlı olarak, proteinler hidrolitik enzimler için peptid zincirinin daha yüksek erişilebilirliğine yol açabilmektedir. Isıl işlem yoluyla artırılmış sindirilebilirliğe Barampama ve Simard (1994) tarafından yapılan, fasulye proteinlerinin sindirilebilrliğine etkisini araştırdıkları çalışma örnek gösterilebilir. Araştırma sonçlarına göre ısıl işlem uygulamasının protein sindirilebilirliğini artırdığı bildirilmiştir.

Diğer taraftan, proteinlerin açılması sonunda agregat oluşumuna neden olarak protein sindirilebilirliğini bozabilir. Isıl işlemler sırasında sorgum proteinleri arasında disülfid bağlarının oluşumunun daha düşük protein sindirilebilirliğine yol açtığı bildirilmiştir (Annor vd., 2017; Carbonaro vd., 2000). Annor vd. (2017) tarafından yürütülen araştırma ayrıca, *in vitro* koşullar altında sindirilebilirlik kaybının, proteinler arasındaki hidrofobik etkileşimler tarafından tetiklendiğini göstermiştir. Isıl işlemlerin protein sindirilebilirliği üzerinde etkisi düzenli bir artış veya azalış eğilimi göstermemiştir. Tripsin inhibitörlerinin ısı ile

inaktivasyonunun proteinlerin sindirilebilirlik skorlarını olumlu yönde etkilemesi beklenirken diğer yandan ısıl işlemle tetiklenen protein denatürasyonu ve ardından agregasyon protein sindirilebilirliğini azaltıcı yönde etki göstermektedir (Gilani vd, 2012).

pH, iyonik kuvvet ve ürünün bileşimi, ısıl işlemlerin protein konfigürasyonu ve sindirilebilirlik üzerindeki etkisi üzerinde belirleyici olmaktadır. Baklagil ve buğday gluten proteinleri ile zenginleştirilmiş ve farklı sıcaklıklarda kurutulan makarna ürünleri, yüksek sıcaklıklarda kurutmanın amino asit biyoyararlanımının azalmasına neden olabileceğini göstermiştir. Maillard reaksiyonları dahil yapısal protein modifikasyonları, bu azalmış biyoyararlanımın temelinde yatmaktadır (Laleg vd., 2019). Disülfür bağı oluşumunun yanı sıra, protein açısından zengin gıdanın ısıyla işlenmesi, lizin ile glutamik veya aspartik asit arasında kovalent izopeptit bağlarının oluşumunu da tetikleyebilmektedir. Reaksiyonlar lizin içeriğinde net bir azalmaya yol açsa da, izopeptit bağlarının hidrolizi mümkün olmaktadır. Bu lizin biyoyararlanımında azalma öngörülmez. Bununla birlikte, izopeptit bağları yoluyla aşırı çapraz bağlanma, sonunda protein zincirinin sindirim enzimlerine erişilebilirliğini azaltabilir (Swaisgood ve Catignani, 1991).

- **Fermantasyon ve Çimlenme**

Fermantasyon ve çimlenme sırasında çok sayıda hidrolitik enzimin sentezlendiği bilinmektedir (Nkhata vd., 2018). Protein sindirilebilirliği; kabuk ayırma, çimlenme, fermantasyon aşamalarının katkısı ile artırılabilir. İşleme sırasında antinutrisyonel bileşen seviyeleri azalır ve protein degradasyonu ile protein ekstrakte edilebilirliği artar (Annor vd., 2017). İndirgeyici ajanların mevcudiyetinin, disülfid çapraz bağları üzerindeki etkisiyle protein sindirilebilirliğini arttırdığı da gösterilmiştir. Fermantasyonun fitik asit ve tripsin inhibitörleri aktivitesini azaltmada oldukça etkili olduğu bildirilmiştir (Fagbemi vd., 2005). Ayrıca, fermantasyon sırasında pH düşüşü ile birlikte peptidazların enzim aktivitesinin artması sonucu protein çözünürlüğündeki artış meydana geldiği bildirilmiştir (Ogodo vd., 2019).

- **Ekmek Yapma Süreci**

Ekmek yapımı; hidrasyon, fermantasyon ve ısıl işlem proseslerini içeren, özellikle ekşi hamur fermantasyonu ile hamurun pH değerlerinde de önemli azalmaya neden olan prosedüre sahiptir. Wu vd. (2017); gluten içeren ve glutensiz unlar kullanarak ekmek yapımı sırasında protein sindirilebilirliğini araştırdıkları çalışma sonuçlarına göre protein sindirilebilirliğinin fermantasyon sırasında arttığı, pişirme sırasında ise azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Köstekli ve Karakaya (2017) farklı tahıl unları, hamur ve ekmek örneklerinde tripsin ve kimotripsin inhibitörü aktivitelerinin seviyelerini araştırdıkları çalışma bulgularına göre; tripsin inhibitör aktivitesi fermantasyon ve pişirme işlemi ile azalırken, tam buğday ürünlerinde kimotripsin inhibitör aktivitesi artmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde gıda işlemenin protein sindirilebilirliği üzerindeki etkisi, işlem koşullarına bağlı olarak artırıcı veya azaltıcı yönde olmaktadır. Protein sindirilebilirliği, incelenen proteine ve çevresine özgü farklı faktörlerin bir kombinasyonundan etkilenmektedir. Sindirilebilirliğin artırılması üzerine literatür çalışmaları özellikle fermantasyonunun olumlu etkileri üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Tüm bu literatür bilgileri ışığında ekşi hamur fermantasyonunun son ürüne sağladığı yapısal ve nutrisyonel özelliklerin oldukça çeşitli ve tüketici beklentisini karşılayacak yönde olduğu görülmektedir. Nişasta sindirilebilirliğini kısıtlaması ile kan şekerinde regülasyon sağlaması, minerallerin biyoerişebilirlik düzeylerinde artış ve protein sindirilebilirliğininde artış sağlması ekşi hamurun fırıncılık ürünlerinde kullanımını cazip hale getirmektedir. Son dönemde ise ekşi hamur kullanımının sağlık etkileri üzerine olan araştırmalar fırıncılık ürünlerinde tuzun azaltılması, ekmekte beta-glukan düzeyinin korunması, irritabl barsak sendromunun yönetimi, fenolik bileşiklerin metabolizması ve serbest aminoasit konsantrasyonunda artış konularında yoğunlaşmıştır. Ekşi hamurun sağlık üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar için farklı fermantasyon koşullarının kullanılacağı araştırmaların *in vivo* ve *in vitro* korelasyonlarının değerlerlendirilerek sürdürülmesi gelecek beklentileri arasındadır.

3
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

İki farklı tipte un (ekmeklik buğday unu ve tam buğday unu) yerel üretici Akınsoy Gıda Sanayi'den ve içme suyu Pınar Su ve İçecek Sanayi'den tedarik edilmiş olup bu araştırmada materyal olarak kullanılmıştır. *Lactobacillus brevis* ELB99, *Lactiplantibacillus plantarum* ELB75 (önceki adı *Lactobacillus plantarum*) ve *Saccharomyces cerevisiae* TGM55 saf kültürleri Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği kültür koleksiyonundan tedarik edilmiştir.

Çalışmada kullanılan kimyasallar:

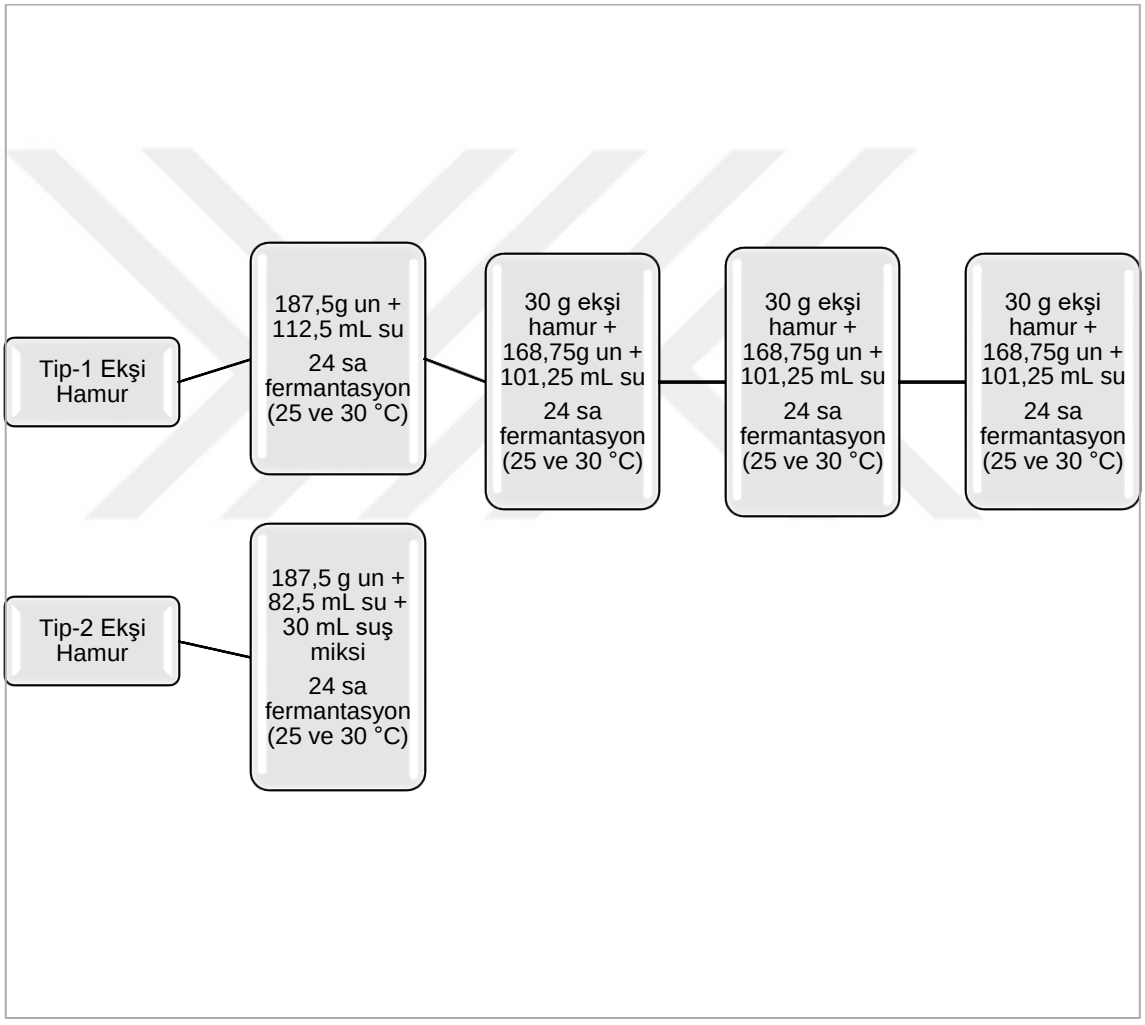
İnvertaz (300 U/mL), ısıya dayanıklı α- amylase (3000 U/mL), amiloglukozidaz (3330 U/mL) ve glukoz oksidaz peroksidaz (GOPOD) Megazyme (Wicklow, İrlanda)'dan tedarik edilmiştir. Pepsin (250 U/mL), pankretain (8 × USP), proteaz ve guar gum Sigma-Aldrich. (St. Louis, MO, ABD)'den tedarik edilmiştir. K2SO4, Na_2SO_4, NaOH, TiO_2, $CuSO_4$, H_2SO_4, HCl ve NaOAc Tekkim (Türkiye)'den, MRS agar (de Man, Ragosa ve Sharpe) ve SD agar (Sabouraud dekstroz) ve hekzan Merck, Darmstadt, Almanya)'dan tedarik edilmiştir.

3.2 Yöntem

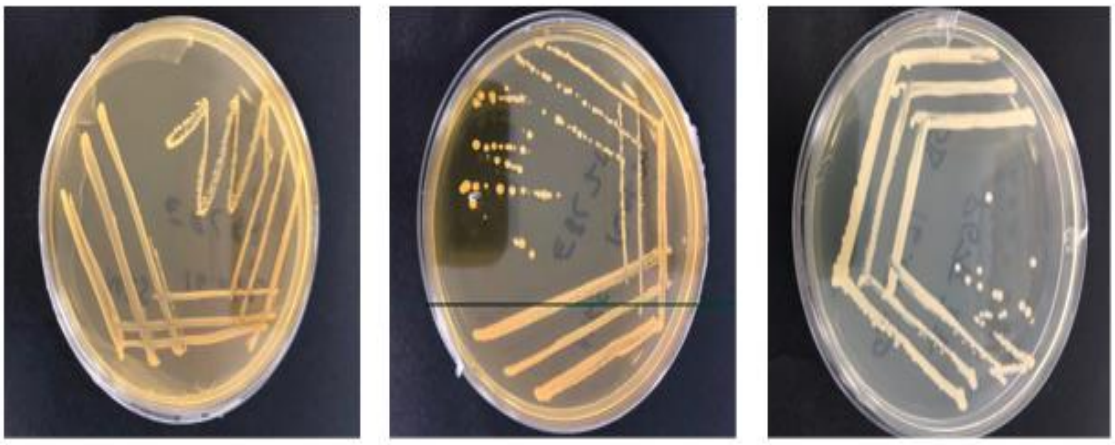
3.2.1 Ekşi Hamur Üretimi

Tip-1 ekşi hamur; 187,5 g un (ekmeklik buğday unu ve tam buğday unu) ve 112,5 mL içme suyu ile hazırlanan hamurun 25°C'de 24 saat ve 30°C'de 24 saat fermente edilmesi ile başlayıp, bu hamurun 3 kez un ve su ile beslenerek fermantasyon sürecinin devam etmesi ile elde edilmiştir (Her besleme; 30 g ekşi hamur, 168,75 g un ve 101,25 mL içme suyu ile hazırlanan hamuru tarif etmektedir).

Tip-2 ekşi hamur eldesinde Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği kültür koleksiyonundan tedarik edilen *Lactobacillus brevis* ELB99, *Lactiplantibacillus plantarum* ELB75 ve *Saccharomyces cerevisiae* TGM55 saf kültürleri kullanılmıştır. Kültürler aktifleştirildikten sonra 30 mL kültür karışımı halinde, 187,5 g un (ekmeklik buğday unu ve tam buğday unu), 82,5 mL içme suyu ile karıştırılarak hamur elde edilmiştir. Elde edilen hamur 25 °C ve 30 °C sıcaklık koşullarında 24 saat fermente edilmiştir. Ekşi hamur üretimi aşamaları Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Tip-1 ve tip-2 ekşi hamur üretimi akış diyagramı



Şekil 3.2 Saf kültürlerin katı besiyerinde gelişim görüntüleri (Soldan sağa sırasıyla *Lactobacillus brevis* ELB99, *Lactiplantibacillus plantarum* ELB75 ve *Saccharomyces cerevisiae* TGM55)

3.2.2 Ekşi Hamur Karakterizasyonu

3.2.2.1 Toplam Laktik Asit Bakterisi ve Maya Tespiti

Ekşi hamurun mikrobiyolojik özellikleri Bottani vd. (2018) yöntemine göre belirlenmiştir. Fermantasyonun başlangıcında ve bitiminde alınan 10 g hamur numunesi 90 mL steril fizyolojik tuzlu su ile homojenize edilmiş besiyerlerine ekim yapmak üzere dilüsyon serisi hazırlanmıştır. LAB sayımı için MRS agara yayma yöntemi kullanarak ekim yapılmış ve 37°C'de 48 sa inkübe edilmiştir; maya sayımı için ise SD agara yayma yöntemi ile ekim yapılmış ve 30°C'de 48 sa inkübe edilmiştir. Sonuçlar log kob/g olarak ifade edilmiştir.

3.2.2.2 Ekşi Hamurda pH ölçümü ve Toplam Titre Edilebilir Asitlik

Ekşi hamurlarda pH ölçümleri pH metre (HANNA HI2211, Almanya) aracılığı ile yapılmıştır. Toplam titre edilebilir asitlik (TTA) ekşi hamurun 0,1M NaOH ile pH 8,3 değerine ulaşana kadar titrasyonu ile belirlenerek 0,1 mol equi/L NaOH/10g hamur olarak ifade edilmiştir (Bottani vd., 2018).

3.2.3 Ekmek Yapımı

Ekmek yapımı için AACCI, 10-10.03 ekmek yapma metodu modifiye edilerek kullanılmıştır (AACCI, 2010). Madde 3.2.1'de açıklanan yöntemle elde edilen ekşi hamurlara un, su, ve tuz ilavesi yapılarak ekmek hamuru elde edilmiştir. Ekmek hamuru hazırlanırken ekşi hamur %30 oranında ilave edilmiştir. Ekmek hamuru; hamur yoğurma makinasında (Arzum AR1066, Türkiye) un, tuz ve ekşi hamurun 6 dk süre ile yoğurulması ile elde edilmiştir. Elde edilen hamurlar 160 g tartılmış ve ekmek tavalarına alınarak öncelikli olarak 30 dk oda koşullarında bekledikten sonra 30°C- %75 nem koşullarında çalıştırılan iklimlendirme kabininde (Nuve TK252, Türkiye) 2 saat fermente edilmiştir. Pişirilmeden hemen önce ekmek örneklerinin görseli Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Üst sıcaklığı 215°C, alt sıcaklığı 190°C olan fırında (Fimak, Türkiye) 45 dk süresince pişirilen ekmeklerin 2 saat soğuma süresi ardından fiziksel analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.3 Ekmek tavalarında fermantasyon sonrası ekmek hamuru

in vitro analizlere hazırlamak üzere ekmekler laboratuvar değirmeninde (PX-MFC 90 D, Kinematica, Malters, İsviçre) öğütülüp homojen hale getirilerek analiz türüne göre 4°C ve -20°C sıcaklıklarda muhafaza edilmiştir.

Kontrol ekmeği olarak ise ekşi hamur ilave edilmeden iki farklı un tipinde (ekmeklik buğday unu ve tam buğday unu) temel ekmek yapma metoduna göre hazırlanmıştır (AACCI, 2010). 100 g un, 2 g instant maya, 1,5 g tuz ve içme suyu (unların su absorbsiyon kapasitelerine göre 61,4 mL ve 64,1 mL; sırasıyla ekmeklik buğday unu ve tam buğday unu için) ile hazırlanan ekmek hamuru 30 dk kitle fermantasyonuna tabi tutulduktan sonra 160 g tartılmış ve ekmek tavalarına alınarak öncelikli olarak 30 dk oda koşullarında bekletilmiş ve sonrasında 30°C-%75 nem koşullarında çalıştırılan iklimlendirme kabininde (Nuve TK252, Türkiye) 45 dk fermente edilmiştir.

Ekmeklik buğday unu ve tam buğday unu ile hazırlanan kontrol ekmekleri sırası ile kb ve ktb olarak kodlanmıştır. Ekşi hamur ekmeklerine ait kodlama ise Tablo 3.1'de ifade edilmiştir.

Tablo 3.1 Ekşi Hamur örneklerine ait kodlama

Fermantasyon tipi	Fermantasyon sıcaklığı	Materyal	Örnek kodu
Tip-1	25°C	Ekmeklik buğday unu	1b25
		Tam buğday unu	1tb25
	30°C	Ekmeklik buğday unu	1b30
		Tam buğday unu	1tb30
Tip-2	25°C	Ekmeklik buğday unu	2b25
		Tam buğday unu	2tb25
	30°C	Ekmeklik buğday unu	2b30
		Tam buğday unu	2tb30

3.2.4 Ekmek Örneklerinde Kompozisyon Analizleri

3.2.4.1 Nem Tayini

Nem tayini için AOAC 925.10 numaralı yöntem kullanılmıştır (AOAC, 2005). Önceden sabit tartıma getirilmiş kaplara yaklaşık 2 g örnek tartılmış ve 135 °C etüvde 2 saat kurutulmuştur. Analiz sonucu denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\%\text{nem} = \frac{\text{örnek miktarı (g)} - \text{kurutulmuş örnek miktarı (g)}}{\text{örnek miktarı (g)}} \text{x}100 \qquad (3.1)$$

3.2.4.2 Kül Tayini

Toplam kül miktarı tayini AOAC 923.03 yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir(AOAC, 2005). Ağırlığı bilinen krozeler içine yaklaşık 3g örnek tartılmıştır. Krozeler 250 °C'de 1 saat, 550 °C'de 1,5 saat ve 900 °C'de kapak tam kapalı şekilde küller gri-beyaz renkli oluncaya dek yaklaşık 3 saat süresince kül fırınında (Wise Therm FH-03, Kore) bekletilmiştir.

Analiz sonucu denklem 3.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$\%\text{kül} = \frac{\text{kül miktarı (g)}}{\text{örnek miktarı (g)}} \text{x}100 \qquad (3.2)$$

3.2.4.3 Yağ Miktarı Tayini

Toplam yağ miktarı tayini AOAC 922.06 yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (AOAC, 2005). Yağ miktarı tayini için yaklaşık 3 g örnek tartılmış ve yağ tayin cihazı (Gerhardt Soxtherm, Almanya) ile 200 °C'de çalıştırılmıştır. İşlem sonucunda evoporatöre alınan çözgen uçurulmuştur. Analiz sonucu denklem 3.3'e göre hesaplanmıştır.

$$\%\text{yağ} = \frac{\text{yağ miktarı (g)}}{\text{örnek miktarı (g)}} \text{x}100 \qquad (3.3)$$

3.2.4.4 Protein Tayini

Protein miktarı tayini AOAC 920.87 metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir (AOAC, 2005). Yaklaşık 1 g örnek yakma tüpüne alınmış, üzerine katalizör (Potasyum sülfat (K_2SO_4), sodyum sülfat (Na_2SO_4), titanyum oksit (TiO_2) ve bakır

sülfat ($CuSO_4$) karışımlarını içeren tablet) ve 25 mL derişik H_2SO_4 eklenmiştir. Yakma işlemine açık yeşil renk görüldükten sonra 30 dk daha devam edilmiş, soğuduktan sonra destilasyon aşamasına geçilmiştir (BehrDistillation Unit-S5, Almanya). Destilat 0,2 N HCl çözeltisi ile titre edilmiştir. Titrasyon aşamaları sonundaki sarfiyata göre toplam azot denklem 3.4'e göre hesaplanmıştır. % protein miktarı ise tahıllar için proteine çevirme faktörü olan 5,70 katsayısı ile örneğin azot miktarı çarpımı sonucunda hesaplanmıştır.

$$\%\text{Azot} = \frac{(V2-V1)\text{mL xNx0,014}}{\text{örnek miktarı (g)}}\text{x100} \qquad (3.4)$$

V1: kör için 0,2 N HCl sarfiyatı (mL)

V2: örnek için 0,2 N HCl sarfiyatı (mL)

N: Normalite

3.2.4.5 Toplam Diyet Lifi Tayini

Toplam diyet lifi; örneklerin enzimatik olarak α-amilaz, proteaz ve amiloglukozidaz ile sindirilmesi ile (AOAC 985.29) analiz edilmiştir. Analiz sonucu denklem 3.5'e göre hesaplanmıştır.

$$\%\text{Toplam diyet lifi} = \frac{\text{M1(g)}-\text{M2 (g)}}{\text{örnek miktarı (g)}}\text{x100} \qquad (3.5)$$

M1: Analiz sonrası kalıntı miktarı

M2: Analiz sonrası protein ve kül miktarı

Sindirilebilir karbonhidrat miktarı (g/100g) ise; protein, yağ, nem, kül ve diyet lifi miktarından çıkartılarak bulunmuş ve ekmek örneklerinin enerji miktarı denklem 3.6'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Enerji (kkal)= (karbonhidratx4)+(proteinx4)+(yağx9)+(diyet lifix2)} \qquad (3.6)$$

3.2.5 Ekmek Örneklerinde Fiziksel Analizler

3.2.5.1 Hacim Ölçümü

Ekmekte hacim ölçümü; kolza tohumu yer değiştirme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Hacmin ağırlığa oranı ile spesifik hacim hesaplanmıştır (AACC,2003).

3.2.5.2 Renk Ölçümü

Ekmeklerde renk ölçümü kabuk kısmı ve iç kısmın 3 farklı noktasından renk ölçer (Konica Minolta, CR-100, Japonya) kullanılarak yapılmıştır. Kromatik koordinatlar (L*, a*, b*) her numunede yapılan ölçümlerin ortalaması olarak değerlendirilmiştir (Torrieri vd., 2014). L* değeri 0' dan 100'e beyazlığı, a* değeri pozitif değerde kırmızı rengi, negatif değerde yeşil rengi, b* değeri pozitif değerde sarı, negatif değerde mavi rengi ifade etmektedir.

3.2.5.3 Tekstür Profil Analizi

Ekmekte tekstür analizi Gambaro vd. (2002) yöntemine göre sertlik, dirençlilik, yapışkanlık, elastikiyet ve çiğnenebilirlik olmak üzere beş parametre üzerinden değerlendirilmiştir. Ekmek örnekleri 1,25 cm kalınlıkta dilimlenmiş iki dilim örnek tekstür profil analizeri (TPA) (SMS TA.XT2 Plus, İngiltere) kullanılarak 5 kg yük hücresi ve 36 mm çaplı silindirik sıkıştırma probu koşullarında sıkıştırma testine tabi tutulmuştur. Analize ait görsel şekil 3.4'de sunulmuştur.



Şekil 3.4 Tekstür profil cihazı

3.2.5.4 Termal Özelliklerin Belirlenmesi

Ekmek örneklerinin retrogradasyon davranışlarını belirlemek üzere DSC (TA Q10, TA Instruments, ABD) kullanılmıştır. 4°C'de muhafaza edilen ekmeklerden 1.gün ve 5.günlerine ait 8-10 mg örnek alınarak tavalara yerleştirilmiştir. Torrieri vd. (2014) metoduna göre örnekler 10°C/dk ısıtma hızıyla 20°C'den 200°C'ye ısıtılarak termogramları elde edilmiş; başlangıç (T0), pik (Tp) ve son (Ts) sıcaklıkları ile pikin altında kalan alandan entalpi değerleri (ΔH) hesaplanarak termogramlar değerlendirilmiştir.

3.2.6 Duyusal Analiz

Duyusal değerlendirme Rizzello vd. (2014) tarif ettikleri yöntemin modifiye edilmesi ile 11 panelist tarafından yapılmıştır. Ekmek örnekleri pişirme sonrası soğuduktan sonra yaklaşık 1,5 cm^3 boyutlarında kesilerek her bir paneliste aynı kodlu ekmek örneğinden 2 parça servis edilmiştir. Renk özelliği, gözenek yapısı, asit tat ve aroma, tuzluluk ve genel lezzet özelliği, tekstür özellikleri (çiğnenebilirlik, elastikiyet, yapışkanlık, dirençlilik) ve genel beğeni olmak üzere belirlenen parametreler 1-5 (en düşük puan 1; en yüksek puan 5) değerleri arası puanlamaya sunulmuştur. Duyusal analize hazırlanan ekmek örnekleri Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Nihai değerlendirme panelistler tarafından verilen puanların ortalaması olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.5 Duyusal analize hazırlanan ekmek örnekleri

3.2.7 Ekmekte *in vitro* Glisemik İndeks Belirlenmesi

Ekmek örneklerinde *in vitro* glisemik indeks tayini için Englyst vd. (1999) yöntemi modifiye edilerek kullanılmıştır. Prosedüre göre; 1 g öğütülmüş ekmek numunesi 5 mL saf su ile homojen hale getirilmiş ve numune üzerine pepsin-guar gum çözeltisi ilave edilerek ve 37°C'de 30 dk inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası sodyum asetat ile pH değeri 5'e getirilmiş ve enzim solüsyonu (pankreatin ve amiloglukozidaz) ilave edilerek 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. 20, 30, 60, 90, 120. ve 180. dk'larda 0,5 mL örnek alınarak ısıl işlemle denatürasyon sağlanmıştır. Sonrasında test tüpleri içinde yer alan örnek hacmi 5 mL'ye tamamlanarak 4000xg 5 dk koşullarında santrifüj işlemi uygulanmıştır. Örnekler GOPOD (Megazyme Int. İrlanda) ilavesi ile 50°C'de 20 dk inkübe edildikten sonra 510 nm dalga boyunda spektrofotometrik yöntem (Optima, SP300nano, Itabashi, Tokyo) kullanılarak absorbans değerleri elde edilmiştir.

Ekmek örneklerinin 0-180 dk arasındaki glukoz salımlarının zamana karşı grafiğinin altında oluşan alan standart olarak satın alınan beyaz ekmeğe ait grafiğin altında kalan alan ile oranlanarak hidroliz indeksi hesaplanmıştır. Glisemik indeks (GI) değerleri ise aşağıda yer alan denklem (3.7)'ye göre hesaplanmıştır (Goni vd., 1997).

$$GI = 39{,}71 + 0{,}549 \times HI \qquad (3.7)$$

3.2.8 Ekmekte Nişasta Fraksiyonlarının Belirlenmesi

Toplam nişasta tayini için 0,1 g öğütülmüş ekmek numunesi etil alkolle homojenizasyonu sonrası 2 M potasyum hidroksit ve 1,2 M sodyum asetat ile muamele edilmiştir. Örnekler amilaz ve amiloglukozidaz enzimlerinin ilavesi ile 50°C'de 30 dk inkübe edilmiş ve santrifüj işleminden sonra sıvı kısım ile deneye devam edilmiştir. Örnekler GOPOD ilavesi ile 50°C'de 20 dk inkübe edildikten sonra 510 nm dalga boyunda spektrofotometrik yöntem (Optima, SP300nano, Itabashi, Tokyo) kullanılarak elde edilen absorbans değerlerinden sonuçlar hesaplanmıştır.

$$TN\ (g/100\ g) = G_{TN} \times F \times 0{,}9 \times 100) / W \qquad (3.8)$$

Yavaş sindirilen (YSN) ve hızlı sindirilen nişasta (HSN) tayini madde 3.2.7'de tarif edilen yönteme göre inkübasyonun 20. ve 120. dklarındaki ortama salınan glukoz miktarının spektrofotometrik yöntem (Optima, SP300nano, Itabashi, Tokyo) ile elde edilen absorbans değerlerinden aşağıda yer alan denklem (3.9) ve (3.10)'a göre hesaplanmıştır.

$$HSN\ (g/100\ g) = (G20 \times 0{,}9 \times F \times 100)/W \quad (3.9)$$

$$YSN\ (g/100\ g) = ((G120 - G20) \times 0{,}9 \times F \times 100))/W \quad (3.10)$$

G_{TN}: Toplam nişasta analizinde serbest kalan glukozun absorbansı

G20: 20 dk'lık inkübasyondan sonra serbest kalan glukozun absorbansı

G120: 120 dk'lık inkübasyondan sonra serbest kalan glukozun absorbansı

F: 100/ GOPOD absorbansı

W: tartılan örnek miktarı (mg)

0,9: monosakkaritlerin polisakkaritlere dönüşüm kat sayısı

Dirençli nişasta (DN) tayini ise AOAC 2002.02 Metodu ile AACC 32-40 Metodu esas alınarak geliştirilen analiz kiti kullanılarak tespit edilmiştir. Bu yöntemde 37°C'de α-amilaz ve amiloglukozidaz varlığında 16 saat inkübe edilen örneklerden ilk aşamada dirençli olmayan nişasta çözünüp ve glukoza parçalanmıştır. Dirençli nişasta ise santrifüj işlemi sonrasındaki çöküntü kısmından elde edilmiş olup, etanolle yıkama ve potasyum hidroksit içinde çözme gibi aşamalardan sonra amiloglukozidaz enzimi ile glukoza hidrolize edilmiştir. Örnekler GOPOD ilavesi ile 50°C'de 20 dk inkübe edildikten sonra 510 nm dalga boyunda spektrofotometrik yöntem ile elde edilen absorbans değerlerinden sonuçlar denklem (3.11)'a göre hesaplanmıştır.

$$DN\ (\%) = (\Delta E1 \times F)/W \times 9{,}2 \quad (3.11)$$

ΔE1: kör numuneye karşı okunan absorbans (dirençli nişasta için)

F: 100/GOPOD absorbansı

W: [tartılan numune miktarı x (100-nem içeriği) x 100]

3.2.9 Ekmekte *in vitro* Protein ve Mineral Biyoerişilebilirliğinin Belirlenmesi

Ekmek örneklerinde *in vitro* protein biyoerişilebilirliğinin belirlenmesi için Pasini vd. (2001) tarafından geliştirilen prosedürün modifikasyonu ile 5 g örnek üzerine 17 mL 0,05 N HCl ilave edilerek karıştırılmıştır. pH 1,5-2 olacak şekilde ayarlandıktan sonra örnek başına 26 mg 3000 U pepsin ilave edilerek 37°C'de 30 dk inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası örneklere 0,1 M fosfat tamponu ile pH 7'ye ayarlanmış ve örnek başına 5 mg 8 USP pankreatin ilave edilerek 37°C'de 2 saat inkübe edilmiştir. Sindirim trikloroasetik asit (TCA) ilavesi ile durdurulmuştur. Santrifüj işleminden (10000xg – 5 dk) sonra sıvı kısım uzaklaştırılmış ve sindirilmeyen kısımda (pelletde) kjeldahl metodu ile nitrojen içeriği tespit edilmiştir. Protein biyoerişilebilirliği denklem (3.12)'ye göre hesaplanmıştır.

%Protein biyoerişilebilirliği= (100-sindirim sonrası protein miktarı)/ (toplam protein miktarı)x100 (3.12)

in vitro mineral biyoerişilebilirliği için ise *in vitro* protein biyoerişilebilirliğinden farklı olarak, yukarıda tarif edilen yöntemde 17 mL 0,05 N HCl ilavesinden hemen önce 0,05 mL α-amilaz ilave edilerek analize başlanmış ve diğer basamaklar yukarıda tarif edildiği şekilde uygulanmıştır. Santrifüj sonrası elde edilen pelletde (çözünmeyen mineral miktarını tespit etmek üzere) Garcia-Mantrana vd. (2014) yöntemine göre mineral içerği toplam Fe, Ca ve Zn konsantrasyonu olarak plazma atomik emisyon spektrofotometresinde (Shimadzu, ICPE-9000, Japonya) belirlenmiştir. Sindirim işlemi öncesi ve sonrasındaki mineral madde miktarını belirlemek üzere 0,5 g örnek teflon kaplara tartılmış, 7 mL %65 HNO_3 ve 1 mL %35 H_2O_2 ilave edilerek mikrodalga fırında (Milestone, Start D, Avusturya) 1200W; 15 dk süresinde 200 °C'ye ısıtma; 200 °C- 15 dk bekletme ve 10 dk ventilasyon şartları uygulanmıştır. Sindirim sonrası ekmek örneklerinde mineral biyoerişilebilirliği denklem (3.13)'e göre hesaplanmıştır.

% Mineral biyoerişilebilirliği= (sindirim sonrası mineral konsantrasyonu/ toplam mineral konsantrasyonu)x100 (3.13)

3.2.10 Amino Asit Profilinin Belirlenmesi

Ekmeklerde toplam amino asit profilini belirlemek için AOAC 982.30 (Horwitz ve Latimer, 2006) yöntemi modifiye edilerek kullanılmıştır. 1 g örnek; 20 mL 6N hidroklorik asit ilavesi ile 110°C'de 24 sa süresince anaerobik koşullarda hidroliz edilmiştir. Hidroliz sonrası örnek filtre kâğıdı ile süzülmüştür. Süzüntüden 0,2 mL alınarak azot gazı altında 50°C'de uçurulmuş ve üzerine 0,5 mL asetonitril ilave edilerek uçurma işlemi tekrarlanmıştır. İşlem sonrasında deney tüpü içindeki kalıntıya 0,5 mL asetonitril, metanol, trietilamin karışımı ve 0,1 mL türevlendirme çözeltisi ilave edilerek 40°C'de 30 dk süresince türevlendirme işlemi uygulanmıştır. Azot gazı altında 40°C'de uçurma işlemi uygulandıktan sonra 0,2 mL asetonitril ilave edilerek uçurma işlemi tekrarlanmıştır. Kalıntı son olarak 5 mL 0,02 M amonyum asetat çözeltisi ile muamele edilmiş ve 0,2 µm membran filtre ile süzülerek Ultra hızlı sıvı kromotografisi (UFLC, Shimadzu, Japonya) cihazında analiz edilmiştir. Yukarıda tarif edilen hidroliz işlemi tirptofan tespitine uygun olmadığı için ayrı bir yöntem olarak örneklere 20 mL 5N NaOH ilave edilerek 110°C'de 24 sa süresince anaerobik koşullarda hidroliz edilmiştir. Hidrolizatlar 0,1 M sodyum fosfat tamponu ile muamele edilmiş ve pH 6,3'e ayarlanmıştır. Son hacim 100 mL'ye tamamlanmış ve 0,45 µm membran filtre ile süzülerek Ultra hızlı sıvı kromotografisi (UFLC, Shimadzu, Japonya) cihazında analiz edilmiştir. Amino asit profili Phenemonex (00G-4454-E0 Gemini-NX 5u C18 110A, 250 x 4.6 mm) kolon kullanılarak belirlenmiştir.

Amino asit profiline göre örneklere ait protein etki oranı (PER) denklem 3.14'e göre belirlenmiştir (Coda vd., 2017; Ihekoronye vd., 1981).

$$PER = -0{,}468 + ((0{,}454x\ \text{Lösin}) - (0{,}105x\ \text{Tirozin})) \quad (3.14)$$

Nutrisyonel indeks (NI) değeri ise denklem 3.15'e göre hesaplanmıştır (Coda vd., 2017; Crisan ve Sands, 1978).

$$NI = (EAAx\ (\%)\ \text{Protein})/100 \quad (3.15)$$

EAA: Esansiyel amino asit miktarı (mg/100g örnek)

3.2.11 Ekmekte *in vivo* Glisemik İndeks Tayini

Uluslararası ISO 26642 (ISO, 2010) Glisemik İndeks Tespit Standardı'na göre *in vivo* glisemik indeks tayini yapılmıştır. Bu metoda göre 18-45 yaşları arasında 40 sağlıklı yetişkin gönüllü birey seçilmiş ve antropometrik ölçümleri yapılmıştır.

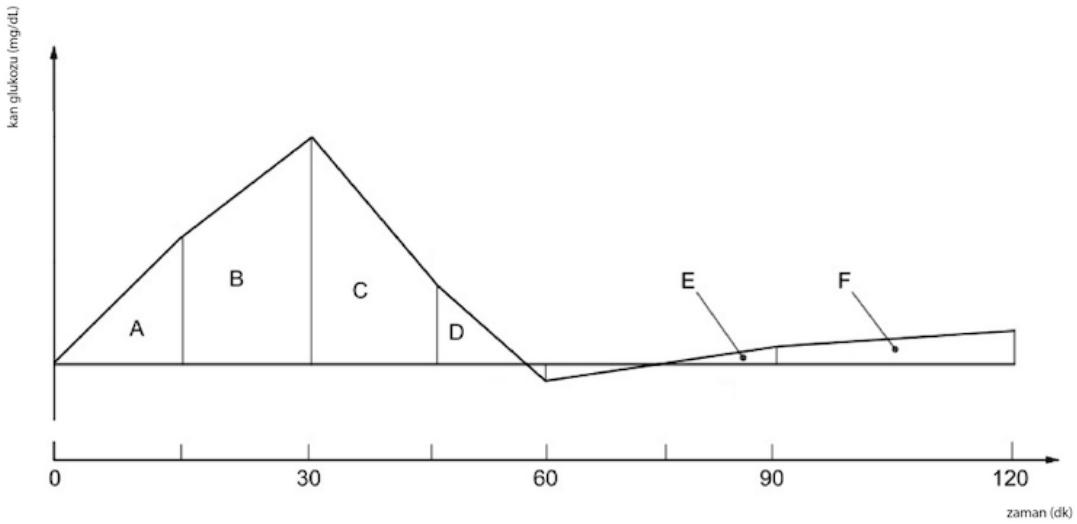
Antropometrik ölçümler için çalışmaya katılan gönüllü bireylerin çalışma öncesi boy uzunluğu (cm), vücut ağırlığı (kg), beden kütle indeksi (BKİ) (kg/m2), ölçümleri alınmış ve vücut yağ bileşimlerini belirlemek için biyoelektirik impedans yöntemi ile ölçüm yapan tartı (Tanita BC 418, Japonya) kullanılmıştır. BKI, denklem (3.16)'ya göre hesaplanmıştır.

$$\text{BKI= vücut ağırlığı (kg)/boy uzunluğu (m}^2\text{)} \qquad (3.16)$$

İlk ölçüm 12 saat açlık sonrası glukoz çözeltisi tüketimi sonrası yapılmıştır. Sonrasındaki her ölçüm 50'şer gram sindirilebilir karbonhidrat içeren 1 çeşit ekmeğin gönüllü bireylere üçer gün ara ile farklı günlerde ve 12 saat açlık sonrası tükettirilmesi ile yapılmıştır. Bireylerin test gıdalarını tüketmeden önce 0. dk ve ilk lokmadan 15 dk, 30 dk, 45 dk, 60 dk ve 90 dk ve 120 dk sonra kapiller kan glukoz ölçümleri glukometre (Accu Chek Performa, Roche, İsviçre) kullanılarak yapılmış ve ekmeklere ait glisemik indeks değerleri glukoza göre hesaplanmıştır.

Besinlerin GI değerlerinin saptanması amacıyla yapılan çalışma süresince toplanan kan örneklerinde glukoz miktarı saptandıktan sonra zamana karşı grafik çizilerek glisemi eğrisi elde edilmiştir. Glisemi eğrisinin altındaki alan artırımsal alan yöntemine göre hesaplanmıştır (ISO,2010).

Artımsal alan; açlık kan glukoz düzeyinin üzerindeki glisemi eğrisinin altındaki alan olup, açlık düzeyinin altındaki alanların ihmal edilmesiyle hesaplanmıştır.



Şekil 3.7 Kan glukozunun zamana karşı miktarı ile elde edilen glisemi eğrisi (ISO,2010)

Hesaplamada aşağıda gösterilen denklem (3.17) kullanılmıştır.

$$GI\ (Test\ gıdası) = Alan\ TG / Alan\ RG \quad (3.17)$$

Alan TG: Test gıdasına ait kan glukozunun zamana karşı grafiği altındaki alan
Alan RG: Referans gıdaya ait kan glukozunun zamana karşı grafiği altındaki alan

in vivo yöntemle glisemik indeks tayini 4 farklı ekmek (1b30, 1tb30, kb ve ktb) için uygulanmıştır. Gönüllülerin kan glukoz ölçümlerine ait görsel Şekil 3.8'de yer almaktadır.



Şekil 3.8 Test gıdası tüketen bireylerin kapiller kan glukoz ölçümleri

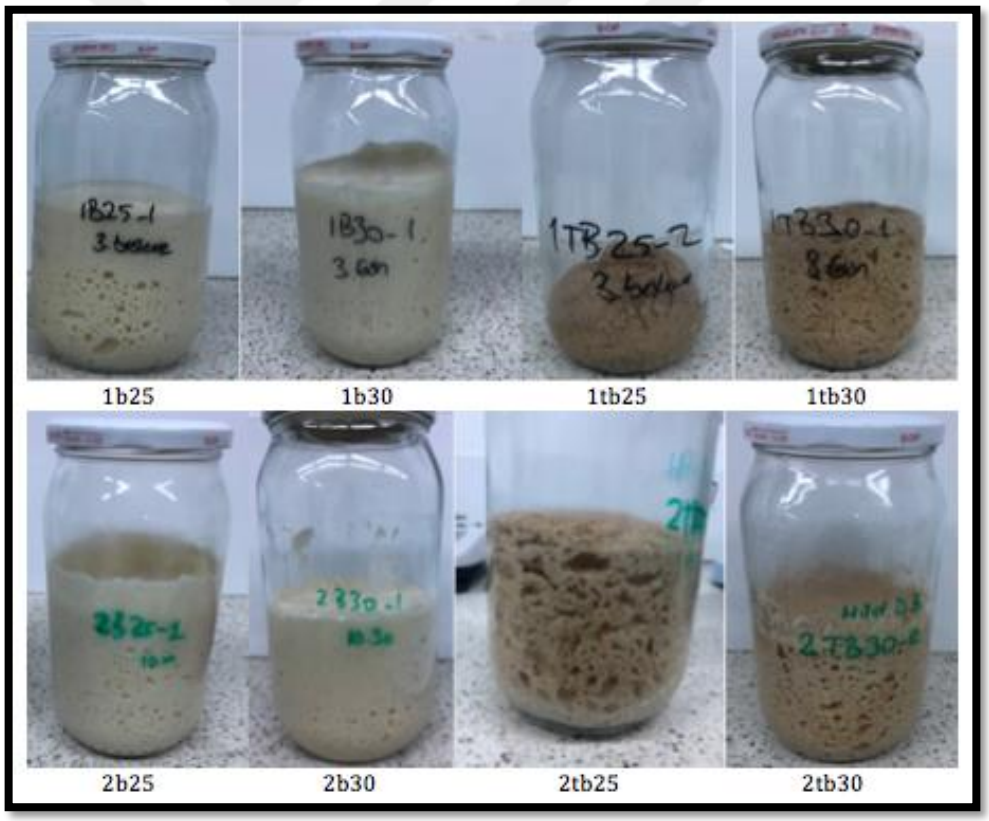
3.2.12 İstatistiki Analizler ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Araştırma verileri iki işlem tekrarı ile elde edilen örneklerin iki paralelli analizi ile elde edilmiştir. Tüm hamur ve ekmek örnekleri 2 tekerrürlü üretilmiştir. Uygulamalar arasındaki önemli farklılıklar, iki yönlü varyans analizi (ANOVA; $p<0,05$ Tukey çoklu karşılaştırma testi) kullanılarak değerlendirilmiş ve sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. Tüm istatistiksel analizler için SPSS 24. versiyon istatistik programı (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) kullanılmıştır.

4
BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Ekşi Hamura Ait Özellikler

Tip-1 fermantasyon yöntemi kullanarak elde edilen ekşi hamur, hamurun un ve suyla üç kez beslenmesi ile birlikte toplam 96 saat sonunda elde edilirken; tip-2 fermantasyon yöntemi ile ekşi hamur, suş miksinin hamura ilavesi sonrası 24 saat fermantasyonu ile elde edilmiştir. Her iki fermantasyon yöntemi ile (tip-1 ve tip-2), iki farklı sıcaklık koşulu (25 ve 30 °C) ve iki farklı un tipi (ekmeklik buğday unu ve tam buğday unu) kullanılarak elde edilen ekşi hamurlara ait görseller Şekil 4.1'de, bulgular ise Tablo 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1 Ekşi hamurlara ait görseller

Tablo 4.1 Fermantasyon tipi ve sıcaklığın ekşi hamurun mikrobiyolojik özellikleri ve pH üzerindeki etkisi*

		LAB (log kob/g)		Maya (log kob/g)		pH	
	Örnek	**0.saat**	**96.saat**	**0 .saat**	**96.saat**	**0.saat**	**96.saat**
Tip-1	**1b30**	2,60±0,14Ba	9,57±0,05Ba	< 2Ba	< 2Ba	6,19±0,01Ab	3,87±0,02Ab
	1b25	3,04±0,05Ba	9,08±0,11Bb	< 2Ba	< 2Ba	6,29±0,01Aa	3,98±0,00Aa
	Örnek	**0.saat**	**24.saat**	**0 .saat**	**24.saat**	**0.saat**	**24.saat**
Tip-2	**2b30**	9,28±0,23Aa	11,59±0,11Aa	6,80±0,12Aa	7,99±0,04Aa	5,91±0,00Ba	3,83±0,01Ab
	2b25	9,18±0,03Aa	10,20±0,27Ab	6,76±0,15Aa	7,38±0,06Ab	5,93±0,02Ba	3,97±0,03Aa

Tablo 4.1 Fermantasyon tipi ve sıcaklığın ekşi hamurun mikrobiyolojik özellikleri ve pH üzerindeki etkisi* (devamı)

	Örnek	0.saat	96.saat	0 .saat	96.saat	0.saat	96.saat
Tip-1	1tb30	3,18±0,08Ba	9,36±0,12Ba	3,23±0,06Ba	< 2Ba	6,32±0,03Ab	3,98±0,00Ab
	1tb25	< 2Bb	9,26±0,09Ba	3,08±0,08Ba	< 2Ba	6,47±0,02Aa	4,12±0,03Aa
	Örnek	**0.saat**	**24.saat**	**0 .saat**	**24.saat**	**0.saat**	**24.saat**
Tip-2	2tb30	9,08±0,12Aa	11,56±0,04Aa	6,72±0,02Aa	7,59±0,04Aa	6,22±0,00Bb	4,00±0,01Ab
	2tb25	8,74±0,07Ab	10,11±0,19Ab	6,53±0,08Aa	7,30±0,21Aa	6,32±0,00Ba	4,18±0,01Aa

* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-b:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05).

Tip-1 fermantasyon yöntemine göre hazırlanan hamurların 0.saatte LAB içerikleri <2 log kob/g (<100 kob/g) ile 3,18 log kob/g değerleri arasında tespit edilmiştir. Ekmeğe %30 oranında katılmış olan tip-1 ekşi hamurun LAB miktarı ise 9,08 ile 9,57 log kob/g arasında bulunmuştur. Üç kez un ve su ile besleyerek uygun sıcaklıkta bekletme sonrasında 1b30 LAB miktarı 9,57 kob/g değerine ulaşmıştır. 1tb30 kodlu örnekte LAB miktarı 9,36 kob/g olarak tespit edilirken, maya sayımı laktik asit bakterilerinin gelişmesi ile baskılanarak <2 log kob/g olarak bulunmuştur. 1b25 kodlu ekşi hamurda LAB miktarı 9,08 kob/g olarak tespit edilmiş, maya miktarı başlangıç hamuruna göre değişiklik göstermemiştir. 1tb25 kodlu örnekte başlangıçta LAB saptanamazken fermantasyon sonrası 9,26 log kob/g olarak tespit edilmiştir, maya miktarı ise 1tb30 ile benzer şekilde baskılanarak <2 log kob/g olarak tespit edilmiştir. Saf suşların ilavesi ile hazırlanan tip-2 fermantasyon yönteminde ise başlangıç hamurlarında LAB içerikleri 8,74 ile 9,28 log kob/g arasında bulunmuştur. Fermantasyon sonrası 25°C'de elde edilen hamurlarda bu düzey 10,11 log kob/g (2tb25) ve 10,20 log kob/g (2b25) ulaşırken 30°C'de gerçekleşen fermantasyonda 11,56 log kob/g (2tb30) ve 11,59 log kob/g (2b30) düzeyine ulaşmıştır. 0.saatte maya içerikleri incelendiğinde 6,53 ile 6,80 log kob/g arasında değişkenlik göstermektedir. Tip-2 yöntemle elde edilen ekşi hamurun maya miktarı ise fermantasyon sıcaklığından etkilenmeksizin ortalama olarak 1 log kob/g artmıştır. Hamurun mikrobiyolojik özellikleri ve pH değerleri Tablo 4.1'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1 incelendiğinde ise 0. saat olarak tanımlanan başlangıç hamuruna ait pH değerlerinin 5,91 ve 6,47 arasında değiştiği görünmektedir. Buğday unu ve tam buğday unundan hazırlanan hamurlar karşılaştırıldığında tam buğday unlarının pH değerleri daha yüksek bulunmuştur. Tip-1 ekşi hamur 3 besleme sonrası toplam 96 saatte elde edilmiş ve tip-2 ekşi hamur; saf külterlerin hamura inokulasyonundan 24 saat sonra elde edilmiştir. Tablo 4.1'de yer alan pH 96. saat ve 24. saat sütunları sırasıyla tip-1 ve tip-2 yöntemleri için ekşi hamurda yapılan ölçümleri ifade etmektedir. Tüm ekmek örnekleri için ekşi hamurların pH değerleri incelendiğinde 3,83 ve 4,18 arasında olduğu gözlenmektedir. Ekşi hamur literatüre

de uygun olacak şekilde pH 4,00±0,20 değerlerinde ekmeğe ilave edilmiştir (Yildirim ve Arici, 2019).

4.2 Ekmek Örneklerinin Kimyasal Kompozisyonu

Ekmek örneklerinin kimyasal kompozisyonu Tablo 4.2'de gösterilmektedir. Fermantasyon tipi ve sıcaklık koşulları ekmek örneklerinin kimyasal kompozisyonu üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Ekşi hamur ekmekleri incelendiğinde tam buğday unu ile hazırlanan ekmek örneklerinde kül müktarı literatür ile benzerlik göstererek ekmeklik buğday unu ile hazırlanan ekmeklerden daha yüksek bulunmuştur. Ekmeklik buğday unu ile hazırlanan örneklerin kül değerleri 0,84 ile 1,46 g/100g örnek aralığında tespit edilirlen, tam buğday ekmekleri 1,28 ile 1,97 g/100g kül içeriğine sahiptir. Diyet lifi içeriği fermantasyon sıcaklığı, ekşi hamur ve un tipleri farklılığından etkilenerek değişkenlik göstermiştir. Tip-1 fermantasyonda sıcaklık artışı ile birlikte diyet lifinde artış gözlenirken, tip-2 fermantasyonda sıcaklık artışı diyet lifi miktarını azaltıcı etki göstermiştir. Ekşi hamur fermantasyonunun diyet lifi miktarında artış sağladığı literatür çalışmaları tarafından da doğrulanmaktadır (Mihhalevski vd., 2013; De Angelis vd., 2009). Ekmek örneklerinin enerji değerleri; içermiş olduğu diyet lifi miktarı ile ters orantılı olarak değişkenlik göstermektedir. Ekşi hamur fermantasyonunun her iki tip ve sıcaklık değerlerinde örneklerin enerji değeri üzerinde etkili olduğu gözlenirken ($p<0,05$), fermantasyon koşulları ile enerji değerleri arasında doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır.

Tablo 4.2 Ekmek örneklerinin kimyasal kompozisyonu*****

Örnek	Nem (g/100g)	Kül (g/100g)	Protein (g/100g)	Yağ (g/100g)	Toplam Diyet Lifi (g/100g)	Enerji (kkal)
1b30	30,4±0,36Aa	0,84±0,03Bb	8,9±0,03Bc	1,48±0,01Ab	12,43±0,15Aa	257,59±1,78Bbc
1b25	31,2±1,06Aa	1,39±0,04Aa	9,84±0,01Aa	1,23±0,00Bc	11,47±0,17Ab	252,89±4,07Bc
kb	30,08±0,25a	1,33±0,00da	9,15±0,02b	1,88±0,03a	9,23±0,18c	265,30±0,51a
2b30	26,61±0,18Bb	1,43±0,01Ab	9,03±0,03Ab	1,35±0,01Bc	6,48±0,25Bb	281,65±0,27Aa
2b25	30,04±0,06Aa	1,46±0,04Ab	8,37±0,03Bc	1,69±0,06Ab	9,3±0,25Ba	263,85±0,74Ab
kb	30,08±0,25a	1,33±0,00a	9,15±0,02a	1,88±0,03a	9,23±0,18a	265,30±0,51b
1tb30	30,8±0,14Ac	1,78±0,08Aa	8,99±0,01Ac	1,72±0,01Ac	17,76±0,28Aa	242,74±0,87Bb
1tb25	32,81±0,08Bb	1,64±0,04Bb	9,27±0,07Ab	1,87±0,02Abc	12,37±0,10Ac	246,79±0,26Ba
ktb	34,7±0,25a	1,28±0,01c	9,46±0,02a	2,02±0,01a	16,65±0,42b	232,90±1,77b
2tb30	28,24±0,09Bc	1,97±0,02Aa	8,68±0,01Bc	1,76±0,04Ac	11,95±0,03Bb	264,10±0,61Aa
2tb25	31,23±0,18Bc	1,90±0,01Aa	8,89±0,01Ab	1,77±0,01Bb	8,87±0,17Bc	258,53±0,98Ab
ktb	34,7±0,25a	1,28±0,01b	9,46±0,02a	2,02±0,01a	16,65±0,42a	232,90±1,77c

* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-c:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05)

4.3 Ekmek Örneklerinin Fiziksel Özellikleri

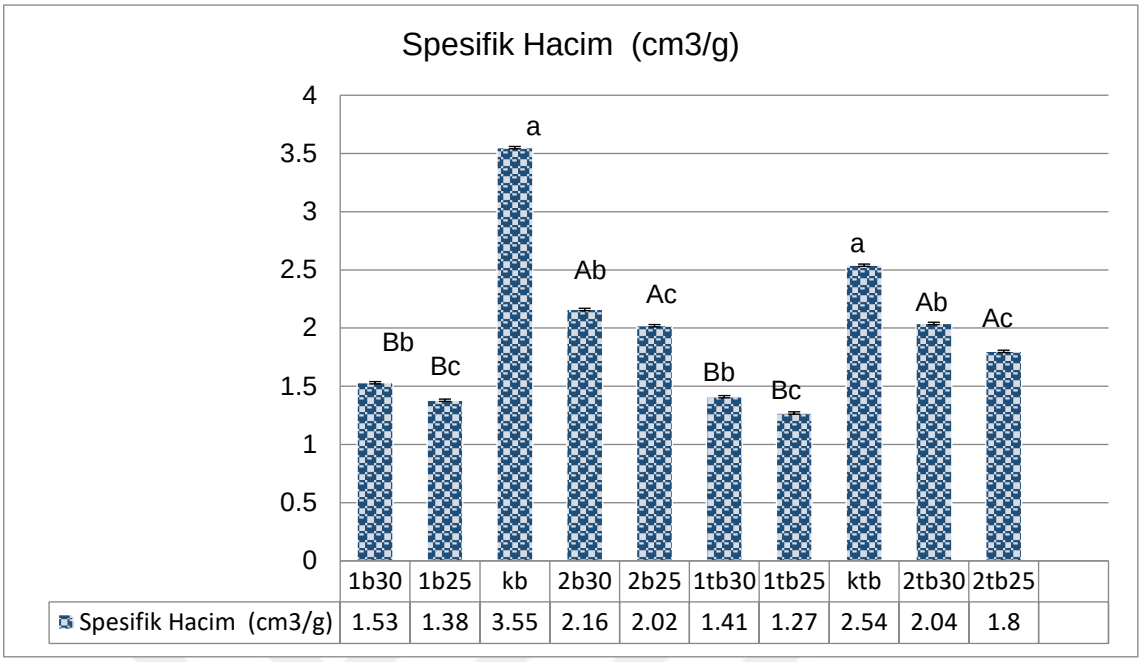
4.3.1 Tekstür Özellikleri ve Spesifik Hacim

Ekmek örneklerinin TPA özellikleri Tablo 4.3'de, spesifik hacim değerleri Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

Tablo 4.3 Ekmek örneklerine ait tekstürel değerler*

Örnek	Sertlik (N)	Elastikiyet	Yapışkanlık	Çiğnenebilirlik	Dirençlilik
1b30	27,98±0,74Ab	0,92±0,03Ab	0,76±0,00Bb	19,60±0,46Ab	0,42±0,01Bb
1b25	47,24±0,29Aa	0,89±0,00Bb	0,76±0,02Bb	28,00±0,58Aa	0,45±0,01Bab
kb	5,37±0,44c	1,30±0,09a	0,84±0,00a	5,89±0,13c	0,49±0,00a
2b30	10,71±0,22Bb	0,97±0,01Ab	0,87±0,01Aa	9,02±0,14Bb	0,52±0,03Aa
2b25	12,74±0,51Ba	1,13±0,02Aab	0,87±0,00Aa	12,30±0,03Ba	0,55±0,00Aa
kb	5,37±0,44c	1,30±0,09a	0,84±0,00a	5,89±0,13c	0,49±0,00ab
1tb30	45,78±0,01Ab	0,75±0,00Ab	0,60±0,01Bb	20,29±1,00Aa	0,26±0,02Bb
1tb25	54,25±0,56Aa	0,75±0,01Bb	0,54±0,02Bc	21,87±0,66Aa	0,24±0,00Bb
ktb	19,02±1,70c	0,92±0,01ab	0,73±0,01a	12,83±1,25b	0,36±0,01a
2tb30	25,35±1,60Bb	0,87±0,02Aab	0,74±0,01Aa	16,23±0,5Bb	0,38±0,01Aa
2tb25	33,63±0,79Ba	0,87±0,01Aa	0,73±0,00Aa	21,21±0,59Aa	0,38±0,00Aa
ktb	19,02±1,70c	0,92±0,01ab	0,73±0,01a	12,83±1,25dc	0,36±0,01a

* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-d:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05).



Şekil 4.2 Ekmek örneklerinin spesifik hacim değerleri

Her iki sıcaklık değerlerinde de elde edilen ekşi hamur kullanılarak hazırlanan tam buğday ekmeklerinin spesifik hacimleri ekmeklik buğday unu ile hazırlanan ekmeklere göre belirgin olarak daha düşük iken sertlik değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Ekmeklik buğday unu ile hazırlanan ekmek örneklerinin dirençlilik değerleri Coda vd. (2017)'nin buğday unu ile yapmış olduğu ekşi hamur ekmeğinde bildirilen değer olan 0,4 ile benzerlik göstermektedir. Bu un tipi ile elde edilen ekmeklerde ekşi hamur ilavesinin her iki fermantasyon tipinde de sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerindeki düşüş önemli bulunmuştur (p<0,05). Tip-1 ve tip-2 fermantasyon tipleri incelendiğinde aynı tip için sıcaklık artışının sertlik ve çiğnenenebilirlik değerlerinde azalma eğilimi olduğu dikkat çekmektedir.

Tam buğday unu ile elde edilen ekmeklerde tip-1 ve tip-2 ekşi hamur fermantasyonunun etkisi incelendiğinde sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinde artış gözlenirken, yapışkanlık, dirençlilik ve elastikiyet değerlerinde azalma sağlamaktadır. 25°C'de tip-1 fermantasyon yöntemi ile elde edilen ekmekler diğer ekmek örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek sertlik ve çiğnenebilirlik değerleri ile en düşük elastikiyet, yapışkanlık ve dirençlilik değerleri bu koşullarda

elde edilen örneklere ait olarak bulunmuştur. Sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinde artış Alba vd (2017) yapmış olduğu araştırma sonuçlarında da bildirilmiştir. Siepmann vd. (2019) yapmış oldukları araştırma sonuçlarına göre de ekşi hamur ilavesi ile elde edilen ekmeklerde fermantasyon sıcaklığındaki artış ile birlikte sertlik değeri artmaktadır. Ekşi hamur fermentasyoununa farklı sıcaklık değerlerinin etkilerini inceledikleri araştırmaya göre Yıldırım ve Arıcı (2019) sıcaklık 25°C'den 35°C'ye doğru yükseldikçe sertlik değerlerinde de önemli bir artış bildirmişlerdir.

Ekşi hamur ekmeklerinin tekstüründe gluten önemli bir rol oynamaktadır. LAB tarafından üretilen laktik asit hidrolize neden olarak gluten proteininin çözülebilirliğini artırmaktadır. Bazı LAB suşları tarafından üretilen ekzopolisakkaritler; ekmek tekstrürüne etki eden diğer bir önemli faktördür. Fermantasyon ile birlikte meydana gelen asitlik artışının etkisiyle glutende meydana gelen fizikokimyasal değişimlerin ekmeğin tektürel özellikleri üzerinde etkili olabileceği bildirilmiştir (Begnini Siepmann vd., 2018).

Ekşi hamur ekmeklerinin elastikiyet, yapışkanlık ve dirençlilik değerleri kontrol ekmekleri ile kıyaslandığında, ekşi hamur ilavesinin bu değerlerde düşüşe sebep olduğu anlaşılmaktadır. Spesifik hacim değerleri tip-1 ekşi hamur ekmeği sonuçları ile karşılaştırıldığında; tip-2 ekşi hamur ekmeğinin beklenen şekilde daha yüksek spesifik hacme sahip olduğu anlaşılmaktadır. Formülasyona ilave edilen saf kültürler spontan fermantasyona göre ekmek örneklerinde daha fazla hacim artışı sağlamıştır. İki un tipi için de sıcaklık değerinin artması spesifik hacimde artış meydana getirmiştir. Ticari maya kullanılarak elde edilen kontrol ekmekleri (kb ve ktb) ise en yüksek spesifik hacme sahip olarak belirlenmiştir.

4.3.2 Ekmek Örneklerinin Renk Değerleri

Ekmek örneklerinin renk değerleri (L*, a*, b*) Tablo 4.4'de ve Tablo 4.5'de sunulmuştur.

Tablo 4.4 Ekmek örneklerinin kabuk renk özellikleri*

Örnek	Kabuk rengi		
	L*	a*	b*
1b30	75,21±0,09Aa	-0,81±0,57Bb	25,02±1,13Bc
1b25	61,87±0,54Ab	6,81±0,65Ba	34,96±0,39Aa
kb	61,93±0,98b	5,64±0,13a	30,82±0,31b
2b30	61,70±1,20Ba	10,26±0,99Aa	29,53±0,83Aa
2b25	57,10±0,80Ab	10,33±1,01Aa	28,81±3,39Bab
kb	61,93±0,98a	5,64±0,13b	30,82±0,31a
1tb30	62,34±1,38Aa	3,82±0,39Bc	26,2±0,23Ab
1tb25	41,98±0,45Bc	10,46±0,51Aa	20,12±0,47Bb
ktb	57,16±0,73b	7,43±0,06ab	27,83±0,47a
2tb30	48,33±0,05Ab	9,87±0,55Abc	24,45±0,12Ab
2tb25	47,96±0,29Ab	11,03±0,55Aa	23,15±0,56Ab
ktb	57,16±0,73a	7,43±0,06c	27,83±0,47a

* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-b:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05).

Tablo 4.5 Ekmek örneklerinin iç kesit renk özellikleri*

Örnek	İç rengi		
	L*	a*	b*
1b30	66,76±0,42Aa	-2,92±0,19Ab	19,68±0,47Aa
1b25	65,2±0,34Aa	-3,23±0,12Ab	19,04±0,43Aa
kb	45,90±1,12b	9,72±1,36a	20,71±2,25a
2b30	67,98±0,44Aa	-3,39±0,05Ab	19,38±0,00Aa
2b25	65,81±0,36Aa	-3,44±0,03Ab	17,40±0,51Aa
kb	45,90±1,12b	9,72±1,36a	20,71±2,25a
1tb30	51,12±0,40Ba	3,85±0,12Ab	20,40±0,02Ab
1tb25	51,9±0,49Aa	3,46±0,28Ab	20,32±0,29Ab
ktb	50,23±0,36a	9,57±0,04a	26,39±0,96a
2tb30	56,09±0,18Aa	3,47±0,10Ab	21,53±0,20Ab
2tb25	57,86±0,33Aa	2,77±0,15Ab	20,39±0,04Ab
ktb	50,23±0,36b	9,57±0,04a	26,39±0,96a

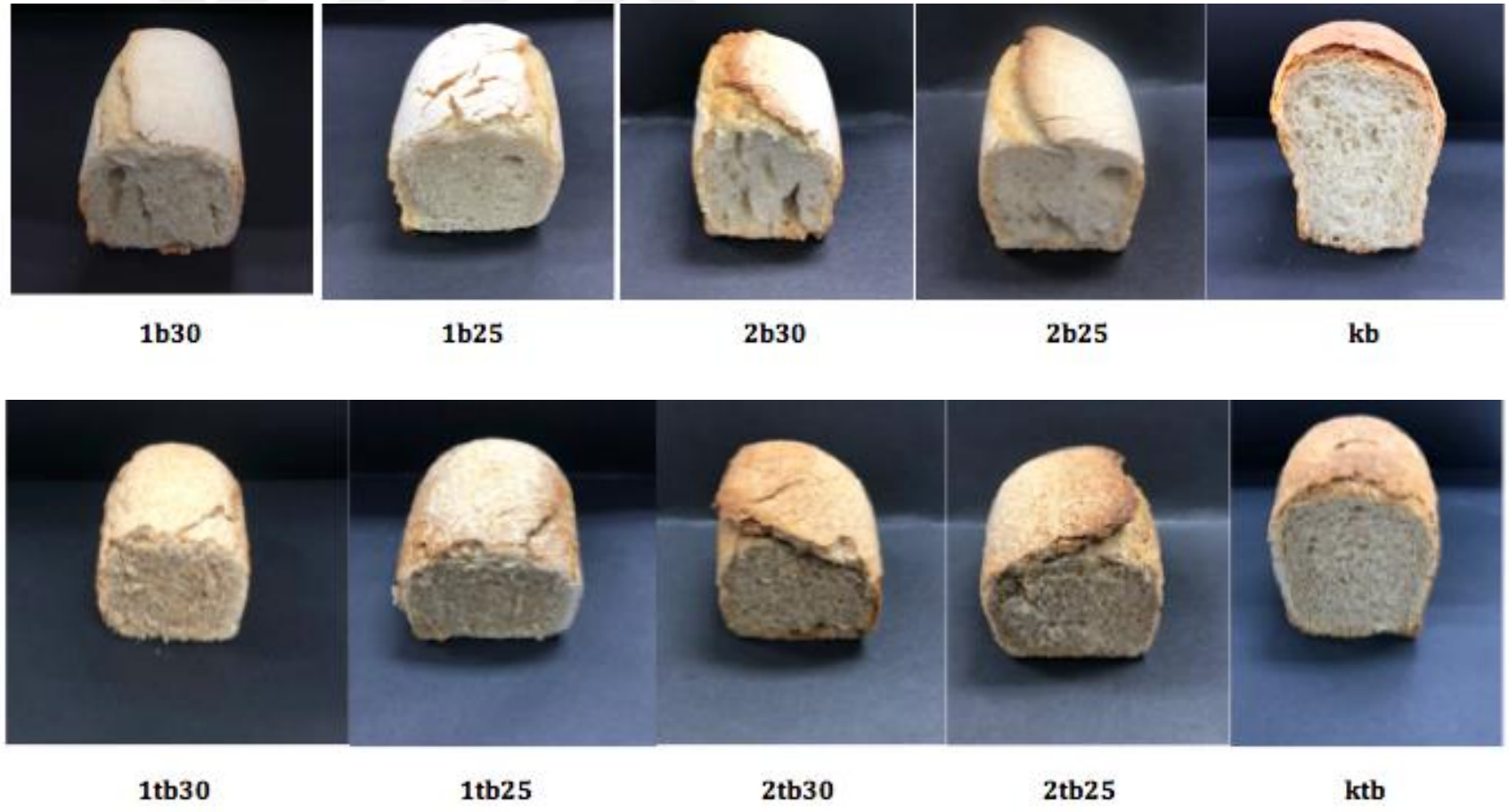
* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-b:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05).

Tablo 4.4'e göre ekmeğin kabuk rengine ait L* değerleri 41,98 ile 75,21 arasında değişkenlik göstermektedir. L* değeri 0' dan 100'e beyaz rengi ifade etmektedir. Un tipine göre ekmekler karşılaştırıldığında tam buğday ile hazırlanan ekmeklerin; ekmeklik buğday unundan hazırlanana göre daha düşük L* değerine sahip olduğu görülmektedir. Ekmeklik buğday unu kullanılarak kullanılan ekmeklerde fermantasyon tipi ve sıcaklık kabuk rengini önemli ölçüde etkilemiştir (p<0,05). Tip-1 fermantasyon ve 30°C sıcaklık değeri, tip-2 fermantasyon ve 25°C koşulları ile karşılaştırıldığında daha yüksek L* değerine sahiptir. Ekmeğin iç rengine ait L* değeri ise ekmeklik buğday unu ile elde edilen ekmeklerde 45,90 ve 67,98 arasında değişirken tam buğday unu ile elde edilen ekmeklerde 50,23 ile 57,86 arasında değişmektedir. Her iki un tipinde de en düşük değerler kontrol ekmeklerine ait olarak bulunmuştur. Ekmeklik buğday unu ile hazırlanan ekmeklerde ekşi hamur

ilavesi; fermantasyon tipi ve sıcaklığından etkilenmeksizin L* değerini artırmıştır. Tam buğday unu kullanarak elde edilen ekmeklerde tip-2 fermantasyon 30°C koşullarında tip-1 fermantasyon yöntemine göre daha yüksek L*değeri elde edilmiştir.

Ekmek kabuk renginin değerlendirilmesinde kırmızılık ölçütü olan a* değeri önemli bir parametre olarak kabul edilir (Yildirim and Arici, 2019). Pozitif değerde kırmızı rengi, negatif değerde yeşil rengi ifade eden a* değeri; tip-2 fermantasyonda sıcaklıktan etkilenmezken tip-1 fermantasyonda 25°C sıcaklık değeri ile karşılaştırıldığında 30°C sıcaklık uygulmasında daha yüksek bulunmuştur. Ekmeklik buğday unu ile elde edilen ekmeklerde -0,81 ile 10,33 arasında değişirken tam buğday unu ile elde edilen ekmeklerde 3,82 ile 11,03 değerleri arasında değişkenlik göstermiştir. Ekmek örneklerinin iç rengine ait a* değerleri ise ekmeklik buğday unu ile elde edilen ekmeklerde -2,92 ile 9,72 arasında bulunmuştur. Kontrol ekmeği olan ktb kodlu ekmek ile kıyaslandığında sıcaklık ve fermantasyon koşullarından etkilenmeksizin ekşi hamur ilavesi a* değerlerini negatif değerlere değiştirmiştir. Tam buğday ekmekleri için de benzer bulgular elde edilerek ekşi hamur ilavesinin örneklerin a* değerlerini düşürdüğü fakat bu azalmada fermantasyon tipi ve sıcaklık değerinin etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p> 0,05).

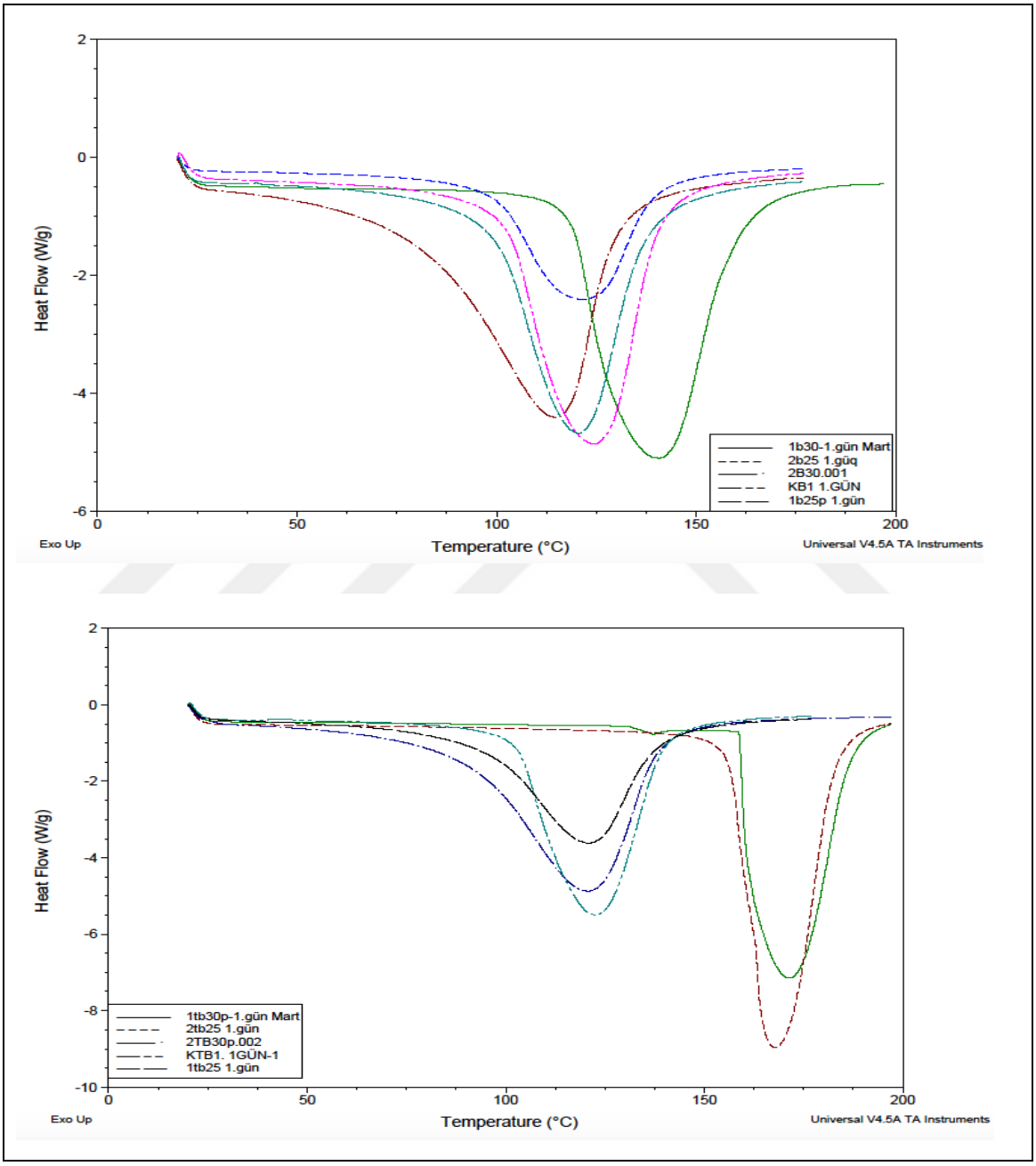
b* değeri ise pozitif değerde sarı, negatif değerde mavi rengi ifade etmektedir. Kabuk rengine ait bulgulara göre, ekmeklik buğday unu ile hazırlanan örneklerde en yüksek b* değeri 1b25 kodlu örneğe ait iken en düşük değer 1b30 kodlu örneğe aittir (sırasıyla 34,96 ve 25,02). Tam buğday unu ile hazırlanan örneklerde bu değer en yüksek ktb kodlu kontrol ekmeğine ve en düşük değer ise 1tb25 kodlu ekmeğe ait olarak tespit edilmiştir (sırasıyla 27,83 ve 20,12). İç renge ait b* değerleri incelendiğinde ise ekmeklik buğday unu ile hazırlanan ekşi hamur ekmeklerinde fermantasyon ve sıcaklık koşullarının etkisi önemsiz bulunmuştur (p>0,05). Tam buğday unu ile hazırlanan örneklerde de benzer şekilde fermantasyon tipi ve sıcaklıktan etkilenmeksizin ekşi hamur ilavesi; kontrol ekmeğine kıyasla b* değerlerinde düşüş meydana getirmiştir.



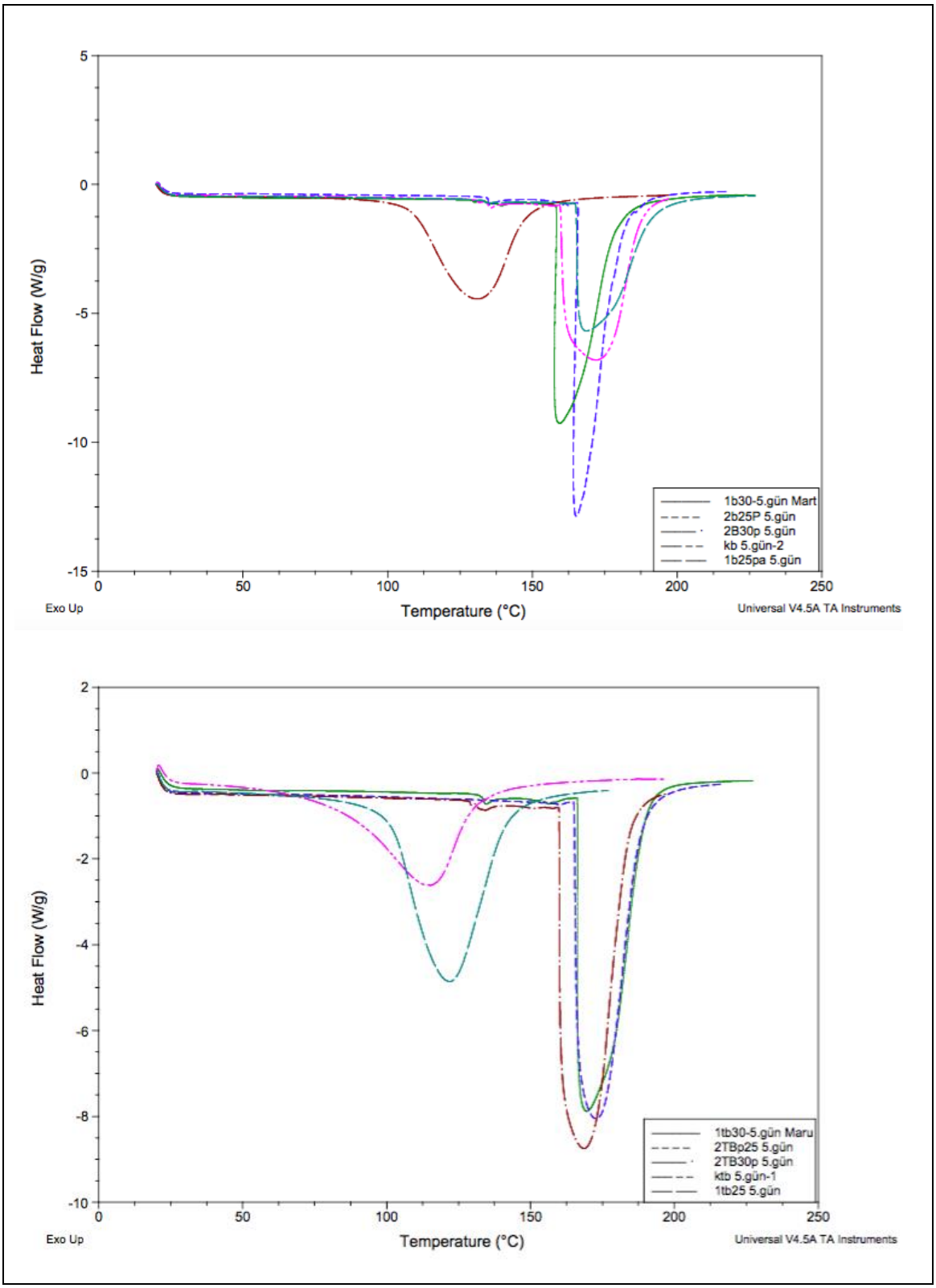
Şekil 4.3 Ekşi hamur ekmekleri ve kontrol ekmeklerine ait görseller

4.3.3 Ekmek Örneklerinin Termal Özellikleri

Ekmek örneklerinin termal özellikleri; 1. gün ve 5. günlerde numune alınarak diferansiyel taramalı kalorimetre (TA Q10, ABD) ile belirlenmiş, elde edilen sonuçlar Tablo 4.6'da, örneklere ait DSC termogramları ise Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'de gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Ekşi hamur ekmeklerinin ve kontrol ekmeğinin 1. gün DSC termogramı



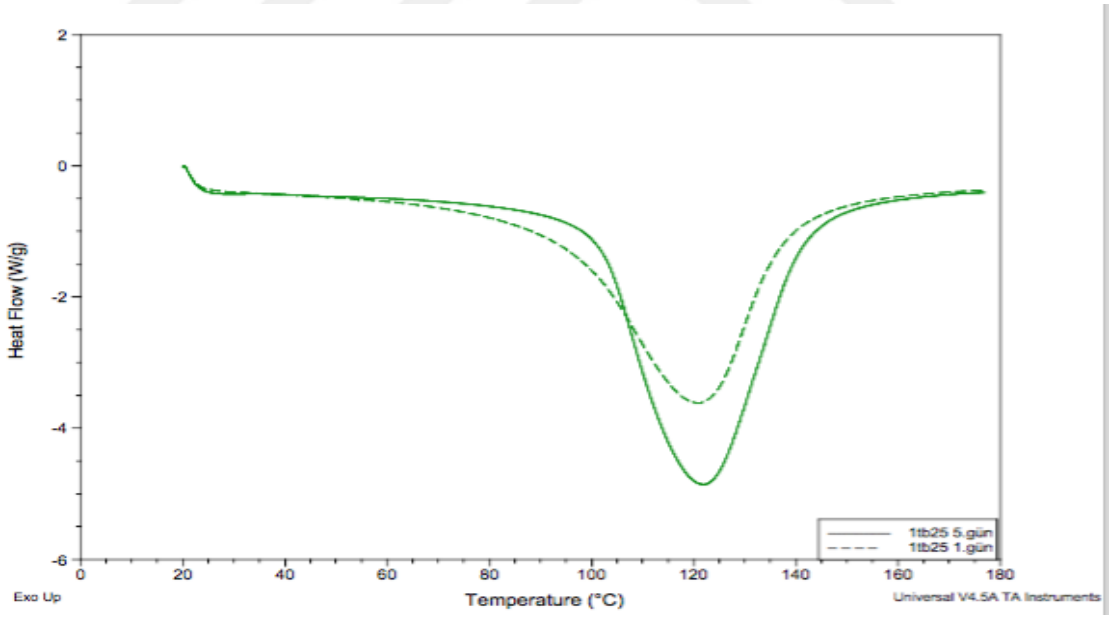
Şekil 4.4 Ekşi hamur ekmeklerinin ve kontrol ekmeğinin 5. gün DSC termogramı

Tablo 4.6 Ekmek örneklerinin termal özellikleri*

Örnek	T0	Tp	Ts	ΔH (j/g)	T0	Tp	Ts	ΔH (j/g)
			Endoterm-1.gün				**Endoterm-5.gün**	
1b30	98,74±1,19Aa	139,93±1,10Aa	182,67±1,42Aa	808,62±2,78Aa	160,32±3,67Ab	164,59±5,05Aa	196,13±1,18Ab	728,9±6Ab
1b25	78,96±0,77Ac	119,98±0,66Bc	158,93±0,53Bb	652,25±1,55Aab	164,71±0,72Aa	170,55±1,75Aa	215,87±0,98Aa	562,5±1,50Bc
kb	92,2±0,37b	127,56±2,57b	159,30±1,09b	680,5±0,80b	157,6±1,30c	171,85±0,65a	196,78±1,36b	774,75±1,35a
2b30	50,12±0,05Bc	116,79±1,55Bc	152,90±1,01c	793,24±1,37Ba	94,63±0,80Bb	133,24±2,05Bc	166,22±2,28Bb	618,49±0,88Bb
2b25	66,45±0,89Bb	121,07±0,99Ab	165,37±1,0Aa	396,82±4,62Bc	163,60±0,92Aa	164,71±0,49Ba	199,94±1,31Ba	765,95±40,15Ba
kb	92,2±0,37a	127,56±2,57a	159,30±1,09b	680,5±0,80b	157,6±1,30ab	171,85±0,65ab	196,78±1,36ab	774,75±1,35a
1tb30	157,26±1,01Aa	170,42±1,08Aa	195,41±1,48Aa	772,97±1,33Ba	162,10±4Aa	172,49±2,81Aa	207,74±3,60Aa	736,75±1,65Ba
1tb25	71,69±0,44Bc	120,94±0,29Bb	163,86±0,88Bb	566,31±1,90b	77,28±0,38Bb	123,2±1,20Bb	166,08±1,53Bb	706,65±4,25Bb
ktb	91,30±1,19b	124,60±1,10b	156,67±1,42b	727,05±2,78ab	52,15±3,67c	116,25±5,06b	162,77±1,18b	494,85±6,00dc
2tb30	67,93±0,31Bc	122,01±0,98Bb	166,48±0,69Bab	839,25±3,35Ab	153,94±5,60Ab	168,50±0,20Ba	196,00±1,00Bab	861,45±2,25Aa
2tb25	134,83±3,08Aa	165,87±2,04Aa	198,83±4,46Aa	888,4±1,70Aa	165,79±0,59Aa	170,67±2,32Aa	204,93±1,57Aa	752,95±4,45Ab
ktb	91,30±1,19b	124,60±1,10b	156,67±1,42b	727,05±2,78c	52,15±3,67c	116,25±5,06b	162,77±1,18b	494,85±6,00c

* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-c:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05).

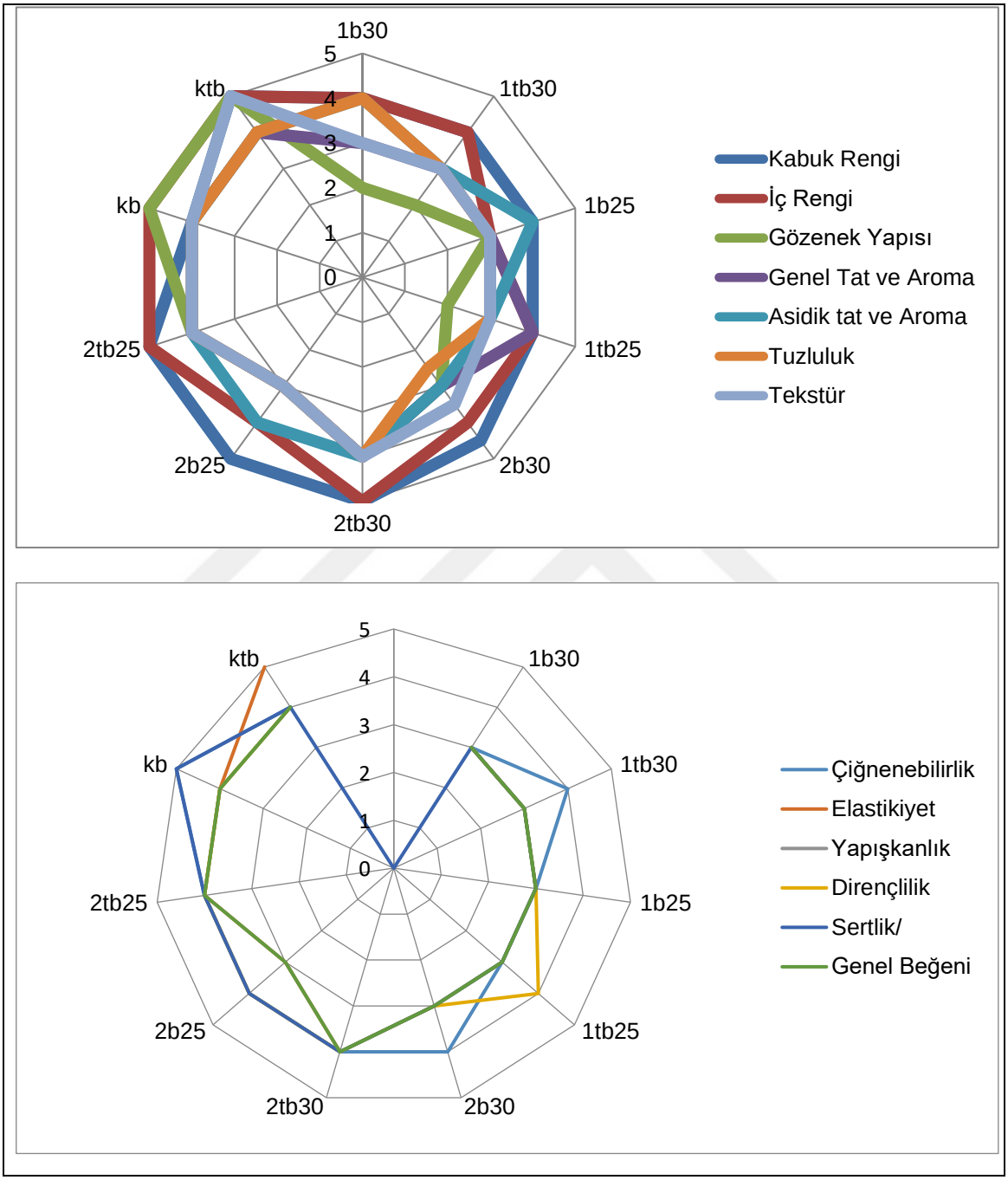
Tablo 4.6'da görüldüğü gibi T0 değerleri 65,45 ile 157,26 arasındadır. Kontrol ekmeği ile karşılaştırıldığında 2b30, 2tb30 ve 2b25 kodlu ekmeklerin T0 değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş görülmektedir (p<0,05). 1. güne ait entalpi (ΔH) değerleri incelendiğinde ise en düşük değer 566,31 j/g olarak 1tb25 kodlu örneğe ait olarak bulunmuştur. Bu değeri 652,25 j/g değeri ile 1b25 kodlu örnek izlemektedir. 5. güne ait ΔH değerleri ise 494,85 ile 861,45 j/g arasında bulunmuştur. 1b25 kodlu ekmekte değişiklik gözlenmezken, 1tb25 koldu ekmeğe ait entalpide önemli miktarda artış meydana gelerek 706,65 j/g değerine ulaşmıştır. ΔH değerindeki yükselme amilopektinin rekristalizasyonunun yükseldiğini göstermektedir. Üründeki su miktarının artması daha yüksek amilopektin retrogradasyonuna sebep olmakta ve daha geç retrogradasyon ile ilişkilendirilmektedir (He ve Heseney, 1990). Nişastanın yarı düzenli kristal yapısı pişirme işlemi sırasındaki jelatinleşme nedeniyle amorf hale gelmektedir. Kristalleşme; ekmeğin bayatlaması ile birlikte yeniden meydana gelmektedir. Entalpisi düşük olan ekmeğin bayatlamaya karşı daha dayanıklı olduğu bildirilmiştir (Torrieri vd., 2014).



Şekil 4.6 1tb25 kodlu ekmeğin 1.gün ve 5.gün DSC termogramı

4.4 Ekmek Örneklerinin Duyusal Özellikleri

Öncesinde değerlendirme kriterleri hakkında bilgi verilen 11 panelist (6 kadın, 5 erkek) tarafından yapılan analiz sonuçları Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Ekmek örneklerinin duyusal analiz sonuçları

Ekmeğin kabuk rengi panelistler tarafından iyi ve çok iyi olarak değerlendirilmiştir. Gözenek yapısı bakımından en çok beğenilen ekmekler kb ve ktb kodlu kontrol ekmekler 'çok iyi' olarak değerlendirilirken; 2tb30 ve 2tb25 kodlu ekşi hamur ekmekleri 'iyi' olarak derecelendirilmiştir. Asidik tat ve aroma özellikleri; genel olarak orta ve iyi olarak değerlendirilmiş, tuzluluk ise tüketici kabulünün değişkenliğine bağlı olarak 2,5 ve 4 puan aralığında değerlendirilmiştir. Tuz miktarı standart olan 10 farklı ekmek numunesinin panelistler tarafından beğeni düzeylerinin farklı sonuçlara sahip olması numunenin asitlik düzeyinin tuzlu tada olan etkisinin sonucu olarak düşünülmektedir. Literatür çalışmaları arasında tuzsuz tadın aroma oluşumu ile maskelenebileceği bildirilmiş, güncel yaklaşım olarak ekmekte tuz miktarının bu sayede %1,5'dan %1'e düşürülmesi sonucu tat özelliği değişmemiştir (Zhao vd., 2015). Genel beğeni değerlendirmesinde ise 11 panelistin vermiş olduğu puanların ortalaması olan sonuçlara bakıldığında tip-1 ekşi hamur yöntemi ile elde edilen tüm ekmekler 'orta' olarak değerlendirilmiş, tip-2 yöntemle elde edilen ekmeklerden tam buğday ile hazırlanan numuneler ise 'iyi' olarak değerlendirilmiştir. Ekşi hamur ekmekleri arasında en çok beğenilen örnekler 2tb30 ve 2tb25 kodlu ekmekler olarak tespit edilmiştir.

4.5 *in vitro* Analiz Sonuçları

4.5.1 Ekmek Örneklerinin Nişasta Sindirilebilirliği

Ekşi hamur ilaveli ekmeklere ve kontrol ekmeklerine ait dirençli nişasta (DN), hızlı sindirilen nişasta (HSN), yavaş sindirilen nişasta (YSN) ve toplam nişasta (TN) değerleri Tablo 4.7'de ve nişasta fraksiyonlarının toplam nişasta içinde yüzdesel dağılımı Şekil 4.8'de gösterilmektedir.

Tablo 4.7 Ekmek örneklerinin nişasta fraksyionları ve toplam nişasta miktarı*

Örnek	DN (g/100g)	HSN (g/100g)	YSN (g/100g)	TN (g/100g)
1b30	8,88±0,52Bb	11,56±0,62Bc	24,67±0,94Aa	45,35±0,13Ab
1b25	10,61±0,75Ba	15,39±0,58Ab	21,31±0,06Ab	47,36±0,84Aab
kb	2,35±0,95c	23,35±0,91a	23,95±1,20b	49,99±1,17a
2b30	11,77±0,38Ab	12,85±0,74Ab	22,26±0,03Ba	47,06±1,99Aa
2b25	13,66±0,33Aa	13,12±0,06Bb	22,69±0,75Aa	49,69±0,25Aa
kb	2,35±0,95a	23,35±0,91a	23,95±1,20b	49,99±1,17a
1tb30	5,12±0,22Bb	9,53±0,90Ab	22,74±0,54Aa	37,66±1,57Aa
1tb25	6,07±0,96Ba	14,97±0,24Aa	17,11±0,18Ac	38,19±1,33Aa
ktb	2,86±0,65c	16,14±0,92a	20,58±1,37b	39,66±0,48a
2tb30	16,93±0,71Aa	8,32±1,10Bb	11,77±0,93Bc	36,66±1,57Aa
2tb25	15,22±1,25Ab	8,24±0,80Bb	15,30±0,64Ab	39,03±1,24Aa
ktb	2,86±0,65c	16,14±0,92a	20,58±1,37a	39,66±0,48a

* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-c:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir ($p<0,05$).

DN; tüketildikten 120 dk sonra ince bağırsakta d-glukoza parçalanmayan nişasta fraksiyonudur. Tablo 4.7'de de ifade edildiği şekilde 100 g ekmek örneği içindeki nişasta fraksiyonlarına ait bulgular incelendiğinde ekmeklik buğday unu elde edilen ekşi hamur ekmeklerinin DN değerleri 5,12 ile 16,93 g/100g arasında olduğu görünmektedir. Kontrol ekmeği ile karşılaştırıldığında tip-2 fermantasyonun 30 °C sıcaklık koşulunda uygulanması ile elde edilen tam buğday ekmeğinde DN miktarı yaklaşık olarak 5 kat artmıştır. 25 °C ve 30 °C sıcaklık koşullarında ayrı ayrı fermantasyonun etkisi incelendiğinde tip-2 fermantasyon; tip-1'e göre DN miktarlarında daha fazla artış sağlamıştır ($p<0,05$). Aynı fermantasyon tipinde (tip-1 ve tip-2 için ayrı ayrı) sıcaklığın etkisi incelendiğinde ise ekmeklik buğday unu ile hazırlanan ekmeklerde 25 °C etkili olmuştur. Daha düşük fermantasyon sıcaklığında yüksek miktarda DN miktarı Liljeberg vd. (1996)

tarafından da bildirilmiştir. Tam buğday unu ile hazırlanan ekmeklerde tip-1 fermantasyonda 25 °C etkili olurken tip-2 fermantasyonda 30 °C sıcaklık koşulunun DN miktarını artırmada daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. Organik asitlerin, özellikle fermantasyon sonucu artan laktik asit miktarının DN oranını artırmada etkili olduğu bilinmektedir (Buddrick vd, 2015; De Angelis vd., 2007).

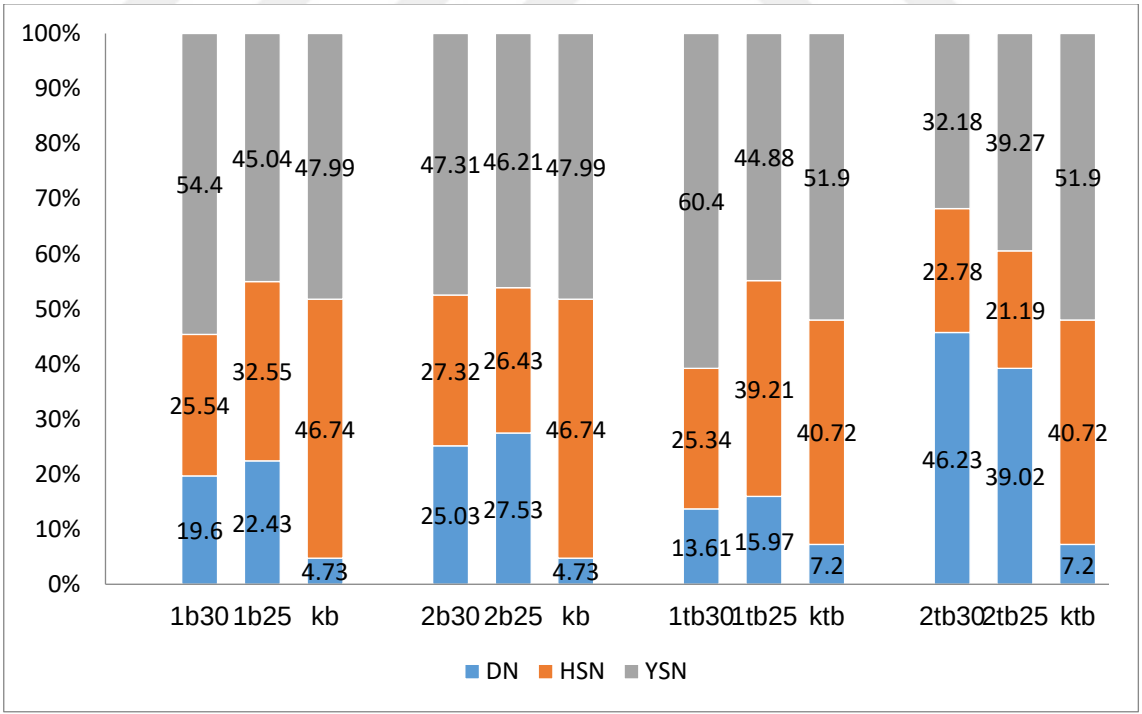
HSN; besin maddesinin tüketildiği ilk 20 dk içinde sindirilen nişasta fraksiyonudur. Tablo 4.7'de ifade edildiği şekilde tüm ekmek örnekleri içinde en yüksek HSN miktarı 23,35 ve 16, 14 g/100g değerleri ile kontrol ekmeklerine ait olduğu tespit edilmiştir (sırasıyla kb ve ktb kodlu ekmekler). HSN miktarı; glukoz metabolizması ile ilişkili potansiyel sağlık etkilerinden özellikle diyabet yönetiminde oldukça etkilidir (Giuberti vd., 2018). Ekşi hamur fermantasyonun etkisi ile HSN miktarlarında meydana gelen azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,05). Aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisi incelendiğinde tip-2 fermantasyonun genel olarak daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. Tip-1 fermantasyon yöntemi ve ekmeklik buğday unu kullanılarak hazırlanan ekmeklerde 30 °C sıcaklık koşulu 25 °C'ye göre HSN miktarını azaltmada daha etkili olmuştur. Tip-2 yönteminde ise sıcaklık koşulunun etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p>0,05). Son üründe hızlı sidirilebilir nişasta miktarının fazla olması glisemik yanıtlarda artışla ilişkilendirilmekte ve HSN miktarı düşük olan gıdaların diyabetli bireyler tarafından tüketimi tavsiye edilmektedir (Scazzina vd., 2009). Ekşi hamur ilavesi HSN miktarlarını azaltmada etkili bir strateji olarak görülmektedir.

YSN ise 20-120 dk süre içinde sindirilen nişasta fraksiyonudur. HSN miktarının tersine glukoz metabolizması açısından son üründeki miktarının yüksek olması tercih unsuru olmaktadır. Tablo 4.7'de görüleceği şekilde en yüksek YSN miktarı 1b30 kodlu ekmeğe ait bulunmuş ve bu değeri kb kodlu kontrol ekmeği takip etmektedir (sırasıyla 24,67 ve 23,95 g/100 g). Kontrol ekmeklerinin hem HSN hem de YSN miktarlarının ekşi hamur ekmeklerininkine göre yüksek olması kontrol ekmeklerinin DN miktarlarının düşük olması ile açıklanmaktadır. Aynı sıcaklık koşulları değerlendirildiğinde 25 °C'de fermantasyon tiplerinin etkisi önemsiz iken (p>0,05), 30 °C'de tam buğday unu ile hazırlanan ekmeğin fermantasyonu ile YSN

miktarında kontrol ekmeğininkine göre önemli ölçüde azalma sağlamıştır. Bu azalma aynı fermantasyon şartlarının DN miktarı artışı ile ilişkilendirilebilmektedir.

Toplam nişasta değerleri ise tam buğday unu ile hazırlanan ekmeklerde 36,66 ile 39,66 g/100 g arasında testip edilmiştir. Ekmeklik buğday unu ile hazırlanan ekmeklerin TN değerleri ise Tablo 4.7'de de ifade edildiği gibi 45,35 ile 49,99 g/100 g'dır. 100 g numune üzerinden ifade edilen bu değerlerde tam buğday ununun toplam nişasta içeriğinin daha düşük olması kepek miktarının fazla olması ile açıklanmaktadır.

Literatürde yer alan likit ekşi hamurun makarna üretiminde kullanımı ile yürütülen araştırmada (Fois vd., 2018) nişasta sindirim düzeylerindeki farklılıklar incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre ekşi hamur fermantasyonunun 180 dk içinde sindirilen toplam nişasta düzeyine etki etmezken, YSN olarak ifade edilen 20-120 dk arasında sindirilen nişastada belirgin bir azalma sağlamıştır. Dirençli nişasta seviyelerinin aynı şekilde ekşi hamurdan hazırlanan ekmekte daha yüksek bulunduğu bu çalışma tez bulgularını da doğrular niteliktedir.



Şekil 4.8 Ekmek örneklerinde nişasta fraksiyonlarının yüzdesel dağılımı

Örneklerdeki nişasta fraksiyonu değişimlerini TN değerleri içindeki yüzdesel dağılımları Şekil 4.6'da ifade edilmiştir. Artış ve azalış trendlerini değerlendirebilmek amacı ile YSN, HSN ve DN miktarları TN değeri içindeki yüzdeleri üzerinden hesaplanmış ve g/100g örnek üzerinden verilen sonuçlardan farklı olarak oransal değerler Şekil 4.8'e göre ifade edilmiştir.

TN içindeki oransal dağılıma göre; 2tb30 ve 2tb25 kodlu ekşi hamurlu ekmeklerin DN değerleri sırasıyla %46,23 ve 39,02 olarak diğer örnekler içinde en yüksek değerlere sahip olarak bulunmuştur. Seçilmiş suşların ilavesi ile elde edilen tip-2 ekşi hamur fermantasyonu tip-1 fermantasyon yöntemi ile karşılaştırıldığında 30^{o}C'de elde edilen tip-2 ekşi hamurun ilavesinin ekmekte DN miktarını artırmada en etkili yöntem olabileceği anlaşılmaktadır. Tip-1 ekşi hamur ilavesi ile elde edilen ekmek örnekleri incelendiğinde ise en yüksek DN miktarına %22,43; 1b25 kodlu ekmek sahip iken bu değeri 1b30 kodlu ekmek (%19,60) takip etmektedir. kb ve ktb olarak kodlanmış olan kontrol ekmeklerinin DN içerikleri ise en düşük miktarlarda sırasıyla %4,73 ve 7,20 olarak bulunmuştur. En yüksek HSN miktarı %46,74 değeri ile kb kodlu kontrol ekmeğine aittir. 2tb25 kodlu ekmek %21,19 değeri ile en düşük HSN miktarına sahiptir. Ekşi hamur ilavesi HSN miktarını azaltmada etkili bir strateji olarak görünmektedir. En yüksek YSN miktarı ise %60,40 olarak 1tb30 kodlu ekmeğe aittir. Bu değeri 1b30 kodlu ekmek %54,40 değeri ile takip etmektedir. En düşük YSN içerikleri ise 2tb25 ve 2tb30 kodlu ekmeklere aittir (sırasıyla, %39,27 ve 32,18).

Nişasta fraksiyonlarının hem g/100 g hem de TN miktarı içinde yüzdesel olarak sunulması ile ifade edilen bulgular nişasta sindirilebilirliğinin ekşi hamur ilavesi ile birlikte azaldığını göstermekte ve literatür çalışmaları ile örtüşmektedir. Ekşi hamur fermantasyonu sırasında meydana gelen kimyasal değişikliklerle birlikte, ekşi hamur fermantasyonu uygulanan tahıllarda nişasta jelatinleşme derecesinin azalmakta ve daha düşük nişasta sindirilebilirliği ortaya çıkmaktadır (Novotni vd., 2011).

4.5.2 Ekmek Örneklerinin *in vitro* Glisemik İndeks ve Hidroliz İndeksi

Ekmek örneklerine ait GI ve HI değerleri Tablo 4.8'de hidroliz eğrileri ise Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Hesaplamalarda test gıdası olarak satın alınan %48,70 ±1,36 toplam nişasta içeriğine sahip beyaz ekmek kullanılmıştır. Ekmek örneklerinin 0-180 dk arasındaki glukoz salımlarının zamana karşı grafiğinin altında oluşan alan beyaz ekmeğe ait grafiğin altında kalan alan ile oranlanarak hidroliz indeksi hesaplanmıştır.

Tablo 4.8 Ekmek örneklerinin hidroliz indeksi ve glisemik indeks değerleri*

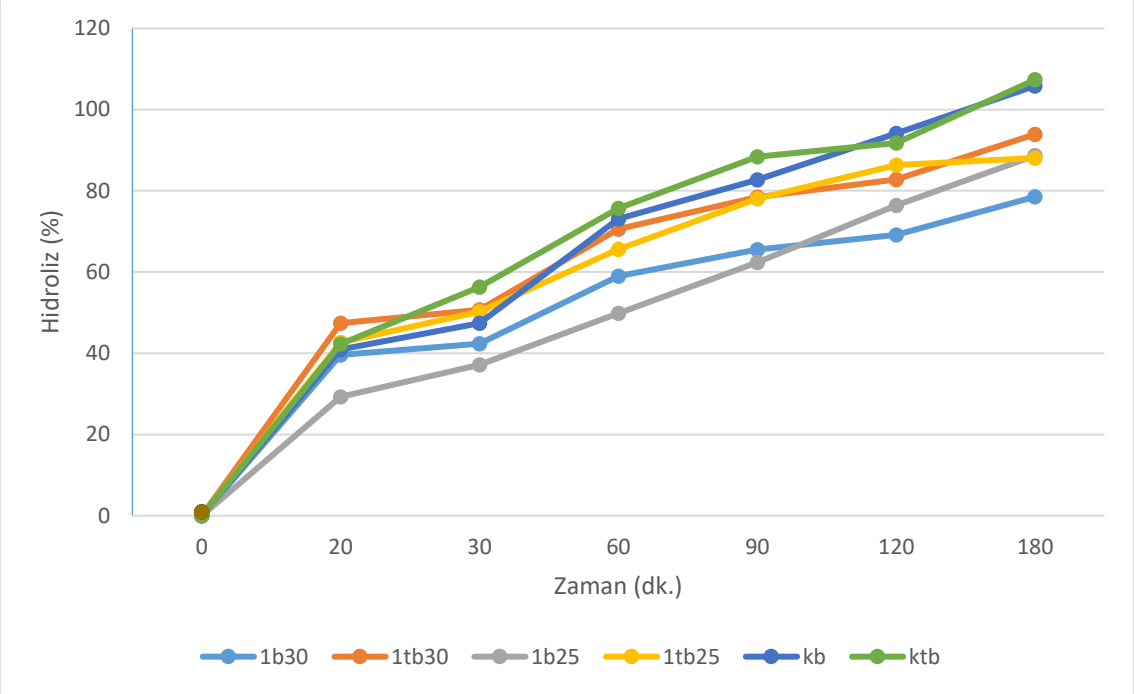
Örnek	HI	GI
1b30	91,08±2,84Ac	60,8±1,09Ac
1b25	93,97±0,48Abc	63,91±0,18Ab
kb	133,08±2,60a	78,94±0,99a
2b30	92,95±2,16Ab	63,52±0,83Ab
2b25	89,26±0,62Bb	62,1±0,24Ab
kb	133,08±2,60a	78,94±0,99a
1tb30	87,49±2,06Ac	61,42±0,79Ac
1tb25	100,45±1,99Ab	66,39±0,76Ab
ktb	127,85±0,64a	76,93±0,25a
2tb30	68,29±0,8Bc	54,05±0,31Bc
2tb25	76,59±0,94Bb	57,23±0,36Bb
ktb	127,85±0,64a	76,93±0,25a

* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-c:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05).

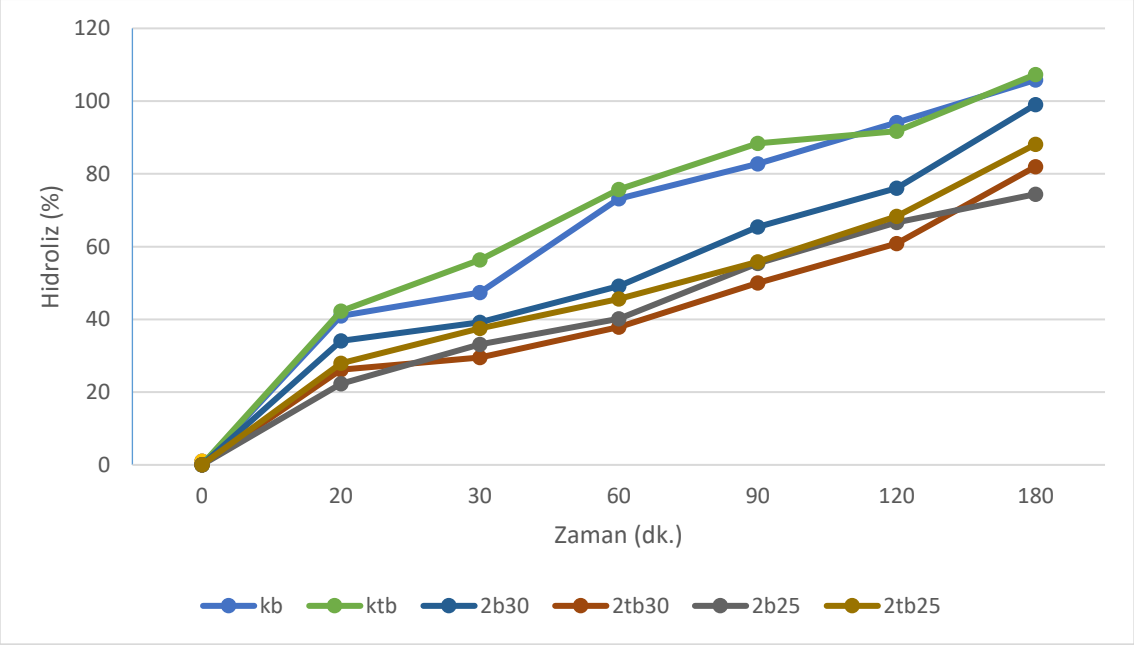
Tablo 4.8'de ifade edildiği şekilde çalışmada elde edilen kontrol ekmekleri, ekşi hamur ilavesiyle elde edilen ekmeklere göre istatistiksel olarak daha yüksek GI değerlerine sahiptir (p<0,05). kb ve ktb kodlu bu örnekler sırasıyla 78,94 ve 76,93 değerlerine sahiptir. GI'de en büyük azalma %29,74 oranında tip-2 yöntemi ile 30°C fermantasyon sıcaklığında üretilen tam buğday ekşi hamurlı ekmeğe aittir. Bu değeri %25,60 ile tip-2 yöntemi ile 25°C fermantasyon sıcaklığında üretilen tam buğday ekşi hamur ekmeği takip etmektedir. Ekşi hamur ekmeklerinin glisemik indeksleri 54,05 ile 66,39 arasında değişkenlik göstermektedir. Aynı sıcaklık değerlerinde fermantasyonun etkisi değerlendirildiğinde ekmeklik buğday unu ile hazırlanan ekşi hamur ekmeklerinde iki sıcaklık derecesinde de (25°C ve 30°C) fermantasyon tipinin etkisi önemli bulunmamıştır (p> 0,05). Tam buğday unu kullanarak elde edilen örneklerde aynı sıcaklık derecelerinde tip-2 yöntemle elde edilen ekşi hamurun etkisi GI değerini düşürmede tip-1 yönteme göre daha etkili olmuştur (p<0,05). Aynı fermantasyon koşullarında sıcaklığın etkisi değerlendirildiğinde ise tam buğday unu ile hazırlanan örneklerde 30°C sıcaklık koşulu 25°C'ye göre GI değerlerinde daha fazla azalma sağlamıştır (p< 0,05). Ekmeklik buğday unu ile hazırlanan örnekler için ise tip-1 fermantasyon yönteminde 30°C daha fazla azalma sağlarken, tip-2 fermantasyon yönteminde sıcaklık koşullarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (p> 0,05).

Glisemik indeksin düşmesinde etken rol organik asit varlığı olarak düşünülmektedir. Aynı zamanda ekşi hamur ekmeğinin yoğun yapısı sayesinde son ürün daha düşük glisemik indekse sahip olmaktadır. Etkinin esas olarak fermantasyon sırasında organik asitler, özellikle laktik asit oluşumundan kaynaklandığı kabul edilir. Asitlerin akut etkileri için fizyolojik mekanizmalar değişir; laktik asit ekmekteki nişasta sindirim oranını düşürürken (Liljeberg vd., 1995) asetik ve propiyonik asitler gastrik boşalma oranını düşürürler. Spontan olarak elde edilen ekşi hamurda (tip-1) mikrobiyolojik çeşitliliğin, suş ilavesi yapılan tip-2 fermantasyon yöntemine göre farklı olması elde edilen ekşi hamurun karakteristik özelliklerinde ve son ürünün glisemik yanıtındaki farka sebep olabilmektedir.

Literatür çalışmalarında de benzer olarak, hem *in vitro* hem de *in vivo* yapılan ölçümlerde ticari maya ile üretilen ekmeğe göre ekşi hamur ekmekleri daha düşük GI değerine sahip olarak bildirilmiştir (Buddrick vd., 2015; Scazzina vd., 2009).



Şekil 4.9 Tip-1 fermantasyonla elde edilen ekşi hamur ekmekleri ve kontrol ekmeklerine ait hidroliz eğrileri



Şekil 4.10 Tip-2 fermantasyonla elde edilen ekşi hamur ekmekleri ve kontrol ekmeklerine ait hidroliz eğrileri

Tablo 4.8'de ifade edildiği şekilde HI değerleri 68,29 ile 133,08 arasında değişkenlik göstermektedir. En düşük değer GI değeri ile benzer şekilde 2tb30 kodlu örneğe aittir. Fermantasyon tiplerine göre hazırlanan her iki şekilde de, kontrol ekmeklerine ait hidroliz eğrileri ekşi hamur örneklerine göre daha büyük alana sahip olduğu görülmektedir. HI; GI değerinin hesaplamasında kullanılan bir değer olduğu için fermantasyon tipi ve sıcaklık koşulları ile etkileşimi benzer şekildedir. Tip-1 fermantasyon yönteminde hem tam buğday unu hem de ekmeklik buğday unu ile elde edilen ekmeklerin HI değerleri sıcaklık artışı ile düşme eğilimi göstermiştir. Tip-2 fermantasyon yöntemine göre ise tam buğday unları ile elde edilen ekmeklerde aynı şekilde sıcaklık artışı ile düşme eğilimi gözlenmekte fakat ekmeklik buğday unu ile elde edilen ekmeklerde HI değerleri için sıcaklığın etkisi önemsiz bulunmuştur *(p*>0,05).

Tablo 4.7 ve Tablo 4.8 birlikte değerlendirildiğinde düşük GI değerlerinin tip-1 yöntemle elde edilen ekşi hamur ekmeklerinde sadece DN ile değil aynı zamanda HSN ve YSN değerleri ile de ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Nişasta fraksiyonlarının yanı sıra GI değerleri üzerinde belirleyici olan etkinin organik asitlerden ileri geldiği ve bu etkinin sindirim kanalında pH değerinin düşmesi ile α-amilaz ve α-amiloglukozidaz enzimlerinin etkisini kısıtlayarak dolaylı olarak nişasta sindirimini sınırlandırması ile ortaya çıktığı bildirilmektedir (Liljeberg vd., 1995). Ekşi hamur fermantasyonu özellikle düşük pH değeri aralıklarında (3,5-4.0) glisemik indeksi düşürmek için etkili olacağı düşünülmektedir (Fardet vd., 2006). Literatürde yer alan çalışmalarda sağlıklı bireylerin ekşi hamur ile hazırlanan beyaz ekmek ve tam buğday ekmeği tükettiklerinde glisemik yanıtının 53, 7 GI değeri ile; fırıncı mayası ile üretilen beyaz ekmek tüketimleri sonrası 72 GI sonucuna göre belirgin bir azalma bildirilmiştir (Gobbetti vd., 2014). Shumoy vd., (2018) yapmış oldukları çalışmada teff unu kullanarak ekşi hamur ekmeği elde etmişlerdir. Ekşi hamur ilavesinin taze tüketilen ekşi hamur ekmeklerinde tahmin edilen glisemik indeksi azaltırken, depolama yapılan ekşi hamur ekmeklerinde ise düzgün bir değişim gözlenmediği bildirilmiştir. Depolama süresi arttıkça tüm ekmeklerde glisemik indeksin düştüğü sonucuna varılmıştır. Nişasta sindirilebilirliği ve postprandiyal glisemik yanıtın araştırıldığı bir diğer çalışmada

(Scazzina vd., 2009) dört farklı ekmek incelenmiştir. Beyaz un ve tam buğday unun kullanıldığı çalışmada hamuru mayalama amacı ile ekşi hamur ve ticari maya kullanılmıştır. Bu çalışmada hem *in vitro* olarak nişasta sindirimi hem de sağlıklı bireyler tarafından ekmeklerin tüketimi sonrası kan glukozu düzeyi takip edilmiştir. Ekşi hamur ile mayalanan ekmeklerin glisemik tepkileri; ticari maya kullanılarak mayalanan ekmeğe göre daha düşük bulunmuştur. Diyet lifinin ise glisemik indeks üzerinde bir etkisinin olmadığı ve esas mekanizmanın nişasta hidroliz oranı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir.

Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde buğday unu ile hazırlanan ekşi hamur ekmeği üretiminde aynı sıcaklık değerlerinde fermantasyon tipinin etkisi anlamlı bulunmazken (p>0,05) tam buğday ekmeklerinde aynı sıcaklık koşullarında tip-2 fermantasyon uygulaması daha düşük GI değerleri ile sonuçlanmıştır. Nişasta kompozisyonunun etkisi incelendiğinde ise sadece DN miktarı ile değil aynı zamanda HSN ve YSN fraksiyonları ile orantılı olarak GI değerinde artış ve azalışlar ilişkilendirilebilmektedir. Tez bulguları literatürde yer alan araştırma bulguları tarafından desteklenmektedir (Fois vd., 2018; Gobetti vd., 2014; Scazzina vd., 2009).

4.5.3. Ekmek Örneklerinin Mineral Biyoerişilebilirliği

Ekmek örneklerinin sindirim öncesi ve sindirim sonrası Ca, Fe ve Zn mineral değerleri sırasıyla Tablo 4.9'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9 Ekmek örneklerinin sindirim öncesi ve sindirim sonrası mineral düzeyleri

Örnek	Ca (mg/100g)	Fe (mg/100g)	Zn (mg/100g)	Ca (mg/100g)	Fe (mg/100g)	Zn (mg/100g)
	Sindirim öncesi			Sindirim sonrası		
1b30	54,69±0,48Ba	2,69±0,04Bb	1,12±0,03Bb	46,06±0,72Ba	1,23±0,02Ba	0,97±0,03Ba
1b25	57,82±1,6Bb	3,38±0,05Aa	1,13±0,03Ab	45,13±1,95Ba	0,63±0,01Bb	0,71±0,02Bb
kb	60,96±1,7c	2,53±0,04b	1,37±0,04a	33,87±0,94b	0,47±0,01c	0,92±0,03a
2b30	60,69±1,68Ab	3,33±0,05Aa	1,33±0,04Aa	52,28±1,45Ab	2,18±0,03Aa	1,09±0,03Aa
2b25	71,65±1,98Aa	2,28±0,04Bc	1,17±0,03Ab	60,4±1,67Aa	0,91±0,01Ab	0,98±0,03Ab
kb	60,96±1,7b	2,53±0,04b	1,37±0,04a	33,87±0,94c	0,47±0,01c	0,92±0,03b
1tb30	89,41±2,48Ab	4,3±0,07Bc	2,45±0,07Ab	69,89±1,94Ab	2,68±0,04Bb	1,79±0,05Ab
1tb25	80,18±2,22Bc	4,68±0,07Ab	2,21±0,06Bbc	56±1,55Bc	2,27±0,03Abc	1,68±0,05Bb
ktb	96,5±2,69a	5,81±0,09a	2,76±0,08a	81,05±2,26a	4,47±0,07a	2,21±0,06a
2tb30	80,7±2,24Bb	13,11±0,2Aa	2,24±0,06Bc	65,36±1,81Bb	11,1±0,17Aa	1,82±0,05Ab
2tb25	96,42±2,69Aa	3,96±0,06Bc	2,59±0,07Ab	78,38±2,19Aa	2,16±0,03Bc	2,16±0,06Aa
ktb	96,5±2,69a	5,81±0,09b	2,76±0,08a	81,05±2,26a	4,47±0,07b	2,21±0,06a

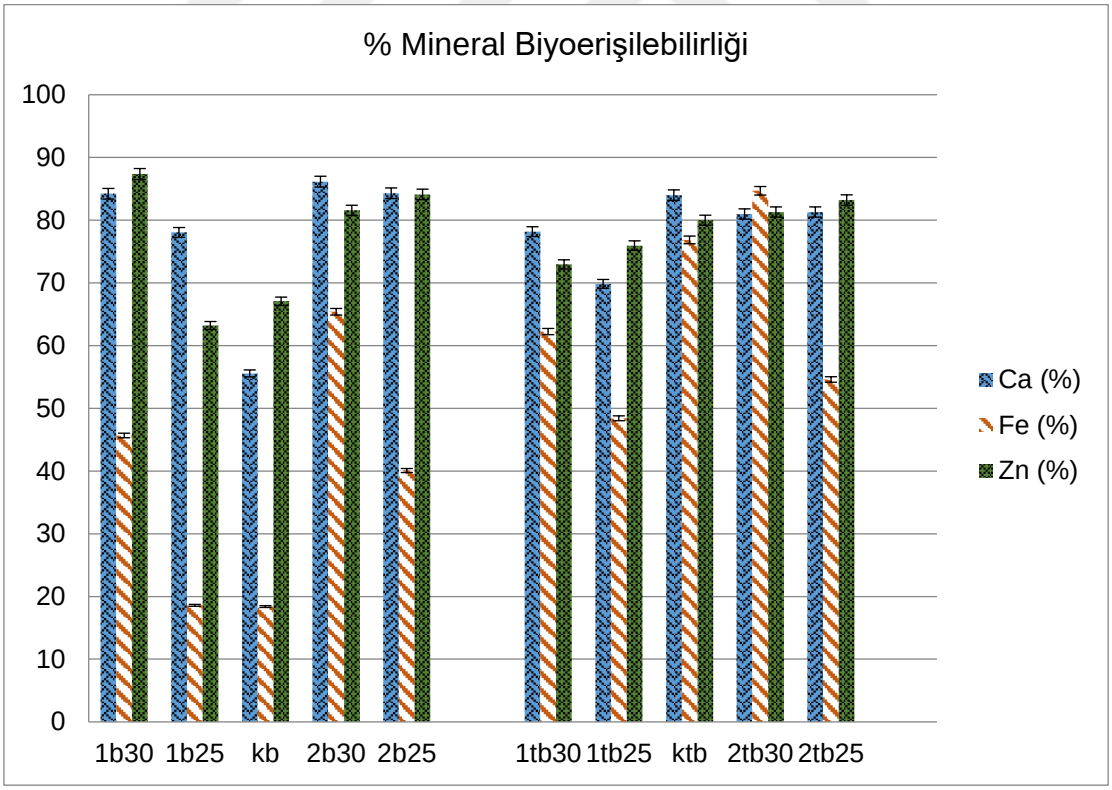
* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-c:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05).

Sindirim öncesi Ca mineral düzeyleri 54,69 ile 96,5 mg/100 g arasında tespit edilmiştir. Tam buğday unu ile hazırlanan ekmeklerin Ca miktarı, ekmeklik buğday unu ile hazırlanan örneklere göre daha yüksek düzeydedir. Aynı sıcaklık değerleri için fermantasyonun etkisi değerlendirildiğinde 25°C'deki uygulamada tip-2 fermantasyon yöntemi daha yüksek Ca mineral miktarı sağladığı anlaşılmaktadır. Sindirim uygulanan örneklerdeki Ca mineral miktarı ise buğday ekmekleri için hem tip-1 hem de tip-2 fermantasyon yönteminde ekşi hamur ilavesinin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). Tam buğday ekmeklerinde sindirim sonrasında Ca miktarının ekşi hamur ilavesinin etkisi ile azaldığı tespit edilmiştir. Karaman vd. (2018) tam buğday unu kullanarak yapmış oldukları araştırmada tez bulgusu ile benzer şekilde ekşi hamur ekmeklerine kıyasla ticari maya ile elde ettikleri ekmeklerde daha yüksek Ca mineral düzeyi tespit etmişlerdir.

Tablo 4.9'da ifade edilen Fe mineral miktarları sindirim öncesi değerleri 2,28 ile 13,11 mg/100 g değerleri arasında değişkenlik göstermektedir. Fe düzeyi un tipine göre incelendiğinde tam buğday unu kullanılarak elde edilen ekmeklerde daha yüksek değerlere sahip olduğu dikkat çekmektedir. Ekmeklik buğday unu ile hazırlanan örneklerden 1b25 ve 2b30 kodlu ekmekler, kontrol ekmeğine kıyasla ekşi hamurun etkisi ile daha yüksek Fe miktarına sahip olduğu tespit edilmiş ve bu fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). Tam buğday ekmekleri için Fe mineral madde düzeyi ekşi hamurun etkisi ile 2tb30 kodlu örnek haricindeki örnekler için azalma eğilimi göstermiştir. Tip-2 fermantasyon ve 30°C sıcaklık koşullarında elde edilen 2tb30 kodlu tam buğday ekmeğinin Fe miktarı, kontrol ekmeğinin Fe miktarının yaklaşık iki katı değere ulaşmıştır. Sindirim sonrası değerler incelendiğinde ise buğday ekmeklerinde kontrol ekmeği ile karşılaştırıldığında ekşi hamur ilavesi Fe düzeyini artırmış ve bu fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). Tam buğday ekmeklerinde sindirim öncesine benzer şekilde Fe mineral madde düzeyi ekşi hamurun etkisi ile 2tb30 kodlu örnek haricindeki örnekler için azalma eğilimi göstermiştir. Sindirim sonrası ekşi hamur ekmeklerinde demir düzeyinde azalma literatür çalışmaları tarafından da desteklenmektedir (Bryszewska vd., 2019).

Zn mineral madde düzeyleri Tablo 4.9'da ifade edildiği şekilde sindirim öncesinde 1,12 ile 2,76 mg/100 g değerleri arasında tespit edilmiştir. Ekmeklik buğday unu ile hazırlanan örneklerin Zn miktarı fermantasyon yöntemi ve sıcaklık koşulundan etkilenmemiştir, örnekler arası farklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (p> 0,05). Tam buğday ekmeklerinin Zn içerikleri de benzer şekilde 1tb25 ve 2tb30 kodlu örnekler haricinde fermantasyon yöntemi ve sıcaklık koşulundan etkilenmemiştir. 1tb25 ve 2tb30 kodlu örneklerde ekşi hamur ilavesi ile Zn miktarında meydana gelen azalma istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,05). Sindirim sonrası Zn mikarı ekmeklik buğday unu ile elde edilen örneklerde özellikle tip-2 fermantasyonda artışa sebep olmuş, tam buğday unu ile elde edilen örneklerde tip-1 yönteminde sıcaklık farkından etkilenmeksizin azalma göstermiş, tip-2'de ise sadece 30°C sıcaklık koşulu kullanılan örnekte meydana gelen azalma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05).

Ekmek örneklerinin %mineral biyoerişilebilirlik değerleri Şekil 4.11 ve Tablo 4.10 'da gösterilmektedir.



Şekil 4.11 Ekmek örneklerinin (%) mineral biyoerişilebilirlik değerleri

Tablo 4.10 Ekmek örneklerinin (%) mineral biyoerişilebilirlik değerleri

Örnek	Ca (%)	Fe (%)	Zn (%)
1b30	84,22±0,58Ba	45,67±0,01Ba	87,36±0,22Aa
1b25	78,05±1,25Bb	18,59±0,00Bb	63,21±0,00Bbc
kb	55,56±0,00c	18,39±0,03bc	67,07±0,00b
2b30	86,15±0,00Aa	65,40±0,01Aa	81,57±0,01Bab
2b25	84,29±0,00Ab	40,08±0,01Ab	84,11±0,00Aa
kb	55,56±0,00c	18,39±0,03	67,07±0,00c
1tb30	78,17±0,00Bb	62,24±0,02Bb	72,95±0,01Bc
1tb25	69,85±0,00Bc	48,41±0,01Bc	75,94±0,00Bb
ktb	83,99±0,00a	76,86±0,00a	80,00±0,00a
2tb30	80,99±0,00Ac	84,69±0,00Aa	81,30±0,01Ab
2tb25	81,30±0,00Ab	54,60±0,01Ac	83,21±0,00Aa
ktb	83,99±0,00a	76,86±0,00b	80,00±0,00c

* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-c:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05).

Ekmek örneklerinde Ca biyoerişilebilirliği %55,56 ile 86,15 arasında değişkenlik göstermiştir. En düşük biyoerişilebilirlik ekmeklik buğday unu ile hazırlanan kontrol ekmeğine ait olarak bulunmuştur. Fe biyoerişilebilirliği ise en düşük değer olarak 1b25 kodlu ekmeğe ait olarak bulunurken 2tb30 kodlu ekmeğin en yüksek biyoerişilebilirlik değerine sahip olduğu görülmektedir. Ekmeklik buğday unundan hazırlanan ekşi hamur ekmekleri kontrol ekmeği (kb) ile karşılaştırıldığında 30°C'de gerçekleştirilen fermantasyonun Fe biyoerişilebilirliğini artırmada 25°C'dekine göre daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. Ca, Fe ve Zn biyoerişilebilirlikleri ekmek örnekleri için kendi arasında değerlendirildiğinde ise

Fe biyoerişilebilirliği 2tb30 kodlu örnek haricinde örneklerin tamamı için en düşük olmuştur. Zn ve Ca biyoerişilebilirlikleri ekşi hamur ekmeklerinin tamamında %60'ın üzerinde bulunurken tip-2 fermantasyon yöntemi ile elde edilen ekmeklerde bu oran %80'in de üzerindedir. Aynı un tipi ile hazırlanan ekmek örneklerinde fermantasyon sıcaklıkları karşılaştırıldığında genel olarak 30°C'nin mineral biyoerişilebilirliğini artırmada daha etkili olduğu; Zn için ise Ca ve Fe'den farklı olarak tip-2 yöntemle elde edilen ekmeklerde 25°C'nin de benzer şekilde biyoerişilebilirliği artırmada etkili olduğu görülmektedir.

Frontela ve Martinez (2011) tarafından yürütülen çalışmada fırınclık ürünlerinde demir, kalsiyum ve çinko minerallerinin in vitro biyoerişilebilirlik değerlerine proses koşullarının etkileri araştırılmıştır. Demir çözünürlüğü ve diyalizlenebliirliği fermantasyonun etkisi ile artmış fakat çinko ve kalsiyum için analiz edilen ürüne göre oldukça değişken sonuçlar bildirilmiştir. Demir ve kalsiyumun en yüksek biyoerişebilirliği fermente fırın ürünlerinde tespit edilirken çinko için fermantasyonun etkisi önemli bulunmamıştır.

Bryszewska vd. (2019) enkapsüle demir mineralinin ekmeğe ilavesinin mineral biyoyararlılığı üzerindeki etkisini araştırdığı çalışmada demir biyoyararlılığını %41,45 ve 99,31 arasında değiştiğini bildirmiştir. Ticari maya ve ekşi hamur fermantasyonunun (30°C sıcaklık koşulunda) kullanıldığı araştırma sonuçlarına göre genel olarak ticari maya ile üretilen ekmeklerde daha yüksek biyoyararlılık bulguları tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları özellikle tip-1 fermantasyon yöntemi ile üretilen tam buğday ekmeklerinin demir biyoerişebilirliğindeki değişimi doğrular niteliktedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde bu tez çalışmasında elde edilen bulgulara göre ekşi hamur fermantasyonu mineral biyoerişilebilirliğini artırmada etkili olmuştur. Ekmeklik buğday unu ile hazırlanan ekmeklerde Ca ve Fe minerallerinin biyoerişilebilirlik düzeyleri artarken, tam buğday ekmeklerinde düzenli bir artışın gözlenmemesi kepek kısmının içerdiği fitatın fermantasyonla birlikte meydana gelen degradasyonundaki farktan ileri geldiği düşünülmektedir. Bulgular ekşi hamur ilavesinin literatür çalışmaları ile benzer olarak tüketicinin sağlık beklentilerini karşılayabileceğini göstermektedir.

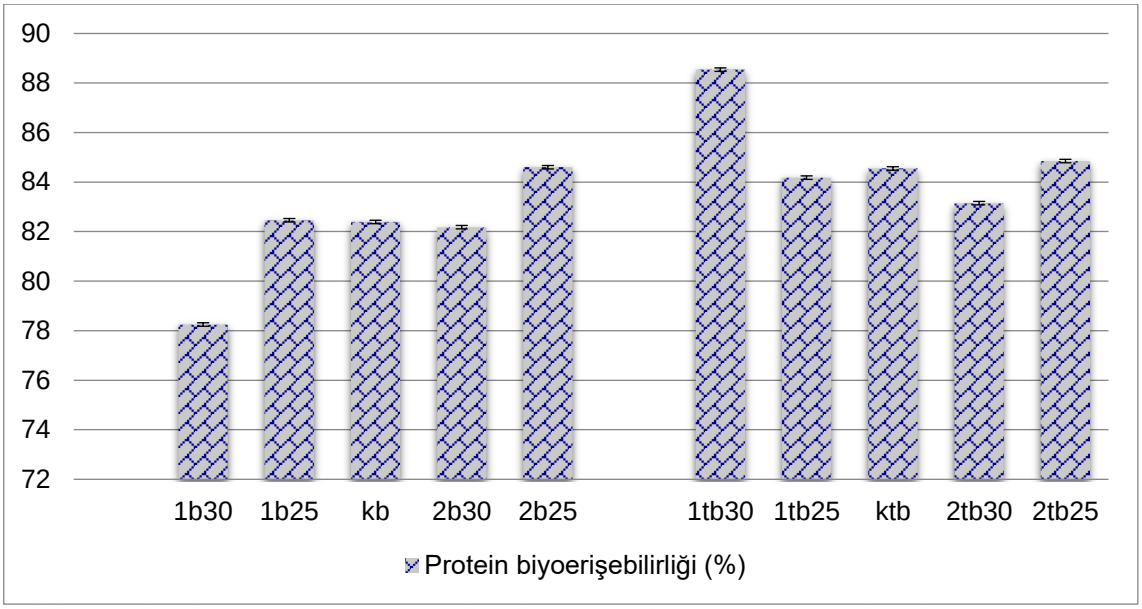
4.5.4 Ekmek Örneklerinin *in vitro* Protein Biyoerişilebilirliği

Ekmek örneklerinin % protein biyoerişilebilirliği Tablo 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

Tablo 4.11 Ekmek örneklerinin protein biyoerişilebilirlik değerleri*

Örnek	Sindirim öncesi protein (g/100g)	Sindirim sonrası protein (g/100g)	Protein biyoerişilebilirliği (%)
1b30	8,9±0,03Bc	1,94±0,00Aa	78,25±0,00Bb
1b25	9,84±0,01Aa	1,73±0,04Ab	82,46±0,00Aa
kb	9,15±0,02b	1,61±0,18c	82,39±0,01a
2b30	9,03±0,03Ab	1,61±0,05Ba	82,18±0,36Ab
2b25	8,37±0,03Bc	1,29±0,06Bb	84,60±0,00Aa
kb	9,15±0,02a	1,61±0,05a	82,39±0,01b
1tb30	8,99±0,01Ac	1,03±0,02Bb	88,54±0,01Aa
1tb25	9,27±0,07Ab	1,47±0,17Aa	84,18±0,00Ab
ktb	9,46±0,02a	1,46±0,11a	84,55±0,00b
2tb30	8,68±0,01Bc	1,46±0,14Aa	83,15±0,00Bab
2tb25	8,89±0,01Ab	1,35±0,00Bb	84,85±0,07Aa
ktb	9,46±0,02a	1,46±0,11a	84,55±0,00a

* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-c:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05).



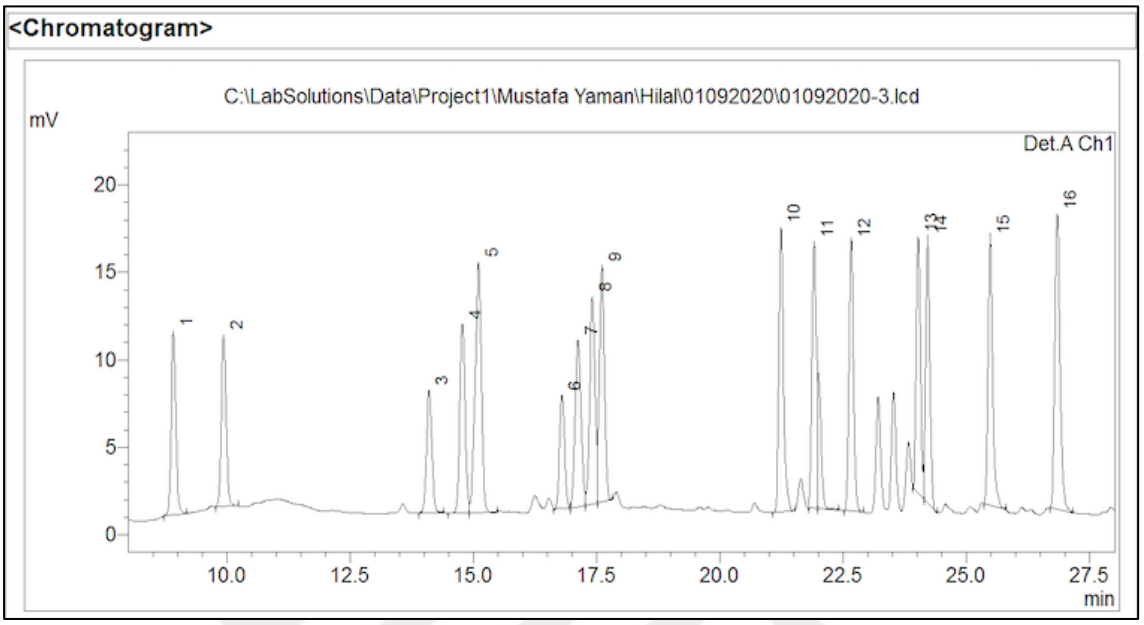
Şekil 4.12 Ekmek örneklerinin (%) protein biyoerişilebilirlik değerleri

Ekmek örneklerinin protein biyoerişilebilirlik düzeyleri %78,25 ile 84,85 arasında tespit edilmiştir. Örnekler arasında toplam protein miktarları benzer olduğu için fermantasyonun bir etkisi yok gibi görünse de ekşi hamur ekmeğindeki esansiyel amino asitlerdeki artış ekşi hamur örneklerinde proteinin biyolojik değerini olumlu yönde etkilediği literatür çalışmalarında gösterilmiştir (Coda vd., 2017).

Fermantasyon esnasında meydana gelen biyokimyasal değişimler son ürünün protein sindirilebilirliği üzerinde belirleyici olmaktadır. Fermantasyonun etkisiyle primer ve sekonder proteoliz ile beraber serbest amino asitlerin katabolizması meydana gelmektedir. Literatür çalışmalarına göre sindirilebilirliğin artması heterofermentatif laktobasillerin tahıl proteazlarının primer aktivitesini teşvik etmesi ile glutenin disülfit bağlarında meydana gelen azalma sonucu farklı boyutlardaki polipeptidlerin serbest hale gelmesi ile ilşkilendirilmiştir (Gobbetti vd., 2014). Protein sindirilebilirliği, incelenen proteine ve çevresine özgü farklı faktörlerin bir kombinasyonundan etkilenmektedir. Tahıl proteinleri, sınırlı protein sindirilebilirlikleri nedeniyle yüksek kalitede kabul edilmez (Nilsson vd., 2018). Bu sınırlı sindirilebilirliğin artırılması üzerine literatür çalışmaları özellikle fermantasyonunun olumlu etki göstermesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Protein biyoerişilebilirlik bulgularının amino asit düzeylerinde meydana gelen değişimler ile birlikte değerlendirilmesi tavsiye edilmiştir (Coda vd., 2017; Rizello vd., 2010).

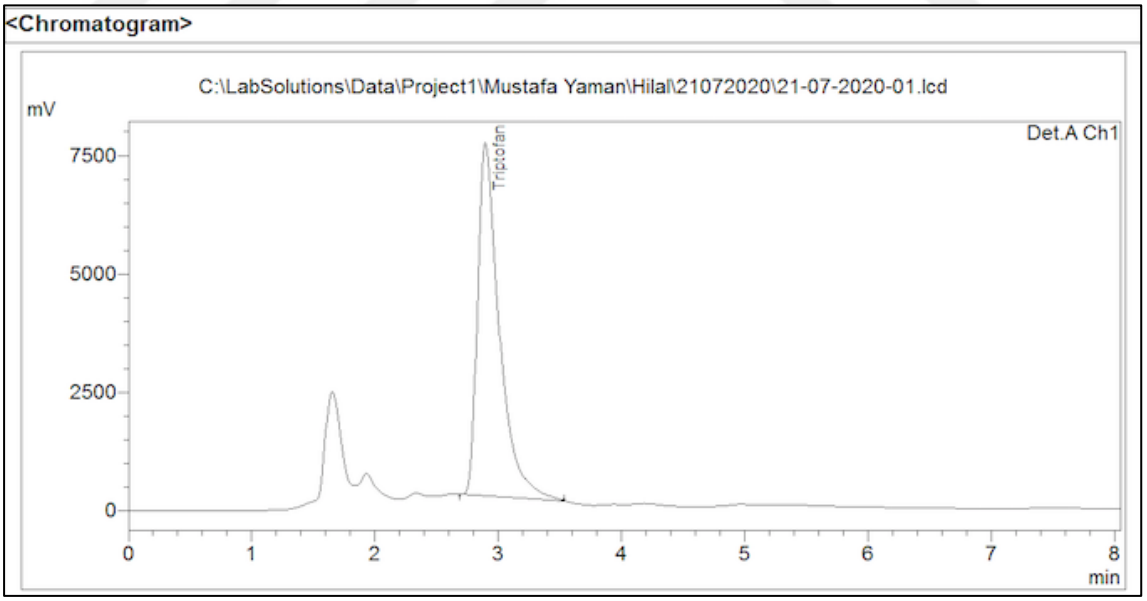
4.5.5 Ekmek Örneklerinin Amino Asit Profilleri

Ekmek örneklerinin ve analiz standartlarının içermiş olduğu amino asit değerleri Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de sunulmuştur.

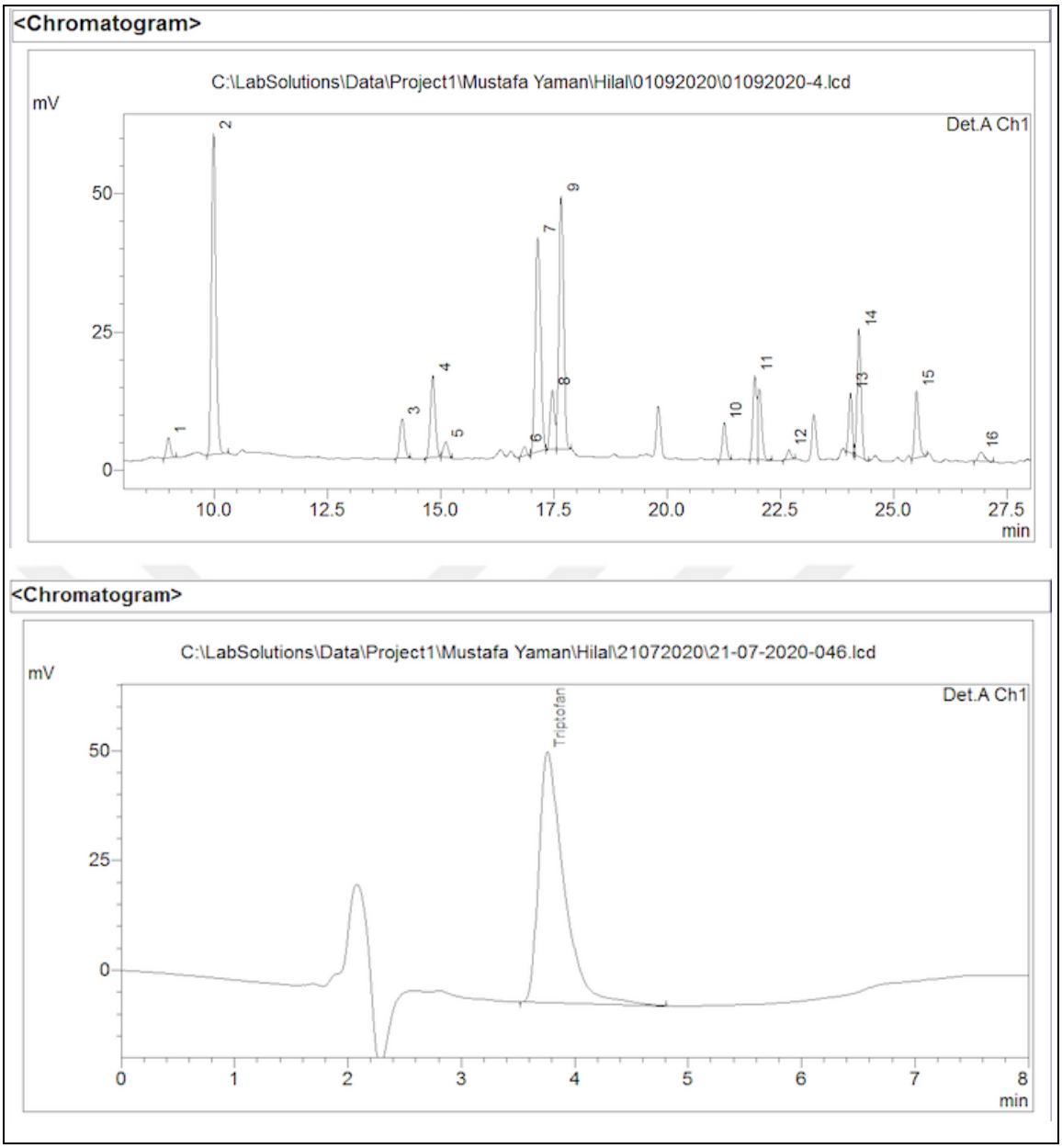


Şekil 4.13 Genel amino asit analiz standardına ait kromotogram*

*(1:Aspartik asit, 2:Glutamik asit, 3:Serin, 4:Glisin, 5:Histidin, 6:Arjinin, 7:Treonin, 8:Alanin, 9:Prolin, 10:Tirozin, 11:Valin, 12:Metiyonin, 13:İzolösin, 14:Lösin, 15:Fenilalanin, 16:Lizin)



Şekil 4.14 Triptofan analiz standardına ait kromotogram



Şekil 4.15 1b30 kodlu ekmeğe ait kromotogram*

* (1:Aspartik asit, 2:Glutamik asit, 3:Serin, 4:Glisin, 5:Histidin, 6:Arjinin, 7:Treonin, 8:Alanin, 9:Prolin, 10:Tirozin, 11:Valin, 12:Metiyonin, 13:İzolösin, 14:Lösin, 15:Fenilalanin, 16:Lizin)

Ekmek örneklerinin içermiş olduğu amino asit değerleri Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'de gösterilmiştir.

Tablo 4.12 Ekmek örneklerinin esansiyel amino asit düzeyleri (mg/100g)*

Örnek	İzolösin	Lösin	Lizin	Metionin	Fenilalanin
1b30	348,64±1,36Ab	785,25±29,96Aa	84,61±11,62Bc	61,62±2,47Bb	499,61±2,14Aa
1b25	341,75±19,92Bb	721,56±22,77a	131,85±17,29Bb	70,07±5,26Ab	448,48±17,23Bb
kb	459,13±44,61a	736,82±10,15a	267,91±20,41a	122,26±8,19a	473,22±9,89b
2b30	338,44±13,07Ab	676,5±17,46Bc	129,2±1,5Ac	111,01±19,74Aa	412,04±30,29Ba
2b25	439,06±23,06Aa	897,47±8,29Aa	184,91±3,55Ab	72,81±7,51Ab	562,8±17,34Ab
kb	459,13±44,61a	736,82±10,15b	267,91±20,41a	122,26±8,19a	473,22±9,89ab
1tb30	425,43±17,41Ba	891,66±15,45Ba	205,02±16,27Aa	101,46±1,45Bb	470,47±10,3Ba
1tb25	371,33±16,68Ab	840,69±26,96Ab	234,67±21,46Aa	113,35±5,15Ba	492,25±10,62Aa
ktb	332,56±40,87b	627,98±5,37c	221,45±3,81a	88,68±3,61b	454,84±31,55b
2tb30	480,13±33,96Aa	1093,04±56,36Aa	188,32±7,91Bb	198,24±10,07Aa	556,46±1,6Aa
2tb25	352,9±8,95Ab	613,28±9,06Bb	144,65±2,78Bc	137,01±12,13Ab	475,19±11,07Ab
ktb	332,56±40,87b	627,98±5,37b	221,45±3,81a	88,68±3,61c	454,84±31,55b

Tablo 4.12 Ekmek örneklerinin esansiyel amino asit düzeyleri (mg/100g)* (devamı)

Örnek	Treonin	Triptofan	Valin	Histidin	Arjinin
1b30	197,08±5,08Ab	68,24±2,36Aa	356,89±11,8Ab	192,54±8,51Bbc	243,88±4,84Aa
1b25	211,86±10,66Ab	60,83±2,86Bb	347,34±7,43Ab	222,06±10,15Bb	225,03±23,93Ba
kb	255,7±15,55a	56,61±2,17c	390,76±13,28a	330,21±10,32a	238,54±25,85a
2b30	226,03±23,82Aa	58,36±0,74Bb	341,75±21,72Ab	345,72±25,22Aa	269,34±18,41Aa
2b25	219,78±19,26Aa	64,21±3,28Aa	369,4±29,12Aab	264,41±27,42Ab	270,96±2,77Aa
kb	255,7±15,55a	56,61±2,17b	390,76±13,28a	330,21±10,32a	238,54±25,85b
1tb30	207,58±15,52Ba	63,55±4,92Aa	387,42±7,23Ba	311,85±26,83Bb	259,67±1,92Ab
1tb25	184,7±2,01Ab	64,30±1,76Aa	361,99±16,84Aa	385±14,3Aa	241,62±1,83Ab
ktb	204,69±12,17a	56,92±1,04b	339,82±5,09b	391,75±31,33a	281,16±10,28a
2tb30	263,57±6,25Aa	66,31±5,03Aa	454,55±13,22Aa	427,39±20,55Aa	228,93±11,73Bb
2tb25	167,95±8,88Bc	65,98±0,69Aa	248,4±14,15Bc	236,69±28,03Bb	195,49±12,82Bb
ktb	204,69±12,17b	56,92±1,04b	339,82±5,09b	391,75±31,33a	281,16±10,28a

* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-c:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05)

Tablo 4.13 Ekmek örneklerinin diğer amino asit düzeyleri (mg/100g)

Örnek	Aspartik asit	Glutamik asit	Serin	Glisin	Alanin	Prolin	Tirozin
1b30	192,96±17,6Bc	2775,47±71,18Ab	373,75±15,17Bb	354,59±9,38Bb	310,11±13,82Bb	1563,05±49,78Bb	274,92±4,12Ba
1b25	277,63±7,21Aa	3328,73±178,05Aa	430,19±0,35Aa	355,26±10,31Bb	316,47±6,43Ab	1308,92±56,37Bc	263,95±5,14Ab
kb	250,69±0,29b	3439,13±190,14a	303,62±2,86c	421,53±6,67a	437,11±22,32a	1760,86±0,5a	283,31±15,58a
2b30	268,07±9,02Aa	2896,27±56,96Ab	428,36±34,8Aa	416,61±11,37Ab	408,53±35,29Aa	1764,61±46,72Aa	327,94±0,37Aa
2b25	267,18±5,64Aa	2850,75±217,83Bb	435,97±6,07Aa	456,22±4,8Aa	368,52±14,81Ab	1479,07±22,5Ab	264,61±14,29Ab
kb	250,69±0,29b	3439,13±190,14a	303,62±2,86b	421,53±6,67b	437,11±22,32a	1760,86±0,5a	283,31±15,58b
1tb30	337,93±16,23Ba	3764,64±53,96Aa	476,88±2,50Ba	435,29±24,36Bb	358,48±30,25Bb	1230,76±32,87Ba	296,65±3,21Bb
1tb25	335,8±6,26Ba	2814,09±62,72Ab	439,77±28,99Ab	465,43±9,03Aa	439,77±32,34Aa	1234,6±66,1Aa	315,66±12,29Aa
ktb	339,15±12,48a	2673,26±9,43c	469,3±10,5b	419,26±20,54b	402,19±11,32a	1207,09±37,41a	283,36±4,69b
2tb30	410,69±4,41Aa	2653,88±61,8Bab	522,73±16,22Aa	461,4±9,4Aa	493,49±6,38Aa	1601,51±77,97Aa	315,85±A2,8a
2tb25	381,22±6,59Ab	2942,1±130,1Aa	345,56±28,95Bc	406,52±31,07Bb	352,66±24,22Bc	1226,37±40,92Ab	289,92±4,69Bb
ktb	339,15±12,48c	2673,26±9,43b	469,3±10,5b	419,26±20,54b	402,19±11,32b	1207,09±37,41b	283,36±4,69b

* 1b30: tip-1 fermantasyon-buğday unu-30°C; 1tb30: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 1b25: tip-1 fermantasyon-buğday unu-25°C; 1tb25: tip-1 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; 2b30: tip-2 fermantasyon-buğday unu-30°C; 2tb30: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-30°C; 2b25: tip-2 fermantasyon-buğday unu-25°C; 2tb25: tip-2 fermantasyon-tam buğday unu-25°C; kb: buğday unu kontrol örneği; ktb: tam buğday unu kontrol örneği. İki işlem tekrarı ve paralel analiz sonuçları ile elde edilen veriler; ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **A-B:** aynı sütunda yer alan farklı büyük harfler aynı sıcaklık koşulunda fermantasyonun etkisini, **a-c:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05).

Tablo 4.12'de ifade edildiği şekilde kb ve ktb kodlu kontrol ekmeklerinin sırasıyla 473,22 mg/100 g ve 454,84 mg/100 g olan fenilalanin içeriği ekşi hamur fermantasyonun etkisi ile 2b30 kodlu ekmekte 412,04 mg/100 g ve 2tb30 kodlu ekmekte 556,46 mg/100 g seviyesine yükseldiği görülmektedir. Örneklerin valin içeriği ise 248,4 mg/100 g ve 454,55 mg/100 g değerleri arasında değişmektedir. Fenilalanin ile benzer şekilde en yüksek değer 2tb30 kodlu ekmeğe ait olarak bulunmuştur. Çocukluk- gelişme çağı ve özel beslenme durumlarında esansiyel olan histidin ve arjinin değerleri incelendiğinde ise histidin en düşük 192,54 mg/100 g olarak 1b30; 427,39 mg/100 g olarak 2tb30 kodlu ekmeğe ait olarak bulunmuştur. Tip-2 fermantasyonla hazırlanan örneklerde tip-1'e göre artış tespit edilmiştir. Arjinin miktarı incelendiğinde ise tip-1 ve tip-2 fermantasyon yönteminin arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (p>0,05).

Tablo 4.13 incelendiğinde serin değeri 303,62 mg/100 g ile kb kodlu kontrol ekmeğine ait iken, fermantasyonun etkisi ile en yüksek 522,73 mg/100 g olarak 2tb30 kodlu ekmeğe ait olarak tespit edilmiştir. Glisin miktarı ise 354,59 mg/100 g ile 465,43 mg/100 g arasında değişmektedir. 2tb30, 2b25 ve 1tb25 kodlu örnekler için kontrol ekmeğine kıyasla istatistiksel olarak önemli artış gözlenmektedir (p<0,05). Tablo 4.13'de gösterildiği şekilde alanin değeri örnekler içinde en yüksek 2tb30 kodlu ekmeğe ait olarak bulunmuştur. Prolin değerleri incelendiğinde tam buğday ununda hazırlanan ekmeklerde daha yüksek miktarlarda olduğu anlaşılmaktadır. Tirozin miktarı ise 263,96 mg/100 g ve 327,94 mg/100 g değerleri arasında tespit edilmiştir. En yüksek tirozin miktarı 2b30 kodlu ekmekte bulunmuştur.

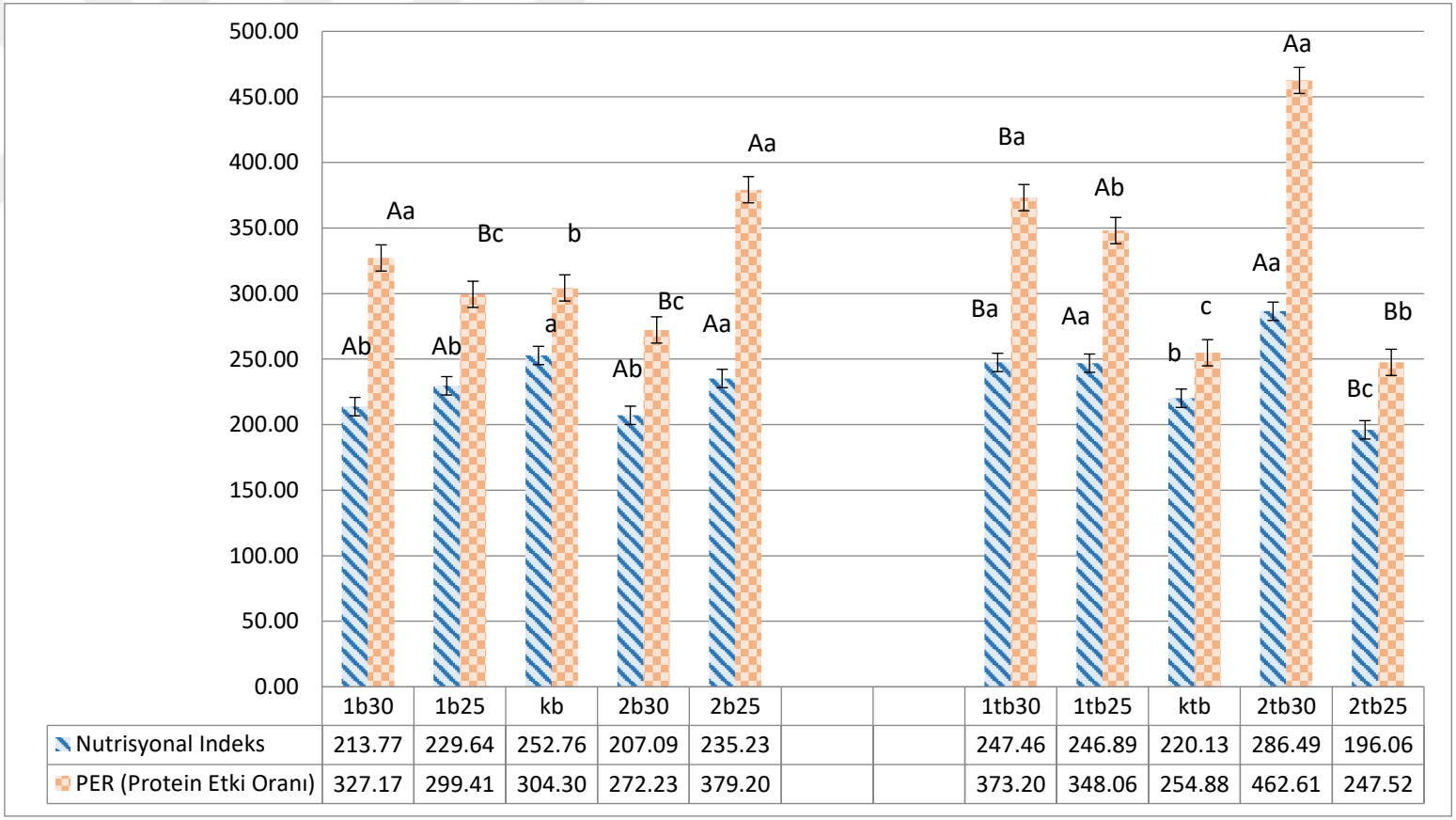
Diana vd. (2014) ekşi hamur ekmeklerinde amino asit ve akrilamid seviyelerini inceledikleri araştırma sonuçlarına göre genel olarak fermantasyon esnasında amino asit seviyelerinde önemli artış tespit etmişlerdir. Kontrol grubu olarak kullandıkları ticari maya ile üretilen ekmeklerin amino asit düzeyleri ekşi hamur ekmeğine göre daha düşük bulunmuş, bu bulgu hamurda mevcut olan amino asiti mayaların gelişimi için kullanması ile açıklanmıştır.

Tahıllar lizin, treonin, metiyonin, triptofan ve izolösin amino asitlerini düşük miktarda içermektedir. Günlük diyette gerekli düzeyi karşılayamayacak kadar az

bulunan esansiyel amino asitler gıda ürününün sınırlı amino asitleri olarak tanımlanmaktadır. Tahıllar için lizin ve metiyoninin sınırlı amino asit olduğu bilinmektedir (Chavan ve Chavan, 2011). Tez bulgularına göre ekşi hamur fermantasyonu ile birlikte tam buğday ekmeklerinde metiyonin seviyelerinde meydana gelen artış önemli bulunmuştur (p<0,05).

Amino asitler fermente tahıl ürünlerinin tat oluşumu ve uçucu aroma bileşenleri üzerinde etkilidir. Amino asitler mikrobiyal dönüşümler için substrat görevi görmekte ve/veya pişirme ile birlikte lezzet öğrelerini oluşturmaktadır. Bu bilgilere göre fermantasyon esnasında sınırlı ölçüde proteolizin ekmek lezzetini de artırabileceği bildirilmiştir (Thiele vd., 2002). Tez bulgularında yer alan duyusal analiz sonuçları ile amino asit düzeyleri ilişkilendirildiğinde analistler tarafından en çok beğenilen ekşi hamur ekmeğinin 2tb30 kodlu ekmek olması bu ekmekğin diğer örnekler arasında (lizin amino asiti haricinde) en yüskek amino asit seviyelerine sahip olması ile açıklanabilmektedir.

Protein sindiriminin örneklerin amino asit profiline göre değerlendirilmesi amacı ile PER ve NI değerleri hesaplanmıştır. PER ve NI değerlerine ait bulgular Şekil 4.16'da gösterilmektedir.



	1b30	1b25	kb	2b30	2b25			1tb30	1tb25	ktb	2tb30	2tb25
Nutrisyonal Indeks	213.77	229.64	252.76	207.09	235.23			247.46	246.89	220.13	286.49	196.06
PER (Protein Etki Oranı)	327.17	299.41	304.30	272.23	379.20			373.20	348.06	254.88	462.61	247.52

Şekil 4.16 Protein etki oranı ve nutrisyonel indeks değerleri

Şekil 4.16'da ifade edildiği şekilde, PER ve NI değerleri fermantasyonun etkisini ortaya koymaktadır. Hidroliz sonrası örneklerin amino asit profiline göre (lösin ve tirozin) hesaplanan PER değeri 2tb30 kodlu örnekte; kontrol örneği ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak iki katına çıkmıştır (sırasıyla 254,88 ve 462,61). Tam buğday ekmeklerinde aynı fermantasyon koşullarında 30°C'nin PER değerini artırmada daha etkili sonuç verdiği anlaşılmaktadır. Tam buğday ekmeklerinde PER değerlerinin kontrol örneğine göre artışında, 2tb25 kodlu ekmek haricinde, fermantasyonun etkisi anlamlı bulunmuştur (p<0,05). Buğday unu ile hazırlanan örnekler arasında ise 1b30 ve 2b25 kodlu ekmeklerin PER değerlerinde artış istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

Esansiyel amino asit miktarı ve % protein değerleri kullanılarak hesaplanan NI değerleri; proteini hem kalitatif hem de kantitatif değerlendirme imkanı sunmaktadır (Curiel vd., 2014). Şekil 4.16'da yer alan bulgulara göre NI değerleri 196,06 ile 286,49 arasında değişkenlik göstermektedir. Ekmeklik buğday unu ile hazırlanan örneklerde kontrol örneğine göre artış gözlenmezken, tam buğday ekmeklerinde PER değerlerine benzer şekilde 2tb25 kodlu örnek haricinde tüm örneklerde artış tespit edilmiştir. Bu artış istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

Toplam protein içeriği baz alınarak hesaplanan protein biyoerişilebilirliği sonuçlarınının tüm örneklerde benzer olması literatürde proteoliz derecesinin gizlenmesi ile ilişkilendirilmiştir (Rizello vd., 2004). Örnekler arasında farkı değerlendirmek amacı ile protein sindirilebilirliğinin ifadesinde; nutrisyonel indeks ve protein etki oranının yanısıra kimyasal skor, esansiyel amino asit indeksi ve biyolojik değer gibi amino asit profiline göre hesaplanan sonuçların da yer verilmesi önerilmektedir (Coda vd., 2017).

4.6 Ekmek Örneklerinin *in vivo* Glisemik İndeksi

4.6.1. Bireylerin Antropometrik Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Araştırmaya katılan gönüllü bireylere ait yaş, boy (cm), ağırlık (kg), beden kütle indeksi (kg/ m2) ve toplam ağırlık içinde yağ oranı (%) Tablo 4.14'de sunulmuştur.

Tablo 4.14 Bireylerin antropometrik ölçüm değerleri

	Kadın	Erkek	Toplam
Yaş	21,67±2,02	22±1,85	21,8± 1,91
Boy (cm)	166,83±3,09	178,75±9,57	171,6± 8,67
Ağırlık (kg)	55,38± 8,13	74,71±17,95	62,75 ±16,21
BKİ (kg/ m²)	19,75± 2,16	21,72±3,76	20,54± 2,99
Yağ oranı (%)	23,73±7,86	14,98± 5,49	20,23±8,14

Katılımcıların beyanları doğrultusunda besin alerjisi ve intoleransı olmayan, glukoz toleransını etkileyen her hangi bir ilaç kullanımı olmayan, diyabet öyküsü olmayan, son üç ayda cerrahi operasyon geçirmemiş olan, sindirimi ve emilimi etkileyen hastalığı olmayan gönüllü bireyler araştırmaya dahil edilmişlerdir.

Tablo 4.14'de ifade edildiği şekilde araştırmaya katılan 20 gönüllü bireye ait yaşların cinseyete göre ortalama değerleri kadınlarda 21,67 iken erkek katılımcılarda 22'dir. Yağ oranları incelendiğinde ise kadın katılımcıların yağ oranları 23,73±7,86 iken erkek katılımcılarda bu oran 14,98± 5,49 olarak tespit edilmiştir. Bireylere ait BKİ değerleri Tablo 4.14'de yer aldığı şekilde 17,55 ile 23,53 kg/m^2 arasında tespit edilmiştir. Araştırma protokolü gereği obez bireyler (BKİ> 30 kg/ m^2) araştırmaya dahil edilmemiştir.

4.6.2 Bireylerin Kan Glukoz Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Katılımcılara referans gıda olarak 50 g glukoz; 200 mL içme suyu ile çözelti haline getirilerek tükettirilmiştir. Bireylerin glukoz çözeltisi tüketimi ile birlikte 0-120 dk arasında glukometre ile ölçülen kan glukozu (mg/dL) değerleri Tablo 4.15'de sunulmuştur.

Tablo 4.15 Test örneklerine ait kan glukozu ölçüm değerleri (mg/dL)

		Cinsiyete göre ve toplam olarak ifade edilen ölçümler		
Örnek		Kadın (n=10)	Erkek (n=10)	Toplam (n=20)
Glukoz	0	88,5 ±5,05	95,33± 8,11	91,91± 7,37
	15	113,66± 15,64	123 ±16,51	118,33± 16,09
	30	152 ±18,46	145,33 ±13,49	148,66± 15,80
	45	151,17± 22,04	154± 19,98	152,58± 20,11
	60	139,83 ±26,86	142,83 ±24,52	141,33± 24,57
	90	116,5 ±15,89	117,16 ±15,29	116,83± 14,87
	120	102,16± 12,04	100,66± 8,96	101,42± 10,14

12 saat açlık kan şekerini ifade eden 0.dk kan glukozu ölçümleri ortalamasının 100 mg/dL'nin altında olması katılımcıların sağlıklı bireyler olduğunu ve diyabet öyküleri olmadığını doğrulamaktadır. Açlık kan şekerinin 126 g/dL üzerinde olması bireyin diyabet hastası olduğuna işaret etmektedir (Luo vd., 2012). Zamana göre kan glukoz seviyelerindeki değişim için Tablo 4.15 incelendiğinde her iki cinsiyette de 45. dakikada kan glukozunun en yüksek seviyeye ulaştığı anlaşılmaktadır. Referans gıda olarak glukoz tüketimi beklendiği şekilde kan glukozu seviyesini hızlı bir şekilde artırarak 45.dk'dan sonra hızlı bir şekilde düşürmüştür.

Tablo 4.16'da ise araştırma protokolüne uygun olacak şekilde katılımcılar tarafından farklı günlerde tüketilerek bireylerin kan glukoz ölçümleri ile belirlenen test gıdalarına ait ölçüm değerleri ifade edilmiştir.

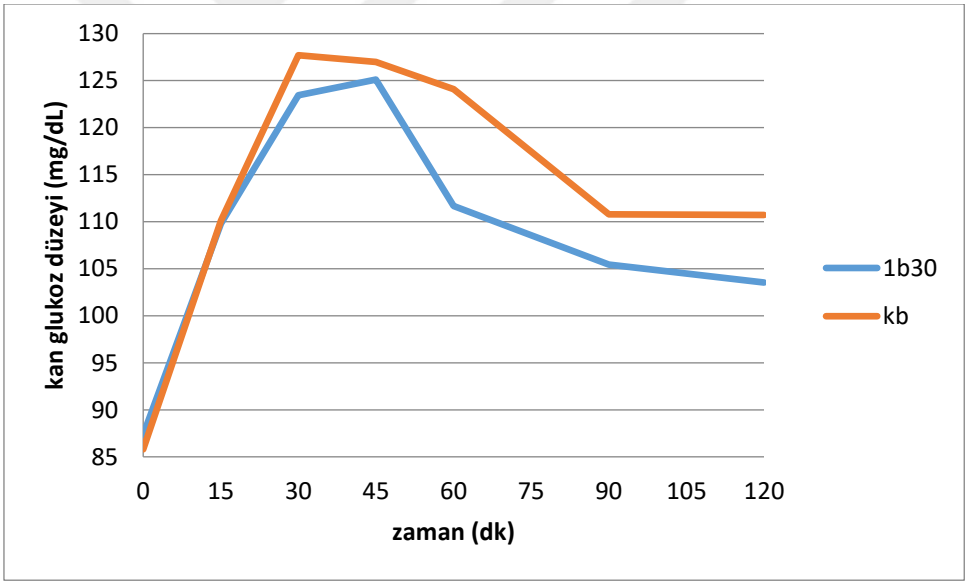
Tablo 4.16 Test örneklerine ait kan glukozu ölçüm değerleri (mg/dL)

		Cinsiyete göre ve toplam olarak ifade edilen ölçümler		
Örnek		Kadın (n=5)	Erkek (n=5)	Toplam (n=10)
1b30	0	84,67±6,83	92,7±1,21	87,34±6,76
	15	113,83± 15,24	101,67± 12,58	109,78 ±14,89
	30	128,67 ±17,61	113± 18,36	123,44± 18,43
	45	129,16± 14,25	117 ±12,29	125,11± 14,20
	60	109,5± 8,02	116± 7,94	111,66± 8,15
	90	106,17± 13,88	104± 7	105,44± 11,57
	120	103,17± 12,09	104,33 ±5,86	103,55± 10,01
kb	0	85,16 ±8,06	86,75± 0,96	85,8± 6,09
	15	106,33± 12,32	115,75 ±14,97	110,1± 13,52
	30	127,5 ±12,77	128 ±12,83	127,7± 12,07
	45	129,5 ±19,66	123,25 ±12,74	127 ± 16,71
	60	125,66± 16,92	121,75 ±20,45	124,1± 17,39
	90	108,66± 7,39	114 ±15,81	110,8 ±11,03
	120	110,5 ±8,67	111 ±14,72	110,7 ±10,68
		Kadın (n=5)	Erkek (n=5)	Toplam (n=10)
1tb30	0	83,16 ±4,07	88 ±1,15	85,1± 3,98
	15	111,66 ± 9,87	101,75± 3,59	107,7± 9,20
	30	126,66 ±17,08	132,25± 7,89	128,9± 13,83
	45	129± 11,82	133 ±17,05	130,6± 13,37
	60	128,5± 18,77	126,5± 7,14	127,5± 13,9
	90	106,5 ±9,99	107,25± 8,22	106,8 ±8,84
	120	110,33± 7,15	109,25± 6,65	109,9 ±6,59
ktb	0	83,4± 1,51	88,75± 4,11	85,77± 3,92
	15	116± 12,29	112,5 ±11,45	114,44± 11,31
	30	147± 11,72	134,5± 16,3	141,44± 14,55
	45	126,4± 12,60	128,5± 14,15	127,33 ±12,48
	60	120,8± 19,45	109 ±11,40	115,55± 16,64
	90	102,8 ±15,22	106,5 ±9,04	104,44± 12,26
	120	109,6 ±15,40	101,25 ±10,21	105,88± 13,30

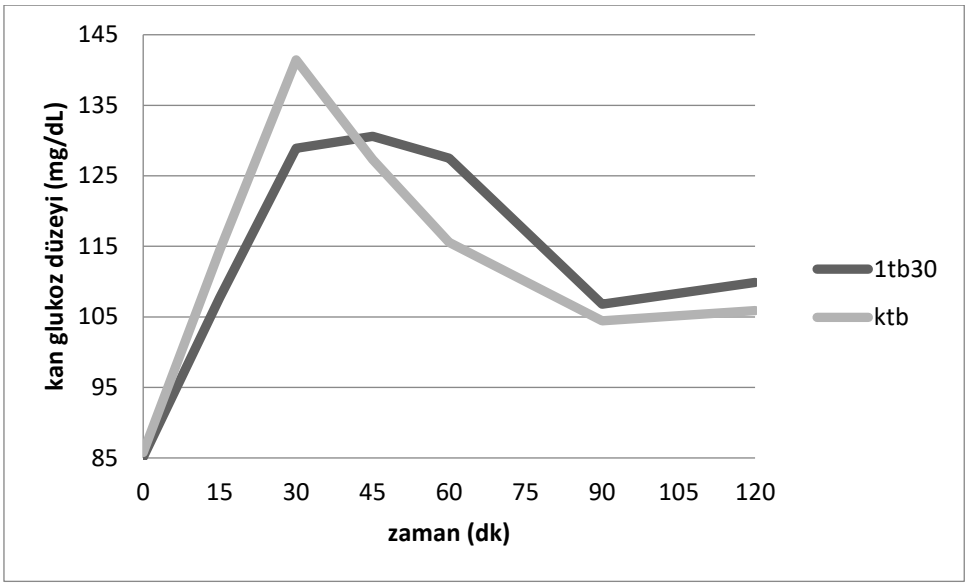
1b30 kodlu ekmek kontrolü olan kb ile; 1tb30 kodlu ekmek ise kontrolü olan ktb kodlu ekmek ile karşılaştırılmıştır. 0-120 dk'lık ölçüm periyodu içinde 1b30 ve 1tb30 kodlu örneklerin kontrol örneklerine göre kan glukoz seviyelerinde meydana gelen ölçüm farkları istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p>0,05).

Tablo 4.15'de ifade edilen glukoz tüketimi sonrası ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında, test gıdası tüketimi sonrasında dakikalara göre kan glukozu seviyeleri belirgin olarak azalmıştır. Kan glukozu seviyelerinde referans gıdaya benzer şekilde genel olarak en yüksek seviyeye 45.dk'da ulaşılmış, fakat 0-120 dk arasındaki glukoz salımı daha yavaş ve az miktarda gerçekleşmiştir. Bu durum glisemi eğrileri altında kalan alanı oluşturduğundan glisemik indeks değerlerinde belirleyici olmaktadır. 1b30 kodlu örnekte en yüksek değer 125,11± 14,20 mg/dL iken 120 dk sonunda bu değer 103,55± 10,01 mg/dL olarak tespit edilmiştir. 1tb30 kodlu örnekte ise en yüksek değer 130,6± 13,37 mg/dL olarak tespit edilmiş ve 120 dk sonunda 109,9 ±6,59 mg/dL seviyesine düşmüştür.

Ekşi hamur ekmekleri 1b30 ve 1tb30 kodlu örneklerin; kontrol örnekleri (sırasıyla kb ve ktb kodlu örnekler) ile birlikte zamana karşılık kan glukoz değerleri ile hazırlanan glisemi eğrileri Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de sunulmaktadır.



Şekil 4.17 1b30 ve kb kodlu örneklere ait glisemi eğrisi



Şekil 4.18 1b30 ve kb kodlu örneklere ait glisemi eğrisi

4.6.3 Ekmek Örneklerinin in vivo Glisemik İndeks Değerleri

ISO 26642 yöntemine göre tespit edilen *in vivo* glisemik indeks değerleri Tablo 4.17'de ifade edilmiştir.

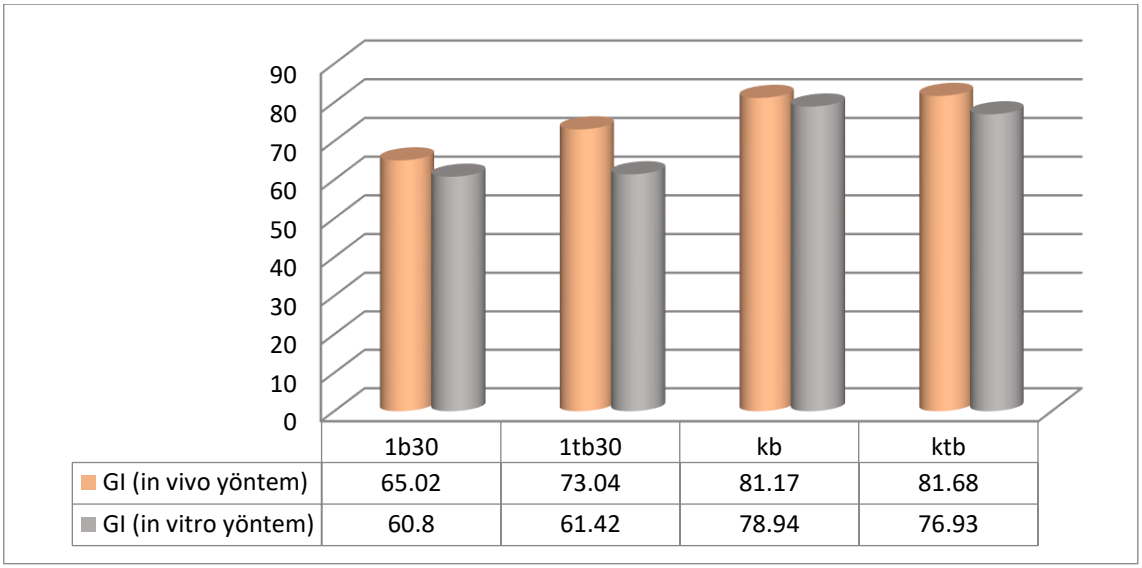
Tablo 4.17 Ekmek örneklerinin *in vivo* yöntem ile tespit edilen GI değerleri

Örnek	GI (*in vivo* yöntem)
1b30	65,02 ± 3,46 b
kb	81,17 ± 2,27a
1tb30	73,04 ± 5,04b
ktb	81,68 ± 3,62a

*(n=10) ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. **a-b:** aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ise aynı fermantasyon tipi için sıcaklığın etkisini gösterir (p<0,05).

Test gıdasının zamana karşı kan glukozu değerleri ile elde edilen eğrinin altında kalan alanın; referans gıdanın zamana karşı kan glukozu değerleri ile elde edilen eğrinin altında kalan alanınına oranlanması ile elde edilen bulgulara göre GI değerleri 1b30 kodlu ekmek için 65,02; 1tb30 kodlu ekmek için 73,04; kb kodlu ekmek için 81,17 ve ktb kodlu ekmek için 81,68 olarak tespit edilmiştir.

Her iki yöntemin (*in vivo* ve *in vitro*) birlikte değerlendirilebilmesi amacı ile analiz sonuçlarına ait bulgular Şekil 4.19'da sunulmaktadır.



	1b30	1tb30	kb	ktb
GI (in vivo yöntem)	65.02	73.04	81.17	81.68
GI (in vitro yöntem)	60.8	61.42	78.94	76.93

Şekil 4.19 Glisemik indeks değerleri (*in vivo* ve *in vitro*)

Şekil 4.19'da da ifade edildiği gibi her iki yöntemle elde edilen glisemik indeks bulguları birbirine oldukça yakın değerlerdir. Örnekler arasında 1tb30 kodlu ekmekte ise yöntemler arası farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu farkın araştırmaya katılan gönüllü bireylere ait sebeplerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Literatürde aynı birey üzerinde bu ölçüm sayısının artırılması tavsiye edilmektedir (Wolever, 2003), ancak pandemi sebebiyle *in vivo* çalışmaya devam edilememiş ve tüm ekmek örnekleri için yapılması planlanan *in vivo* ölçümler 4 örnekte (1b30, 1tb30, kb ve ktb) tamamlanabilmiştir.

Literatür araştırmalarında *in vitro* analizlerin *in vivo* ölçümler ile karşılaştırma sonuçlarına göre; yöntemler arası farkın oldukça düşük olduğu bildirilmiştir. Scazzina vd. (2009) dört farklı ekmek kullanarak yürüttüğü çalışmada ekşi hamur ve ticari maya kullanarak fermantasyonun GI üzerindeki etkisini ölçmüştür. Bu çalışmada hem *in vitro* olarak nişasta sindirimi hem de sağlıklı bireyler tarafından ekmeklerin tüketimi sonrası kan glukozu düzeyi takip edilmiştir. Araştırma bulgularına göre ekşi hamur fermantasyonunun GI düzeyini azaltmada etkili bir yöntem olduğu bildirilmiştir.

Wolever vd. (2008) tarafından 28 ayrı klinik ve 311 gönüllü birey aracılığı ile yürütülen çok merkezli bir glisemik indeks araştırma sonuçlarına göre test gıdalarının standart sapmaları 8 olarak tespit edilmiş ve GI analiz yöntemini geliştirmek için kontrollü çalışmalar ve maliyet-fayda analizlerinin gerekliliği bildirilmiştir.

Diyette hızla sindirilebilen karbonhidrat miktarında bir artış, özellikle tokluk periyodunda kan glukozu düzeylerini artırmaktadır. Batı diyetindeki karbonhidrat kaynakları, hızlı sindirilebilir nişasta bakımından zengin olması sonucu fırıncılık ürünleri, kahvaltılık tahıllar, patates ile hazırlanan ürünler gibi birçok yaygın nişastalı gıdanın yüksek glisemik indekse sahip olduğu bilinmektedir. Ağırlıklı olarak yüksek GI değerine sahip gıdaların tüketimi; periyodik olarak yükselmiş plazma glukozuna ve sağlığı bozucu insülin konsantrasyonlarına yol açabilmektedir (Barclay vd., 2008).

Tüm bu literatür bilgileri ışığında ekşi hamur fermantasyonunun beklenen sağlık etkilerini karşılamada ticari maya ile üretilen ekmeğe göre oldukça üstün olduğunu göstermektedir. Tez bulgularına göre ekşi hamur ilavesinin glisemik indeks değerlerinde sağladığı azalma literatür bilgileri ile de desteklenmektedir (Fois vd., 2018; Shumoy vd., 2018; Scazzina vd., 2009).

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında iki tip (tip-1 ve tip-2) ekşi hamur; farklı sıcaklık koşulları altında (25 ve 30°C) ekmeklik buğday unu ve tam buğday unu kullanılarak elde edilmiştir. Ekşi hamurun mikrobiyolojik özellikleri laktik asit bakterisi ve maya sayımı yapılarak sonuçlar log kob/g cinsinden ifade edilmiştir. Sekiz çeşit ekşi hamur ekmeği ve iki çeşit kontrol grubu olmak üzere toplamda 10 farklı ekmek tekerrürlü olarak üretilmiştir. Ekmek örneklerinde kimyasal kompozisyon analizleri (nem, kül, proetin, yağ ve diyet lifi) ve fiziksel analizler (tekstür profili; termal özellikler ve hacim ölçümü) yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır. Ekmek örneklerinde nişasta kompozisyonu; dirençli nişasta, hızlı sindirilen nişasta, yavaş sindirilen nişasta ve toplam nişasta olarak ifade edilmiş ve örneklerin *in vitro* glisemik indeksi belirlenerek fermantasyon ve sıcaklık koşullarının etkisi incelenmiştir. Tüm ekmek örneklerinde yapılması planlanan *in vivo* glisemik indeks tespiti ise pandemi koşulları sebebi ile tamamlanamayarak toplamda dört çeşit ekmek üzerinde analiz edilmiştir. Ekmek örneklerinde protein ve mineral biyoerişilebilirlik düzeyleri *in vitro* koşullarda analiz edilerek sonuçlar elde edilmiştir. Ekmek örneklerinin aminoasit profili belirlenerek farklı fermantasyon koşullarının aminoasit profili üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen önemli sonuçlar aşağıda yer almaktadır:

- Saf bakteri suşlarının ilavesi ile hazırlanan tip-2 ekşi hamurun içermiş olduğu LAB ve maya düzeyi spontan yöntem (tip-1)'e göre yüksek bulunmuştur (p<0,05). Aynı fermantasyon tipinde sıcaklık koşullarının etkisi değerlendirildiğinde 30°C'de LAB miktarı daha yüksek düzeye ulaşmıştır.
- Ekşi hamur kullanılarak hazırlanan ekmek örneklerinde kimyasal kompozisyon analizleri ve fiziksel analiz sonuçları ekşi hamur ilavesinin hem kimyasal hem de fiziksel özellikleri değiştirdiğini göstermiştir. Ekşi hamur ilavesiyle birlikte elastikiyet, dirençlilik, yapışkanlık ve spesifik hacim değerleri düşerken, sertlik ve çiğnenenebilirlik değerleri artış

göstermiştir. Tam buğday ekmeklerinin daha sert ve spesifik hacimlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

- Duyusal analiz sonuçları değerlendirildiğinde ise tüketici beklentisini orta düzeyde karşılayabileceği anlaşılmaktadır. Ekşi hamur ekmekleri arasında duyusal olarak en çok beğenilen ekmekler 2tb30 ve 2tb25 kodlu örnekler olmuştur.
- Ekmek örneklerinin *in vitro* glisemik indeks değerlerinde; ekşi hamur ilaveli ekmekler ile kontrol grubu karşılaştırıldığında belirgin bir azalma olduğu görülmüştür. Bu azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,05). Bulgulara göre; 30°C'de tip-2 yöntemle fermantasyonun glisemik indeksi düşürmede daha fazla katkısı olduğu anlaşılmıştır. Glisemik indeks sonuçlarında en etkilli düşüş 2tb30 ve 2tb25 kodlu tam buğday ekmeğinde gerçekleşmiştir.
- Tüm ekmek örneklerinde yapılması planlanan *in vivo* glisemik indeks tespiti pandemi koşulları sebebi ile tamamlanamamış; toplamda 4 çeşit ekmek üzerinde analiz edilmiştir. Hem *in vivo* hem de *in vitro* yöntemle elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakın bulunmuştur.
- Beslenme açısından önemli bir bileşen olan dirençli nişasta değerlerinde aynı sıcaklık koşullarında tip-2 fermantasyon; tip-1'e göre daha etkili artış sağlamıştır. En fazla artış 2tb30 kodlu örnekte tespit edilmiştir.
- Aynı un tipi ile hazırlanan ekmek örneklerinde fermantasyon sıcaklıkları karşılaştırıldığında genel olarak 30 °C'nin mineral biyoerişebilirliğini artırmada daha etkili olduğu; Zn için ise Ca ve Fe'den farklı olarak tip-2 yöntemle elde edilen ekmeklerde 25 °C'nin de benzer şekilde biyoerişilebilirliği artırmada etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Amino asit profilinde esansiyel amino asitler içinde lizin hariç en yüksek miktar 2tb30 kodlu ekmeğe ait olarak tespit edilmiştir. Tip-2 fermentayonun amino asit miktarını artırmada tip-1'e göre daha etkili olduğu bulunmuştur.
- Protein biyoerişilebilirliği sonuçlarında örnekler arası fark önemli bulunmamıştır (p>0,05). Esansiyel amino asit düzeylerine göre hesaplanan

protein etki oranı ve nutrisyonel indeks sonuçları ise özellikle tam buğday unu ile üretilen ekşi hamur ekmeğinin kontrole göre daha yüksek değerlere sahip olduğunu göstermiştir (p<0,05).

Çalışma sonuçlarına göre ekşi hamur fermantasyonunun tüketicinin sağlık beklentilerini karşılayabileceği; özellikle glisemik indeks ve nişasta sindirilebilirliğinin düzenlenmesinde etkil bir strateji olabileceği anlaşılmaktadır. 25 ve 30°C'de yürütülen çalışmanın üçüncü bir sıcaklık değeri olarak 35 °C'de devam ettirilmesi, farklı suş kombinasyonlarının biyoerişilebilirlik üzerine etkilerinin araştırılması ve *in vitro* yöntemlerin; *ex vivo* hücre kültürü çalışmaları ile kombinasyonu ile yürütülmesi ilerleyen araştırmalar için önerilmektedir.

KAYNAKÇA

AACCI (American Association of Cereal Chemists International). 2010. Approved methods of analysis (11th ed.). St. Paul, MN, USA: AACCI. Methods 10-10.03.

Alba, C., Alberto, Á., Leticia, G., & Domingo, F. (2017). Effect of fermentation on microbiological, physicochemical and physical characteristics of sourdough and impact of its use on bread quality. *Czech Journal of Food Sciences*, *35*(6), 496-506.

Angioloni, A., & Collar, C. (2011). Nutritional and functional added value of oat, Kamut®, spelt, rye and buckwheat versus common wheat in breadmaking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *91*(7), 1283-1292.

Annor, G. A., Tyl, C., Marcone, M., Ragaee, S., & Marti, A. (2017). Why do millets have slower starch and protein digestibility than other cereals?. *Trends in Food Science & Technology*, *66*, 73-83.

AOAC (2005). Official methods of analysis (16th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

Arendt, E. K., Moroni, A., & Zannini, E. (2011). Medical nutrition therapy: use of sourdough lactic acid bacteria as a cell factory for delivering functional biomolecules and food ingredients in gluten free bread. *Microbial Cell Factories*, *10*(1), 1-9.

Arendt, E. K., Ryan, L. A., & Dal Bello, F. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food microbiology*, *24*(2), 165-174.

Barampama, Z., & Simard, R. E. (1994). Oligosaccharides, antinutritional factors, and protein digestibility of dry beans as affected by processing. *Journal of Food Science*, *59*(4), 833-838.

Barclay, A. W., Petocz, P., McMillan-Price, J., Flood, V. M., Prvan, T., Mitchell, P., & Brand-Miller, J. C. (2008). Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk—a meta-analysis of observational studies. *The American journal of clinical nutrition*, *87*(3), 627-637.

Bhattarai, R. R., Dhital, S., Wu, P., Chen, X. D., & Gidley, M. J. (2017). Digestion of isolated legume cells in a stomach-duodenum model: three mechanisms limit starch and protein hydrolysis. *Food & function*, *8*(7), 2573-2582.

Bo, S., Seletto, M., Choc, A., Ponzo, V., Lezo, A., Demagistris, A., ... & Gambino, R. (2017). The acute impact of the intake of four types of bread on satiety and blood concentrations of glucose, insulin, free fatty acids, triglyceride and acylated ghrelin. A randomized controlled cross-over trial. *Food research international*, *92*, 40-47.

Bock, M. A. (2000). Minor constituents of cereals. *FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-NEW YORK-MARCEL DEKKER-*, 479-504.

Bottani, M., Brasca, M., Ferraretto, A., Cardone, G., Casiraghi, M. C., Lombardi, G., ... & Silvetti, T. (2018). Chemical and nutritional properties of white bread leavened by lactic acid bacteria. *Journal of Functional Foods*, *45*, 330-338.

BOYACIOĞLU, D., & BOYACIOĞLU, M. H. Diyet Lifi Tayin Yöntemlerinin İrdelenmesi II-Enzimatik Yöntemler. *Gıda*, *19*(3).

Brandt, M. J. (2007). Sourdough products for convenient use in baking. *Food Microbiology*, *24*(2), 161-164.

Bruen, C. M., O'Halloran, F., Cashman, K. D., & Giblin, L. (2012). The effects of food components on hormonal signalling in gastrointestinal enteroendocrine cells. Food & function, 3(11), 1131-1143.

Bryszewska, M. A., Tomás-Cobos, L., Gallego, E., Villalba, M., Rivera, D., Saa, D. L. T., & Gianotti, A. (2019). In vitro bioaccessibility and bioavailability of iron from breads fortified with microencapsulated iron. *LWT*, *99*, 431-437.

Buddrick, O., Jones, O. A., Hughes, J. G., & Small, D. M. (2015). The effect of fermentation and addition of vegetable oil on resistant starch formation in wholegrain breads. *Food chemistry*, *180*, 181-185.

Campo, E., del Arco, L., Urtasun, L., Oria, R., & Ferrer-Mairal, A. (2016). Impact of sourdough on sensory properties and consumers' preference of gluten-free breads enriched with teff flour. *Journal of Cereal Science*, *67*, 75-82.

Carbonaro, M., Grant, G., Cappelloni, M., & Pusztai, A. (2000). Perspectives into factors limiting in vivo digestion of legume proteins: antinutritional compounds or storage proteins?. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, *48*(3), 742-749.

Catzeddu, P. (2011). Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention; Sourdough breads.37-46.

Catzeddu, P. (2019). Sourdough breads. In *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention* (pp. 177-188). Academic Press.

Catzeddu, P., Mura, E., Parente, E., Sanna, M., & Farris, G. A. (2006). Molecular characterization of lactic acid bacteria from sourdough breads produced in Sardinia (Italy) and multivariate statistical analyses of results. *Systematic and applied microbiology*, *29*(2), 138-144.

Chaoui, A., Faid, M., & Belahsen, R. (2006). Making bread with sourdough improves iron bioavailability from reconstituted fortified wheat flour in mice. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 20(4), 217-220.

Chavan, R. S., & Chavan, S. R. (2011). Sourdough technology—a traditional way for wholesome foods: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *10*(3), 169-182.

Cizeikiene, D., Juodeikiene, G., Paskevicius, A., & Bartkiene, E. (2013). Antimicrobial activity of lactic acid bacteria against pathogenic and spoilage microorganism isolated from food and their control in wheat bread. *Food Control*, *31*(2), 539-545.

Clarke, C. I., Schober, T. J., & Arendt, E. K. (2002). Effect of single strain and traditional mixed strain starter cultures on rheological properties of wheat dough and on bread quality. *Cereal Chemistry*, *79*(5), 640-647.

Clemente, A., Vioque, J., Sánchez-Vioque, R., Pedroche, J., Bautista, J., & Millán, F. (2000). Factors affecting the in vitro protein digestibility of chickpea albumins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *80*(1), 79-84.

Coda, R., Cassone, A., Rizzello, C. G., Nionelli, L., Cardinali, G., & Gobbetti, M. (2011). Antifungal activity of Wickerhamomyces anomalus and Lactobacillus plantarum during sourdough fermentation: identification of novel compounds and long-term effect during storage of wheat bread. *Applied and environmental microbiology*, *77*(10), 3484-3492.

Coda, R., Varis, J., Verni, M., Rizzello, C. G., & Katina, K. (2017). Improvement of the protein quality of wheat bread through faba bean sourdough addition. *LWT-Food Science and Technology*, *82*, 296-302.

Corsetti, A., & Settanni, L. (2007). Lactobacilli in sourdough fermentation. *Food research international*, *40*(5), 539-558.

Crisan, E. V., & Sands, A. (1978). *Nutritional value* (pp. 137-168). Academic Press, New York.

Cubadda, F., Aureli, F., Raggi, A., & Carcea, M. (2009). Effect of milling, pasta making and cooking on minerals in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, *49*(1), 92-97.

Dary, O. (2002). Lessons learned with iron fortification in Central America. *Nutrition reviews*, *60*(suppl_7), S30-S33.

Dary, O., & Hurrell, R. (2006). Guidelines on food fortification with micronutrients. *World Health Organization, Food and Agricultural Organization of the United Nations: Geneva, Switzerland*, 1-376.

De Angelis, M., Damiano, N., Rizzello, C. G., Cassone, A., Di Cagno, R., & Gobbetti, M. (2009). Sourdough fermentation as a tool for the manufacture of low-glycemic index white wheat bread enriched in dietary fibre. *European Food Research and Technology*, *229*(4), 593-601.

De Angelis, M., Rizzello, C. G., Alfonsi, G., Arnault, P., Cappelle, S., Di Cagno, R., & Gobbetti, M. (2007). Use of sourdough lactobacilli and oat fibre to decrease the glycaemic index of white wheat bread. *British Journal of Nutrition*, *98*(6), 1196-1205.

De Romana, D. L., Brown, K. H., & Guinard, J. X. (2002). Sensory trial to assess the acceptability of zinc fortificants added to iron-fortified wheat products. *Journal of Food Science*, *67*(1), 461-465.

De Romaña, D. L., Lönnerdal, B., & Brown, K. H. (2003). Absorption of zinc from wheat products fortified with iron and either zinc sulfate or zinc oxide. *The American journal of clinical nutrition*, *78*(2), 279-283.

De Vuyst, L., Harth, H., Van Kerrebroeck, S., & Leroy, F. (2016). Yeast diversity of sourdoughs and associated metabolic properties and functionalities. *International Journal of Food Microbiology*, *239*, 26-34.

De Vuyst, L., Schrijvers, V., Paramithiotis, S., Hoste, B., Vancanneyt, M., Swings, J., ... & Messens, W. (2002). The biodiversity of lactic acid bacteria in Greek traditional wheat sourdoughs is reflected in both composition and metabolite formation. *Applied and Environmental Microbiology*, *68*(12), 6059-6069.

De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., & Leroy, F. (2017). Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation. *Advances in applied microbiology*, *100*, 49-160.

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.

Demirözü, B., Saldamlı, İ., Gürsel, B., Ucak, A., Çetınyokuş, F., & Yüzbaşı, N. (2003). Determination of some metals which are important for food quality control in bread. *Journal of cereal science*, *37*(2), 171-177.

Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M., & Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, *48*(2), 243-257.

Di Cagno, R., De Angelis, M., Lavermicocca, P., De Vincenzi, M., Giovannini, C., Faccia, M., & Gobbetti, M. (2002). Proteolysis by sourdough lactic acid bacteria: effects on wheat flour protein fractions and gliadin peptides involved in human cereal intolerance. *Applied and environmental microbiology*, *68*(2), 623-633.

Diana, M., Rafecas, M., & Quílez, J. (2014). Free amino acids, acrylamide and biogenic amines in gamma-aminobutyric acid enriched sourdough and commercial breads. *Journal of Cereal Science*, *60*(3), 639-644.

Duodu, K. G., Taylor, J. R. N., Belton, P. S., & Hamaker, B. R. (2003). Factors affecting sorghum protein digestibility. *Journal of cereal science*, *38*(2), 117-131.

Englyst, H. N., Kingman, S. M., Hudson, G. J., & Cummings, J. H. (1996). Measurement of resistant starch in vitro and in vivo. *British Journal of Nutrition*, *75*(5), 749-755.

Englyst, K. N., Englyst, H. N., Hudson, G. J., Cole, T. J., & Cummings, J. H. (1999). Rapidly available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glycemic response. *The American journal of clinical nutrition*, *69*(3), 448-454.

Erba, D., Hidalgo, A., Bresciani, J., & Brandolini, A. (2011). Environmental and genotypic influences on trace element and mineral concentrations in whole meal flour of einkorn (Triticum monococcum L. subsp. monococcum). *Journal of cereal Science*, *54*(2), 250-254.

Erickson, R. H., & Kim, Y. S. (1990). Digestion and absorption of dietary protein. *Annual review of medicine*, *41*, 133-139.

Ertop, M. H., & Hayta, M. (2016). Ekşi Hamur Fermantasyonunun Ekmeğin Biyoaktif Bileşenleri Ve Biyoyararlanımı Üzerindeki Etkileri. *Gıda*, *41*(2), 115-122.

Fagbemi, T. N., Oshodi, A. A., & Ipinmoroti, K. O. (2005). Processing effects on some antinutritional factors and in vitro multienzyme protein digestibility (IVPD) of three tropical seeds: breadnut (Artocarpus altilis), cashewnut (Anacardium occidentale) and fluted pumpkin (Telfairia occidentalis). *Pakistan Journal of Nutrition*, *4*(4), 250-256.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO food and nutrition paper 66. Carbohydrates in human nutrition. Report of an FAO/WHO Expert Consultation on Carbohydrates, 14–18 April, 1997, Rome, Italy. FAO, Rome, 1998.

Fardet, A., Leenhardt, F., Lioger, D., Scalbert, A., & Rémésy, C. (2006). Parameters controlling the glycaemic response to breads. *Nutrition research reviews*, *19*(1), 18-25.

Feuillet, C., Langridge, P., & Waugh, R. (2008). Cereal breeding takes a walk on the wild side. *Trends in genetics*, *24*(1), 24-32.

Fois, S., Piu, P. P., Sanna, M., Roggio, T., & Catzeddu, P. (2018). Starch digestibility and properties of fresh pasta made with semolina-based liquid sourdough. *LWT*, *89*, 496-502.

Foster-Powell, K., Holt, S. H., & Brand-Miller, J. C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *The American journal of clinical nutrition*, *76*(1), 5-56.

Frontela, C., Ros, G., & Martínez, C. (2011). Phytic acid content and "in vitro" iron, calcium and zinc bioavailability in bakery products: The effect of processing. *Journal of Cereal Science*, *54*(1), 173-179.

Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, *43*(4), 931-942.

Gåmbaro, A., Varela, P., Gimenez, A., Aldrovandi, A., Fiszman, S. M., & Hough, G. (2002). Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements. *Journal of texture studies*, *33*(5), 401-413.

Gänzle, M. G., & Vogel, R. F. (2003). Contribution of reutericyclin production to the stable persistence of Lactobacillus reuteri in an industrial sourdough fermentation. *International journal of food microbiology*, *80*(1), 31-45.

García-Mantrana, I., Monedero, V., & Haros, M. (2014). Application of phytases from bifidobacteria in the development of cereal-based products with amaranth. *European Food Research and Technology*, *238*(5), 853-862.

Geiger, W. B., & Harris, M. (1942). Dependence of the indigestibility of wool protein upon its polymeric structure. *Journal of Research, National Bureau of Standards*, *29*, 271-277.

Gibney, M. J., Lanham-New, S. A., Cassidy, A., & Vorster, H. H. (2009). Human Nutrition.

Gilani, G. S., Xiao, C. W., & Cockell, K. A. (2012). Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *British Journal of Nutrition*, *108*(S2), S315-S332.

Giuberti, G., & Gallo, A. (2018). Reducing the glycaemic index and increasing the slowly digestible starch content in gluten-free cereal-based foods: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, *53*(1), 50-60.

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*(1-3), 57-69.

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.

Guariguata, L., Whiting, D. R., Hambleton, I., Beagley, J., Linnenkamp, U., & Shaw, J. E. (2014). Global estimates of diabetes prevalence for 2013 and projections for 2035. *Diabetes research and clinical practice*, *103*(2), 137-149.

Gulati, P., Li, A., Holding, D., Santra, D., Zhang, Y., & Rose, D. J. (2017). Heating reduces proso millet protein digestibility via formation of hydrophobic aggregates. *Journal of agricultural and food chemistry*, *65*(9), 1952-1959.

Gül, H., Özçelik, S., Sağdıç, O., & Certel, M. (2005). Sourdough bread production with lactobacilli and S. cerevisiae isolated from sourdoughs. *Process Biochemistry*, *40*(2), 691-697.

Hameed, S., Dhillo, W. S., & Bloom, S. R. (2009). Gut hormones and appetite control. *Oral diseases*, *15*(1), 18-26.

Han, F., Han, F., Wang, Y., Fan, L., Song, G., Chen, X., ... & Han, Y. (2019). Digestible indispensable amino acid scores of nine cooked cereal grains. *British Journal of Nutrition*, *121*(1), 30-41.

He, H. A. N. D., & Hoseney, R. C. (1991). Gas retention of different cereal flours. *Cereal Chemistry*, *68*(4), 334-336.

He, H., & Hoseney, R. C. (1990). Changes in bread firmness and moisture during long-term storage. *Cereal chemistry*, *67*(6), 603-605.

Hess, J., & Slavin, J. (2016). Defining "protein" foods. *Nutrition today*, *51*(3), 117.

Hoffman, J. R., & Falvo, M. J. (2004). Protein–which is best?. *Journal of sports science & medicine*, *3*(3), 118.

Horwitz, W., & Latimer, G. W. (2006). Association of Official Analytical Chemists International. *Official methods of analysis of AOAC international. 18th ed. AOAC International: Gaithersburg (MD)*.

Hotz, C., & Brown, K. H. (2004). Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control.

Hurrell, R. F., Reddy, M. B., Juillerat, M. A., & Cook, J. D. (2003). Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects. *The American journal of clinical nutrition*, *77*(5), 1213-1219.

Ihekoronye, A. I. (1981). A rapid enzymatic and chromatographic predictive model for the in-vivo rat-based protein efficiency ratio. *University of Missouri, Columbia*.

Ikeda, K., Sakaguchi, T., Kusano, T., & Yasumoto, K. (1991). Endogenous factors affecting proatein digestibility in buckwheat. *Cereal chemistry*.

Impa, S. M., Perumal, R., Bean, S. R., Sunoj, V. J., & Jagadish, S. K. (2019). Water deficit and heat stress induced alterations in grain physico-chemical characteristics and micronutrient composition in field grown grain sorghum. *Journal of Cereal Science*, *86*, 124-131.

Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., ... & Goff, D. V. (1981). Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *The American journal of clinical nutrition*, *34*(3), 362-366.

Joye, I. (2019). Protein digestibility of cereal products. *Foods*, *8*(6), 199.

Juma, S., Sohn, E., & Arjmandi, B. H. (1999). Calcium-enriched bread supports skeletal growth of young rats. *Nutrition Research*, *19*(3), 389-399.

Karaman, K., Sagdic, O., & Durak, M. Z. (2018). Use of phytase active yeasts and lactic acid bacteria isolated from sourdough in the production of whole wheat bread. *LWT*, *91*, 557-567.

Khouzam, R. B., Pohl, P., & Lobinski, R. (2011). Bioaccessibility of essential elements from white cheese, bread, fruit and vegetables. *Talanta*, *86*, 425-428.

Kline, L., & Sugihara, T. F. (1971). Microorganisms of the San Francisco sour dough bread process: II. Isolation and characterization of undescribed bacterial species responsible for the souring activity. *Applied microbiology*, *21*(3), 459-465.

Kopeć, 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.

Kostekli, M., & Karakaya, S. (2017). Protease inhibitors in various flours and breads: Effect of fermentation, baking and in vitro digestion on trypsin and chymotrypsin inhibitory activities. *Food chemistry*, *224*, 62-68.

Laleg, K., Cassan, D., Barron, C., Prabhasankar, P., & Micard, V. (2016). Structural, culinary, nutritional and anti-nutritional properties of high protein, gluten free, 100% legume pasta. *PLoS One*, *11*(9), e0160721.

Laleg, K., Salles, J., Berry, A., Giraudet, C., Patrac, V., Guillet, C., ... & Walrand, S. (2019). Nutritional evaluation of mixed wheat–faba bean pasta in growing rats: impact of protein source and drying temperature on protein digestibility and retention. *British Journal of Nutrition*, *121*(5), 496-507.

Leenhardt, F., Levrat-Verny, M. A., Chanliaud, E., & Rémésy, 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*(1), 98-102.

Leloup, V. M., Colonna, P., & Ring, S. G. (1991). α-Amylase adsorption on starch crystallites. *Biotechnology and bioengineering*, *38*(2), 127-134.

Liljeberg, H. G., Lönner, C. H., & Björck, I. M. (1995). Sourdough fermentation or addition of organic acids or corresponding salts to bread improves nutritional properties of starch in healthy humans. *The Journal of nutrition*, *125*(6), 1503-1511.

Liljeberg, H., & Björck, I. (1998). Delayed gastric emptying rate may explain improved glycaemia in healthy subjects to a starchy meal with added vinegar. *European journal of clinical nutrition*, *52*(5), 368-371.

Liljeberg, H., Åkerberg, A., & Björck, I. (1996). Resistant starch formation in bread as influenced by choice of ingredients or baking conditions. *Food chemistry*, *56*(4), 389-394.

Lin, Y., Chen, K., Tu, D., Yu, X., Dai, Z., & Shen, Q. (2019). Characterization of dietary fiber from wheat bran (Triticum aestivum L.) and its effect on the digestion of surimi protein. *LWT*, *102*, 106-112.

Liukkonen, K. H., Katina, K., Wilhelmsson, A., Myllymaki, O., Lampi, A. M., Kariluoto, S., ... & Poutanen, K. (2003). Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. *Proceedings of the Nutrition Society*, *62*(1), 117-122.

Lopez, H. W., Duclos, V., Coudray, C., Krespine, V., Feillet-Coudray, C., Messager, A., ... & Rémésy, C. (2003). Making bread with sourdough improves mineral bioavailability from reconstituted whole wheat flour in rats. *Nutrition*, *19*(6), 524-530.

Lopez, H. W., Krespine, V., Guy, C., Messager, 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*(5), 2657-2662.

Luo, J., Chen, Y. J., & Chang, L. J. (2012). Fasting blood glucose level and prognosis in non-small cell lung cancer (NSCLC) patients. *Lung cancer*, *76*(2), 242-247.

M'hir, S., Ziadi, M., Chammem, N., & Hamdi, M. (2012). Gluten proteolysis as alternative therapy for celiac patients: A mini-review. *African Journal of Biotechnology*, *11*(29).

Martinez-Velasco, A., Alvarez-Ramirez, J., Rodriguez-Huezo, E., Meraz-Rodriguez, M., Vernon-Carter, E. J., & Lobato-Calleros, C. (2018). Effect of the preparation method and storage time on the in vitro protein digestibility of maize tortillas. *Journal of Cereal Science*, *84*, 7-12.

Mattila, P., Pihlava, J. M., & Hellström, J. (2005). Contents of phenolic acids, alkyl- and alkenylresorcinols, and avenanthramides in commercial grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(21), 8290-8295.

McCance, R. A., & Lawrence, R. D. (1929). The Carbohydrate Content of Foods, Special Report Series of the Medical Research Council no. 135. *London: HM Stationery Office*.

Mihhalevski, A., Nisamedtinov, I., Hälvin, K., Ošeka, A., & Paalme, T. (2013). Stability of B-complex vitamins and dietary fiber during rye sourdough bread production. *Journal of cereal science*, *57*(1), 30-38.

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., Lattanzi, A., De Angelis, M., Celano, G., & Gobbetti, M. (2015). House microbiotas as sources of lactic acid bacteria and yeasts in traditional Italian sourdoughs. *Food microbiology*, *52*, 66-76.

Minervini, F., Lattanzi, A., De Angelis, M., Di Cagno, R., & Gobbetti, M. (2012). Influence of artisan bakery-or laboratory-propagated sourdoughs on the diversity of lactic acid bacterium and yeast microbiotas. *Applied and Environmental Microbiology*, *78*(15), 5328-5340.

Mitsuoka, T., Hidaka, H., & Eida, T. (1987). Effect of fructo-oligosaccharides on intestinal microflora. *Food/Nahrung*, *31*(5-6), 427-436.

Moroni, A. V., Dal Bello, F., & Arendt, E. K. (2009). Sourdough in gluten-free bread-making: an ancient technology to solve a novel issue?. *Food microbiology*, *26*(7), 676-684.

Nielsen, S.S. (2017). *Food Analysis*, 5th ed.; Springer Nature: Basingstoke, UK.

Nikmaram, N., Leong, S. Y., Koubaa, M., Zhu, Z., Barba, F. J., Greiner, R., ... & Roohinejad, S. (2017). Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food control*, *79*, 62-73.

Nilsson, A., Montiel Rojas, D., & Kadi, F. (2018). Impact of meeting different guidelines for protein intake on muscle mass and physical function in physically active older women. *Nutrients*, *10*(9), 1156.

Nilsson, A., Östman, E., Preston, T., & Björck, I. (2008). Effects of GI vs content of cereal fibre of the evening meal on glucose tolerance at a subsequent standardized breakfast. *European journal of clinical nutrition*, *62*(6), 712-720.

Nionelli, L., & Rizzello, C. G. (2016). Sourdough-based biotechnologies for the production of gluten-free foods. *Foods*, *5*(3), 65.

Nkhata, S. G., Ayua, E., Kamau, E. H., & Shingiro, J. B. (2018). Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Food Science & Nutrition*, *6*(8), 2446-2458.

Novotni, D., Ćurić, D., Bituh, M., Colić Barić, I., Škevin, D., & Čukelj, N. (2011). Glycemic index and phenolics of partially-baked frozen bread with sourdough. *International journal of food sciences and nutrition*, *62*(1), 26-33.

Ogodo, A. C., Ugbogu, O. C., Onyeagba, R. A., & Okereke, H. C. (2019). Microbiological quality, proximate composition and in vitro starch/protein digestibility of Sorghum bicolor flour fermented with lactic acid bacteria consortia. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *6*(1), 1-9.

Osman, M. A. (2007). Effect of different processing methods, on nutrient composition, antinutrional factors, and in vitro protein digestibility of Dolichos lablab bean [Lablab purpuresus (L) Sweet]. Pakistan Journal of Nutrition.

Östman, E. (2003). *Fermentation as a means of optimizing the glycaemic index-food mechanisms and metabolic merits with emphasis on lactic acid in cereal products*. Lund University.

Paddon-Jones, D., Campbell, W. W., Jacques, P. F., Kritchevsky, S. B., Moore, L. L., Rodriguez, N. R., & Van Loon, L. J. (2015). Protein and healthy aging. *The American journal of clinical nutrition*, *101*(6), 1339S-1345S.

Papadimitriou, K., Zoumpopoulou, G., Georgalaki, M., Alexandraki, V., Kazou, M., Anastasiou, R., & Tsakalidou, E. (2019). Sourdough bread. In *Innovations in traditional foods* (pp. 127-158). Woodhead Publishing.

Pasini, G., Simonato, B., Giannattasio, M., Peruffo, A. D., & Curioni, A. (2001). Modifications of wheat flour proteins during in vitro digestion of bread dough, crumb, and crust: an electrophoretic and immunological study. *Journal of agricultural and food chemistry*, *49*(5), 2254-2261.

Perales, S., Barberá, R., Lagarda, M. J., & Farré, R. (2005). Bioavailability of calcium from milk-based formulas and fruit juices containing milk and cereals estimated by in vitro methods (solubility, dialyzability, and uptake and transport by Caco-2 cells). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(9), 3721-3726.

Pétel, C., Onno, B., & Prost, C. (2017). Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *59*, 105-123.

Picariello, G., Miralles, B., Mamone, G., Sánchez-Rivera, L., Recio, I., Addeo, F., & Ferranti, P. (2015). Role of intestinal brush border peptidases in the simulated digestion of milk proteins. *Molecular nutrition & food research*, *59*(5), 948-956.

Pico, J., Bernal, J., & Gómez, M. (2015). Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review. *Food Research International*, *75*, 200-215.

Poutanen, K., Flander, L., & Katina, K. (2009). Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food microbiology*, *26*(7), 693-699.

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*(8), 2993-2997.

Reeds, P. J. (2000). Dispensable and indispensable amino acids for humans. *The Journal of Nutrition*, *130*(7), 1835S-1840S.

Ricciardi, A., Parente, E., Piraino, P., Paraggio, M., & Romano, P. (2005). Phenotypic characterization of lactic acid bacteria from sourdoughs for Altamura bread produced in Apulia (Southern Italy). *International journal of food microbiology*, *98*(1), 63-72.

Rizzello, C. G., Calasso, M., Campanella, D., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2014). Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread. *International journal of food microbiology*, *180*, 78-87.

Rocha, J. M., & Malcata, F. X. (1999). On the microbiological profile of traditional Portuguese sourdough. *Journal of food protection*, *62*(12), 1416-1429.

Rodriguez-Ramiro, I., Brearley, C. A., Bruggraber, S. F. A., Perfecto, A., Shewry, P., & Fairweather-Tait, S. (2017). Assessment of iron bioavailability from different bread making processes using an in vitro intestinal cell model. *Food chemistry*, *228*, 91-98.

Rosell, C. M., Bajerska, J., & El Sheikha, A. F. (Eds.). (2015). *Bread and its fortification: Nutrition and health benefits*. CRC Press.

Ryan, L. A., Dal Bello, F., Renzetti, S., & Arendt, E. K. (2006). The use of selected lactic acid bacteria to improve the baking and rheological quality of gluten-free batter and bread. *World Grains Summit: Food and Beverages, San Francisco, Calif*, *17*.

Salmenkallio-Marttila, M., Katina, K., & Autio, K. (2001). Effects of bran fermentation on quality and microstructure of high-fiber wheat bread. *Cereal Chemistry*, *78*(4), 429-435.

Samuel, D. (1996). Investigation of ancient Egyptian baking and brewing methods by correlative microscopy. *Science*, *273*(5274), 488-490.

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.

Scazzina, F., Del Rio, D., Pellegrini, N., & Brighenti, F. (2009). Sourdough bread: Starch digestibility and postprandial glycemic response. *Journal of Cereal Science*, *49*(3), 419-421.

Schaafsma, G. (2000). The protein digestibility–corrected amino acid score. *The Journal of nutrition*, *130*(7), 1865S-1867S.

Sezer, H. (2017). Insulin resistance, obesity and lipotoxicity. *Obesity and Lipotoxicity*, 277-304.

Shaheen, N., Islam, S., Munmun, S., Mohiduzzaman, M., & Longvah, T. (2016). Amino acid profiles and digestible indispensable amino acid scores of proteins from the prioritized key foods in Bangladesh. *Food Chemistry*, *213*, 83-89.

Shumoy, H., Van Bockstaele, F., Devecioglu, D., & Raes, K. (2018). Effect of sourdough addition and storage time on in vitro starch digestibility and estimated glycemic index of tef bread. *Food chemistry*, *264*, 34-40.

Siepmann, F. B., de Almeida, B. S., Waszczynskyj, N., & Spier, M. R. (2019). Influence of temperature and of starter culture on biochemical characteristics and the aromatic compounds evolution on type II sourdough and wheat bread. *LWT*, *108*, 199-206.

Siepmann, F. B., Ripari, V., Waszczynskyj, N., & Spier, M. R. (2018). Overview of sourdough technology: From production to marketing. *Food and Bioprocess Technology*, *11*(2), 242-270.

Singh, A., Sharma, S., (2017). Bioactive components and functional properties of biologi- cally activated cereal grains: a bibliographic review. Critical Reviews of Food Science and Nutrition, 57, 3051–3071.

Standard, I. S. O. 26642: 2010—Food products–Determination of the glycaemic index (GI) and recommendation for food classification. *International Standards Organisation*.

Swaisgood, H. E., & Catignani, G. L. (1991). Protein digestibility: in vitro methods of assessment. *Advances in food and nutrition research*, *35*, 185-236.

Thiele, C., Gänzle, M. G., & Vogel, R. F. (2002). Contribution of sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor. *Cereal chemistry*, *79*(1), 45-51.

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.

Trowell, H. C., & Burkitt, D. P. (Eds.). (1975). *Refined Carbohydrate Foods and Disease: Some Implications of Dietary Fibre. Ed. by DP Burkitt (and) HC Trowell. Foreword by Richard Doll*. Academic Press.

Van Dam, H. W. (1986). biotechnology of baker's yeast: old or new business?. In *Chemistry and physics of baking: materials, processes, and products: the proceedings of an int. symposium held at the School of Agric., Sutton Bonington, 10th-12th April 1985/edited by JMV Blanshard...[et al.]*. London: Royal Society of Chemistry, c1986.

Waters, D. M., Jacob, F., Titze, J., Arendt, E. K., & Zannini, E. (2012). Fibre, protein and mineral fortification of wheat bread through milled and fermented brewer's spent grain enrichment. *European Food Research and Technology, 235*, 767–778.

Williams, B. A., Mikkelsen, D., Flanagan, B. M., & Gidley, M. J. (2019). "Dietary fibre": Moving beyond the "soluble/insoluble" classification for monogastric nutrition, with an emphasis on humans and pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology, 10*, 1–12.

Wolever, T. M. S., Vorster, H. H., Björck, I., Brand-Miller, J., Brighenti, F., Mann, J. I., ... & Wu, X. (2003). Determination of the glycaemic index of foods: interlaboratory study. *European journal of clinical nutrition*, *57*(3), 475-482.

Wolever, T. M., Brand-Miller, J. C., Abernethy, J., Astrup, A., Atkinson, F., Axelsen, M., ... & Zhang, J. (2008). Measuring the glycemic index of foods: interlaboratory study. *The American journal of clinical nutrition*, *87*(1), 247S-257S.

Wu, T., Taylor, C., Nebl, T., Ng, K., & Bennett, L. E. (2017). Effects of chemical composition and baking on in vitro digestibility of proteins in breads made from selected gluten-containing and gluten-free flours. *Food chemistry*, *233*, 514-524.

Yildirim, R. M., & Arici, M. (2019). Effect of the fermentation temperature on the degradation of phytic acid in whole-wheat sourdough bread. *Lwt*, *112*, 108224.

Zhang, G., & Hamaker, B. R. (2009). Slowly digestible starch: concept, mechanism, and proposed extended glycemic index. *Critical reviews in food science and nutrition*, *49*(10), 852-867.

Zhang, G., Ao, Z., & Hamaker, B. R. (2008). Nutritional property of endosperm starches from maize mutants: A parabolic relationship between slowly digestible starch and amylopectin fine structure. *Journal of agricultural and food chemistry*, *56*(12), 4686-4694.

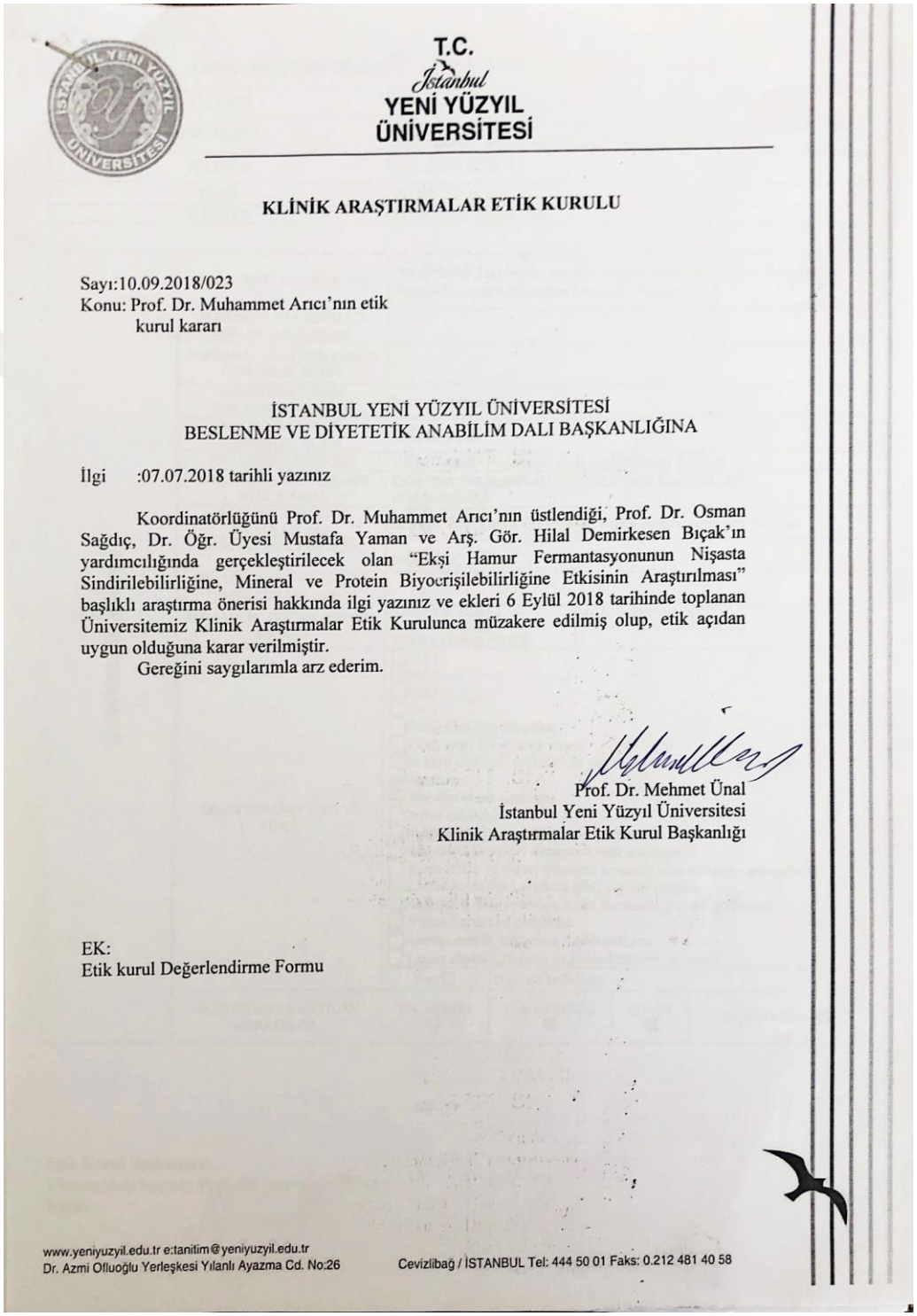
Zhao, C. J., Kinner, M., Wismer, W., & Gänzle, M. G. (2015). Effect of glutamate accumulation during sourdough fermentation with Lactobacillus reuteri on the taste of bread and sodium-reduced bread. *Cereal Chemistry*, *92*(2), 224-230.

Zhao, C. J., Kinner, M., Wismer, W., & Gänzle, M. G. (2015). Effect of glutamate accumulation during sourdough fermentation with Lactobacillus reuteri on the taste of bread and sodium-reduced bread. *Cereal Chemistry*, *92*(2), 224-230.

Zimmermann, M. B., Winichagoon, P., Gowachirapant, S., Hess, S. Y., Harrington, M., Chavasit, V., ... & Hurrell, R. F. (2005). Comparison of the efficacy of wheat-based snacks fortified with ferrous sulfate, electrolytic iron, or hydrogen-reduced elemental iron: randomized, double-blind, controlled trial in Thai women. *The American journal of clinical nutrition*, *82*(6), 1276-1282.

A

Klinik Araştırmalar Etik Kurul İzni ve Araştırma Protokolü



T.C.
İstanbul
YENİ YÜZYIL
ÜNİVERSİTESİ

KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

Sayı:10.09.2018/023
Konu: Prof. Dr. Muhammet Arıcı'nın etik kurul kararı

İSTANBUL YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ
BESLENME VE DİYETETİK ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

İlgi :07.07.2018 tarihli yazınız

Koordinatörlüğünü Prof. Dr. Muhammet Arıcı'nın üstlendiği, Prof. Dr. Osman Sağdıç, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Yaman ve Arş. Gör. Hilal Demirkesen Bıçak'ın yardımcılığında gerçekleştirilecek olan "Ekşi Hamur Fermantasyonunun Nişasta Sindirilebilirliğine, Mineral ve Protein Biyoerişilebilirliğine Etkisinin Araştırılması" başlıklı araştırma önerisi hakkında ilgi yazınız ve ekleri 6 Eylül 2018 tarihinde toplanan Üniversitemiz Klinik Araştırmalar Etik Kurulunca müzakere edilmiş olup, etik açıdan uygun olduğuna karar verilmiştir.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Prof. Dr. Mehmet Ünal
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi
Klinik Araştırmalar Etik Kurul Başkanlığı

EK:
Etik kurul Değerlendirme Formu

www.yeniyuzyil.edu.tr e:tanitim@yeniyuzyil.edu.tr
Dr. Azmi Ofluoğlu Yerleşkesi Yılanlı Ayazma Cd. No:26 Cevizlibağ / İSTANBUL Tel: 444 50 01 Faks: 0.212 481 40 58

KLİNİK ARAŞTIRMA BAŞVURUSU ETİK KURUL DEĞERLENDİRME FORMU

ETİK KURULUN ADI	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu
AÇIK ADRESİ:	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Gaziosmanpaşa Hastanesi Merkez Mah. Çukurçeşme Caddesi No:51 Gaziosmanpaşa İstanbul
TELEFON	(0212) 615 38 38
FAKS	(0212) 615 38 49
E-POSTA	yyuetikkurul@gmail.com

BAŞVURU BİLGİLERİ	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	"Ekşi Hamur Fermantasyonunun Nişasta Sindirilebilirliğine, Mineral ve Protein Biyoerişilebilirliğine Etkisinin Araştırılması"			
	SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	-			
	SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	-			
	KOORDİNATÖRÜN UNVANI/ADI/SOYADI	Prof. Dr. Muhammet Arıcı			
	KOORDİNATÖRÜN UZMANLIK ALANI	Gıda Bilimleri			
	ARAŞTIRMA MERKEZİ	Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü			
	ARAŞTIRMA MERKEZİNİN AÇIK ADRESİ	Çifte Havuzlar Mahallesi, YTÜ-Davutpaşa Kampüsü, 34210 Esenler/İstanbul			
	BAŞVURULAN ETİK KURULUN ADI	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu			
	DESTEKLEYİCİ VE AÇIK ADRESİ	TÜBİTAK			
	DESTEKLEYİCİNİN YASAL TEMSİLCİSİ VE ADRESİ	-			
	UZMANLIK TEZİ/AKADEMİK AMAÇLI	UZMANLIK TEZİ ☐ DOKTORA TEZİ ☒ YÜKSEK LİSANS TEZİ ☐	AKADEMİK AMAÇLI ☐ YANDAL UZMANLIK TEZİ ☐		
	ARAŞTIRMANIN FAZI VE TÜRÜ	☐ FAZ 1 ☐ FAZ 2 ☐ FAZ 3 ☐ FAZ 4 ☐ Gözlemsel ilaç çalışması ☐ Tıbbi cihaz klinik araştırması ☐ İn vitro tıbbi tanı cihazları ile yapılan performans değerlendirme çalışmaları ☒ İlaç dışı klinik araştırma ☐ Anket çalışması ☐ Retrospektif (geriye dönük) araştırma ☐ Girişimsel (invaziv) olmayan klinik araştırma ☐ Rutin tetkik ve tedavi işlemleri sırasında elde edilmiş materyallerle (kan,idrar,gayta,doku,görüntü gibi) yapılan çalışma ☐ Hemşirelik faaliyetlerinin sınırı içerisinde yapılan araştırma ☐ Vücut fizyolojisi çalışması ☐ Antropometrik ölçümlere dayalı çalışma ☐ Yaşam alışkanlıklarının değerlendirilmesi çalışması			
		Diğer ☐	Diğer ise belirtiniz:		
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ ☐	ÇOK MERKEZLİ ☒	ULUSAL ☒	ULUSLARARASI ☐

Etik Kurul Başkanının
Unvanı/Adı/Soyadı: Prof. Dr. Mehmet ÜNAL
İmza:

Not: Etik kurul başkanı, imzasının yer almadığı her sayfaya imza atmalıdır.

KLİNİK ARAŞTIRMA BAŞVURUSU ETİK KURUL DEĞERLENDİRME FORMU

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	"Ekşi Hamur Fermantasyonunun Nişasta Sindirilebilirliğine, Mineral ve Protein Biyoerişilebilirliğine Etkisinin Araştırılması"
VARSA ARAŞTIRMANIN PROTOKOL KODU	

	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili
DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ	14.08.2018	1	Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	-	-	Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐
	OLGU RAPOR FORMU	-	-	Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐
	ARAŞTIRMA BROŞÜRÜ	-	-	Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐

	Belge Adı		Açıklama
DEĞERLENDİRİLEN DİĞER BELGELER	SİGORTA	☐	
	ARAŞTIRMA BÜTÇESİ	☒	
	BİYOLOJİK MATERYEL TRANSFER FORMU	☐	
	İLAN	☐	
	YILLIK BİLDİRİM	☐	
	SONUÇ RAPORU	☐	
	GÜVENLİLİK BİLDİRİMLERİ	☐	
	DİĞER:	☒	

KARAR BİLGİLERİ	**Karar No:**	**Tarih:**
	Yukarıda bilgileri verilen başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın/çalışmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve uygun bulunmuş olup araştırmanın/çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezlerde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplantıya katılan etik kurul üye tam sayısının salt çoğunluğu ile karar verilmiştir. İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik kapsamında yer alan araştırmalar/çalışmalar için Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'ndan izin alınması gerekmektedir.	

KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU	
ETİK KURULUN ÇALIŞMA ESASI	İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik, İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:	Prof. Dr. Mehmet ÜNAL

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet		Araştırma ile ilişki		Katılım *		İmza
Prof. Dr. Gül BAKTIR	Farmakoloji	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Eczacılık Fakültesi	E☐	K☐	E☐	H☐	E☐	H☐	—
Prof. Dr. Ahmet KÖROĞLU	Anestezi ve Reanimasyon	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi GOP Hastanesi	E☐	K☐	E☐	H☐	E☐	H☐	—
Prof.Dr. Mehmet ÜNAL	Fizyoloji	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi	E☒	K☐	E☐	H☒	E☒	H☐	
Prof.Dr. Ayşe KAFKASLI	Kadın Hastalıkları	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi GOP Hastanesi	E☐	K☒	E☐	H☒	E☒	H☐	
Doç.Dr. Tuba GÜNEL	Moleküler Biyoloji ve Genetik	T.C İstanbul Üniversitesi	E☐	K☐	E☐	H☐	E☐	H☐	—
Doç.Dr. Ahmet MİDİ	Patoloji	Bahçeşehir Üniversitesi Tıp Fakültesi	E☐	K☐	E☐	H☐	E☐	H☐	—
Dr. Öğr. Üyesi Arif Vehbi ALPMAN	Nöroloji	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Tıp Fakültesi	E☒	K☐	E☐	H☒	E☒	H☐	
Dr. Öğr. Üyesi Nurten DAYIOĞLU	Biyoistatistik	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Tıp Fakültesi	E☐	K☒	E☐	H☒	E☒	H☐	
Dr. Öğr. Üyesi Ayten ARIKAN	Tıp Tarihi ve Etik	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Tıp Fakültesi	E☐	K☒	E☐	H☒	E☒	H☐	
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Yaşar DURAN	Hukuk	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Hukuk Fakültesi	E☒	K☐	E☐	H☒	E☒	H☐	
Mustafa GÜMÜŞ		Emekli	E☒	K☐	E☐	H☒	E☒	H☐	

*:Toplantıda Bulunma

Etik Kurul Başkanının
Unvanı/Adı/Soyadı: Prof. Dr. Mehmet ÜNAL
İmza:

Not: Etik kurul başkanı, imzasının yer almadığı her sayfaya imza atmalıdır.

İSTANBUL YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ

1. ARAŞTIRMANIN ADI:	Ekşi Hamur Fermantasyonunun Nişasta Sindirilebilirliğine, Mineral ve Protein Biyoerişilebilirliğine Etkisinin Araştırılması
2. **ARAŞTIRMANIN DAYANAKLARI VE GEREKÇESİ:** *(en çok 2500 karakter)*	Ekşi hamur; tahıl esaslı gıdaların duyusal, besleyici, fonksiyonel ve teknolojik özelliklerini geliştirmek amacı ile genellikle un ve suya kimi zaman mayalar ve laktik asit bakterileri ilavesi ile kimi zaman ise çeşitli gıdalar eklenerek hazırlanan tahıl fermantasyonunda kullanılan bir başlangıç preperatıdır. Belirli fermantasyon sıcaklığı ve süresinde spontan fermantasyon ile elde edilen ekşi hamur; tip-1, laktik asit bakterilerinin saflaştırılarak ilave edildiği ve belirli süre ve sıcaklıkta fermantasyon sonucu elde edilen ekşi hamur; tip-2 olarak adlandırılmaktadır. Tahılların makro ve mikroyapısı nişastanın sindirilebilirliği üzerinde derin etkiye sahiptir. Özellikle de nişastanın karakteristiği glukoz tepkisi için çok önemlidir. Amilozca zengin nişastalar, mumlu veya normal nişastalara göre amilolize daha dirençlidir. Fırıncı mayası ile fermente edilen ekmek gibi çoğu nişastalı gıdalarda, nişasta oldukça jelatinleştirilir ve ürün yapısı çok gözeneklidir, bu durum nişastanın ince bağırsakta hızlı bir şekilde bozunmasına ve kan şekeri seviyesinin çok hızlı yükselmesine (yüksek GI) neden olur. Ekşi hamur nişasta sindirilebilirliğini yavaşlatarak düşük glisemik indeksle sonuçlanabilmektedir. Ekşi hamurun nişasta sindirilebilirliğini azaltma yeteneği için çeşitli mekanizmalar önerilmiştir. Etkinin esas olarak fermantasyon sırasında organik asitler, özellikle laktik asit oluşumundan kaynaklandığı kabul edilir. Bu çalışmada tam buğday unu ve beyaz un kullanılarak tip-1 ve tip-2 ekşi hamur elde edilerek, bu ekşi hamurlardan ekmek hazırlanacaktır. Hamur fermantasyonunda farklı sıcaklık dereceleri uygulanacaktır. Fermantasyon sıcaklığının ve farklı ekşi hamur tiplerinin değişken olarak kullanılacağı bu çalışmada elde edilen ekmeklerin glisemik indeksi kontrol ekmeği olarak fırıncı mayası kullanılarak hazırlanan ekmek ile karşılaştırılarak son ürünün glisemik

	indeksinde meydana değişikliklerden sorumlu esas mekanizmanın açıklanması hedeflenmektedir. Ayrıca çalışma kapsamında klinik analizlerin yanı sıra *in vitro* mineral ve protein biyoerişilebilirliği belirlenecek, ekmekte kompozisyon analizleri yapılacak ve amino asit profili belirlenecektir. Analizler farklı fermantasyon koşulları ile hazırlanan 12 tip ekmekte yapılacaktır.

3. **ARAŞTIRMANIN AMACI:** *(Ayrıntılı olarak açıklayınız)*	Ekşi hamur kullanımında uygulanan fermantasyon koşullarının son ürün olarak ekmeğin glisemik indeksi, mineral ve protein biyoerişilebilirliği üzerindeki etkisinin belirlenmesi,

4. ARAŞTIRMA SONUNDA BEKLENEN YARARLAR: *(Ayrıntılı olarak açıklayınız)*	Araştırma sonucunda; ekşi hamur kullanımının son ürünün glisemik indeksi, mineral ve protein biyoerişilebilirliği üzerindeki etkisinin hangi fermantasyon koşullarında (sıcaklık ve süre) optimum seviyede olduğu aydınlatılacak, bu koşullar literatüre girerek üretici ve tüketici için de yarar sağlayacaktır.

5. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ: *(Ayrıntılı olarak açıklayınız)* Çalışmayı gerçekleştirmek için yapacağınız etkinlikleri özetleyin: (araştırma sorunuzu hangi çalışma planı ile cevaplayacaksınız, gönüllülerden ne tür bilgiler, nasıl toplanacak, laboratuvar incelemeleri varsa, bunlar hangi **ölçümler**, hangi yöntemlerle belirlenecek, (ÖRNEK: hücre ayırımı varsa nasıl yapılacak, hangi alet ya da hazır kitler kullanılacak, bunların teknik özellikleri nelerdir vb gibi)	Bu çalışmada tam buğday unu ve beyaz un kullanılarak tip-1 ve tip-2 ekşi hamurdan hazırlanan ekmekler kullanılacaktır. Tip-1 ekşi hamur eldesi; yalnızca un ve su içeren hamurun 25 °C'de 24 saat ve 30 °C'de 24 saat fermente edilmesi ile başlayıp, bu hamurun 3 kez un ve su ile beslenerek fermantasyon sürecinin devam etmesi ile tamamlanmaktadır. Tip-2 ekşi hamur eldesinde ise; Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği kütüphanesinde yer alan *Lactobacillus brevis* , *Lactobacillus plantarum* ve *Saccharomyces cerevisiae* saf kültürleri un ve suya ilave edilerek 30 °C'de 20 saat ve 25 °C'de 20 saat fermantasyon koşulları kullanılacaktır. Kontrol grubu ekmeği için ise sadece ticari maya olarak bilinen *Saccharomyces cerevisiae* kullanılarak hazırlanacaktır. Elde edilen hamurlara un, su, ve tuz ilavesi yapılarak 12 farklı ekmek hamuru elde edilecektir. Elde edilen hamurlar; üst sıcaklığı 215 °C, alt sıcaklığı 190 °C olan fırında 35 dk süresince pişirilerek 12 farklı ekmek elde edilecektir.

Hazırlama yöntemi ve un farklılığı ile elde edilen ekmek çeşitleri aşağıdaki tabloda detaylı gösterilmiştir.

Fermantasyon Tekniği	Kullanılan Un	Fermantasyon Sıcaklığı	Elde edilecek ekmek kodu
Tip-1 ekşi hamur	Buğday unu (tip 550)	25 °C	1B25
Tip-1 ekşi hamur	Buğday unu (tip 550)	30 °C	1B30
Tip-1 ekşi hamur	Tam buğday unu	25 °C	1TB25
Tip-1 ekşi hamur	Tam buğday unu	30 °C	1TB30
Tip-2 ekşi hamur	Buğday unu (tip 550)	25 °C	2B25
Tip-2 ekşi hamur	Buğday unu (tip 550)	30 °C	2B30
Tip-2 ekşi hamur	Tam buğday unu	25 °C	2TB25
Tip-2 ekşi hamur	Tam buğday unu	30 °C	2TB30
Ticari maya	Buğday unu (tip 550)	25 °C	SB25
Ticari maya	Buğday unu (tip 550)	30 °C	SB30
Ticari maya	Tam buğday unu	25 °C	STB25
Ticari maya	Tam buğday unu	30 °C	STB30

	Yukarıda özetlenen yöntemlerle hazırlanacak ekmeklerde Uluslararası ISO 26642 Glisemik İndeks Tespit Standardı'na göre *in vivo* glisemik indeks tayini yapılacaktır. Bu metoda göre 18-45 yaşları arasında 40 sağlıklı yetişkin gönüllü birey seçilerek antropometrik ölçümleri yapılacaktır. İlk ölçüm 12 saat açlık sonrası glukoz çözeltisi tüketimi sonrası yapılacaktır. Sonrasındaki her ölçüm 50'şer gram sindirilebilir karbonhidrat içeren 3 çeşit ekmeğin bir bireye üçer gün ara ile farklı günlerde ve 12 saat açlık sonrası tükettirilmesi ile yapılacaktır. Bireylerin test gıdalarını tüketmeden önce 0. dk ve ilk lokmadan 15 dk, 30 dk, 45 dk, 60 dk ve 90 dk ve 120 dk sonra kapiller kan glukoz ölçümleri Accu Chek marka glukometre kullanılarak yapılacak ve ekmeklere ait glisemik indeks değerleri glukoza göre hesaplanacaktır. Araştırmanın *in vitro* çalışamalarla yürütülecek olan diğer kısmında ise laboratuvar koşullarında sindirim simülasyonu uygulanan ekmeklerde Fe, Ca ve Zn minerallerinin biyoerişilebilirlikleri belirlenecektir. In vitro protein sindirilebilirliğinin uygulanacağı ekmeklerde protein biyoerişilebilirliği ve amino asit profili belirlenecektir. Ayrıca ekmekte nişasta fraksiyonları ve diyet lif miktarı, toplam fenolik miktarları *in vitro* olarak belirlenecektir.

Araştırmanın tasarımı aşağıdakilerden hangisine uyuyor? (ARAŞTIRMA TASARIMI)

	1. Gözlemsel Araştırmalar
☐	A. Tanımlayıcı araştırma (vaka serileri bu gruptadır.))
☐	B. Vaka-kontrol araştırmaları (retrospektif-geriye dönük)
☐	C. Kesitsel araştırmalar, sürveyler bu gruptadır)
☐	D. Kohort araştırmaları (prospektif-ileriye yönelik)
☐	E. Tarihi kohort araştırmaları
	2. Deneysel Araştırmalar
	F. Kontrollü denemeler
	I. Paralel kontrollü
☐	a. Randomizasyon yapılmış
☐	b. Randomizasyon yapılmamış
	II. Ardışık (Sıralı) Kontrollü
☒	a. Kendi kendinin kontrolü (Eşlendirilmiş seriler)
☐	b. Çapraz kontrollü
☐	**III.** Dış kontrollü
☐	G. Kontrol grubu olmayanlar
☐	**3.** Meta Analizler

6. SÜREÇ

Araştırma sırasında karşılabilecek zarar, riskler ve olabilecek süreç sorunları nelerdir?	Kan glukoz seviyesi ölçümleri arasında gönüllüler tarafından gerçekleştirilebilecek fiziksel aktivitenin test sonucunu etkileyebilecek düzeyde olması risk oluşturmaktadır.
Bunlara karşı alınabilecek önlemler nelerdir? (İlgili planınız varsa açıklayın)	Kan glukoz seviyesi ölçümleri yapılacak süreçte (2 saat süresince) gönüllüler için kitap okuma ve film izleme gibi seçenekler içeren gönüllü bireylerin stabil olmalarını teşvik edici ortamlar hazırlanacaktır.

7. ÖRNEKLEM BİLGİLERİ:

Araştırmaya katılacak gönüllülerin sayısı nasıl belirlendi, açıklayın:	Uluslararası ISO 26642 Glisemik İndeks Tespit Standardı'na göre belirlenmiştir.
Örnek alma yöntemi : (Örneklere nerelerde, nasıl ulaşılacak, klinikte seçim nasıl yapılacak?)	18-45 yaşları aralığında olan, besin alerjisi ve intoleransı olmayan, glukoz toleransını etkileyen her hangi bir ilaç kullanımı olmayan, diyabet öyküsü olmayan, son üç ayda cerrahi operasyon geçirmemiş olan, sindirimi ve emilimi etkileyen hastalığı olmayan gönüllü bireyler çalışmaya dahil edileceklerdir.

8. GÖNÜLLÜ (ÖRNEK) POPULASYON BİLGİLERİ:

Gönüllülerin (örneğin) araştırmaya dahil edilme kriterleri : *(Maddeler Halinde Sıralayınız)*	Sağlıklı birey olmak (biyokimyasal tetkiklerle elde edilen değerlerin normal sınırlar içinde olması) 18-45 yaş aralığında olmak Besin alerjisi ve intoleransı olmaması Glukoz toleransını etkileyen her hangi bir ilaç kullanımının olmaması, Diyabet öyküsü olmaması
Gönüllülerin araştırmaya dahil edilmeme kriterleri : *(Maddeler Halinde Sıralayınız)*	Kronik bir hastalığa sahip olmak 18-45 yaş sınırları dışında olmak Son üç ayda cerrahi operasyon geçirmiş olmak Sindirimi ve emilimi etkileyen hastalığının olması

Kontrol grubu varsa hangi sayı ve özellikteler, nereden nasıl sağlanacak?	

Yaş aralığı: *(Planlanan gönüllü sayısını yaş sınırlarıya belirtiniz.)*	
☐	Çocuk Yaş Grubu:
	Sayı:
☒	18 yaş üstü :
	Sayı:
	TOPLAM SAYI: 40
Cinsiyet: *(Planlanan gönüllü sayısının cinsiyet dağılımını belirtiniz)*	
☒	Kadın 20
☒	Erkek 20
	TOPLAM SAYI: 40
Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu:	
☒	Araştırma, katılımcının anlayabileceği dilde, tıbbi kelimelerden arındırılmış olarak (gerekli tıbbi terimler parantez içinde verilmiş) ve kurallara uygun olarak hazırlandı mı? **Örnek 1:** LİNK **Örnek 2:** LİNK

9. **ARAŞTIRMADA KULLANILACAK VERİ ARAÇLARI NELERDİR?** ***(****Form örneklerini ekleyiniz.****)***

	Bilgi-Soru formu ile
☐	■ Kendi kendine cevaplama
☐	■ Gözlem altında cevaplama
☐	■ Görüşmeci aracılığıyla cevaplama
☒	Gözlem
☒	Laboratuvar incelemesi
☐	Arşivden kayıt
☐	Diğer (Açıklayınız.)

NOT: Hangi bilgilerin / laboratuvar incelemelerinin nerelerden sağlanacağına ait ayrıntılı liste ile klinik ve laboratuvarlardan alınan ön-izin yazısını da ek olarak sununuz.

10. VERİLER HANGİ İSTATİSTİK YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLECEK:	SPSS 22. Versiyon istatistik programı kullanılarak nitel verilerin karşılaştırılması amacı ile ki-kare testi uygulanacaktır. Bireylerin zaman içindeki kan glukoz düzeyindeki değişimler Friedman testi ile değerlendirilecektir.

11. ARAŞTIRMA BÜTÇESİ: *(Araştırma bütçe formunu ayrıca doldurunuz.)*

Araştırma giderleri toplamı	
Araştırma giderlerinin kaynağı	
☐	■ Araştırmacının kendisi
	■ Destekleyici
☐	o Üniversite (BAP)
☒	o TÜBİTAK
☐	o DPT
☐	o Endüstri ve Diğer Kurumlar (Açıklayınız.)

12. ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER

☐	Tek Merkez
☒	Çok Merkez

13. ÇOK MERKEZLİ ARAŞTIRMALARDA, KURUM DIŞINDAKİ MERKEZLERİN BİLGİLERİ:

Çok merkezli çalışmalarda çalışmaya katılan merkezler : *(İletişim bilgileri ile beraber numaralandırarak listeleyin)*	1- Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Adres: YTÜ, Davutpaşa Kampüsü, Kimya Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü 34210 ESENLER/İSTANBUL Telefon: 0212 383 45 72 2- İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü Adres: Halkalı Cad. No: 2 Halkalı Küçükçekmece / İSTANBUL 34303 Telefon: 444 97 98

	3- İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü Adres : Maltepe Mahallesi, Yılanlı Ayazma Caddesi, No: 26 P.K. 34010 Cevizlibağ / Zeytinburnu / İstanbul Telefon: 444 50 01/1216
Toplam merkez sayısı:	**3**

14. ÇALIŞMA KOORDİNATÖRÜ BİLGİLERİ:

Koordinatör *(Çok merkezli araştırmalarda)* **ve sorumlu araştırmacı** *(Tek merkezli araştırmalarda) iletişim bilgileri)* **:**
■ Adı Soyadı: Muhammet ARICI
■ Unvanı (Dr., …): Prof.Dr.
■ Uzmanlık alanı: Gıda Bilimleri
■ İş adresi: YTÜ, Davutpaşa Kampüsü, Kimya Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü 34210 ESENLER/İSTANBUL
■ E-posta adresi: muhammet.arici@gmail.com
Telefon numarası: 0212 383 45 73 ■ ■ İmzası:
Sorumlu araştırmacı *(Gerektiğinde bu bölümü tekrarlayın)*
■ Adı Soyadı:
■ Unvanı (Dr., …):
■ Uzmanlık alanı:
■ İş adresi:
■ E-posta adresi:
■ Telefon numarası:
■ İmzası:

15. YARDIMCI ARAŞTIRICININ BİLGİLERİ:

Yardımcı araştırmacı *(Gerektiğinde bu bölümü tekrarlayın)*

- Adı Soyadı: Osman SAĞDIÇ
- Unvanı (Dr., …): Prof. Dr.
- Uzmanlık alanı: Gıda Bilimleri
- İş adresi: YTÜ, Davutpaşa Kampüsü, Kimya Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü 34210 ESENLER/İSTANBUL
- E-posta adresi: osagdic@yildiz.edu.tr
- Telefon numarası: 0212 383 45 74
- İmzası:

Yardımcı araştırmacı *(Gerektiğinde bu bölümü tekrarlayın)*

- Adı Soyadı: Mustafa YAMAN
- Unvanı (Dr., …): Dr.Öğr.Üyesi
- Uzmanlık alanı: Biyokimya
- İş adresi: Halkalı Cad. No: 2 Halkalı Küçükçekmece / İSTANBUL 34303
- E-posta adresi: mustafa.yaman@izu.edu.tr
- Telefon numarası: 444 97 98
- İmzası:

Yardımcı araştırmacı *(Gerektiğinde bu bölümü tekrarlayın)*

- Adı Soyadı: Hilal DEMİRKESEN BIÇAK
- Unvanı (Dr., …): Arş.Gör.
- Uzmanlık alanı: Gıda Bilimleri
- İş adresi: Maltepe Mahallesi, Yılanlı Ayazma Caddesi, No: 26 P.K. 34010 Cevizlibağ / Zeytinburnu / İstanbul
- E-posta adresi: hilal.demirkesen@yeniyuzyil.edu.tr
- Telefon numarası: 05362173317
- İmzası:

16. ARAŞTIRMADAN SORUMLU OLAN KLİNİK/ BÖLÜM:

Adı**:** Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü

- Adresi**:** YTÜ, Davutpaşa Kampüsü, Kimya Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü 34210 ESENLER/İSTANBUL
- Telefon numarası: 0212 383 45 72
- Faks numarası: 0212 383 45 71

17. YAPILACAK TESTLER, İLGİLİ LABORATUVAR VE DİĞER İNCELEMELER

Araştırmada yapılacak olan biyokimyasal, analitik, radyolojik, mikrobiyolojik, kognitif vb. testler ve diğer inceleme ve ölçümleri, yapılacak mekanlarla belirtin. *(Birden çok test, inceleme vb. için bilgileri tekrarlayın. Bu amaçla ek sayfaları kullanabilirsiniz)***:**

- Yapılacak test veya incelemenin adı:
- Accu chek glukometre ile kapiller kan glukoz ölçümü
- Temasa geçilecek kişinin adı soyadı: Arş.Gör. Hilal DEMİRKESEN BIÇAK

Adresi: İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Topkapı Dr. Azmi Ofluoğlu Yerleşkesi

- Maltepe Mahallesi, Yılanlı Ayazma Caddesi, No: 26 P.K. 34010 Cevizlibağ / Zeytinburnu / İstanbul
- Telefon numarası: 0536 217 33 17
- Faks numarası: 02124814058

18. ARAŞTIRMANIN PLANLANAN SÜRESİ:

- Planlanan Başlangıç Tarihi**:** 10.03.2019
- Planlanan Bitiş Tarihi: 10.09.2019

19. PROJE İLE İLGİLİ TEMAS KURULACAK KİŞİ:

Adı**:** Hilal DEMİRKESEN BIÇAK

1.1.1.1 Adresi: İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Topkapı Dr. Azmi Ofluoğlu Yerleşkesi

- Maltepe Mahallesi, Yılanlı Ayazma Caddesi, No: 26 P.K. 34010 Cevizlibağ / Zeytinburnu / İstanbul
- Telefon numarası: 0536 217 33 17
- Faks numarası: 02124814058

B
Duyusal Değerlendirme Formu

Panelistin Adı Soyadı: Tarih:

Saat:

Aşağıdaki tabloda yer alan kalite kriterlerini size verilen ekmeğin kodunun yer aldığı sütunda 1'den 5'e kadar puan vererek değerlendiriniz.

Kalite Kriterleri	**Örnek Kodları**				
Kabuk Rengi					
İç Rengi					
Gözenek Yapısı					
Genel Tat veAroma					
Asidik tat veAroma					
Tuzluluk					
Tekstür					
Çiğnenebilirlik					
Elastikiyet					
Yapışkanlık					
Dirençlilik					
Sertlik/Yumuşaklık					
Genel Beğeni					

Puan değerleri aşağıda yer alan açıklamaya uygun şekilde verilmelidir.

5=Çok iyi	4=İyi	3=Orta	2=Kötü	1=Çok kötü

Kabuk Rengi : Bakmak suretiyle renk analizi

İç Rengi : Bakmak suretiyle renk analizi

Gözenek Yapısı : Bakmak suretiyle ürünün iç yapısının gözenek içeriği

Genel Tat ve Aroma : Tatmak suretiyle tat ve aroma analizi

Asidik Tat ve Aroma: : Tatmak suretiyle asidik tat ve aroma analizi

Tuzluluk : Tatmak suretiyle asidik tat ve aroma analizi

Tatlılık : Tatmak suretiyle asidik tat ve aroma analizi

Tekstür : Bakmak ve Dokunmak suretiyle doku değerlendirme

Çiğnenebilirlik : Çiğnemek suretiyle yutma durumuna ulaşma analizi

Elastikiyet : Çiğnemek suretiyle esneme ya da yaylanma analizi

Yapışkanlık : Çiğnemek suretiyle yapışma/sakızlanma analizi

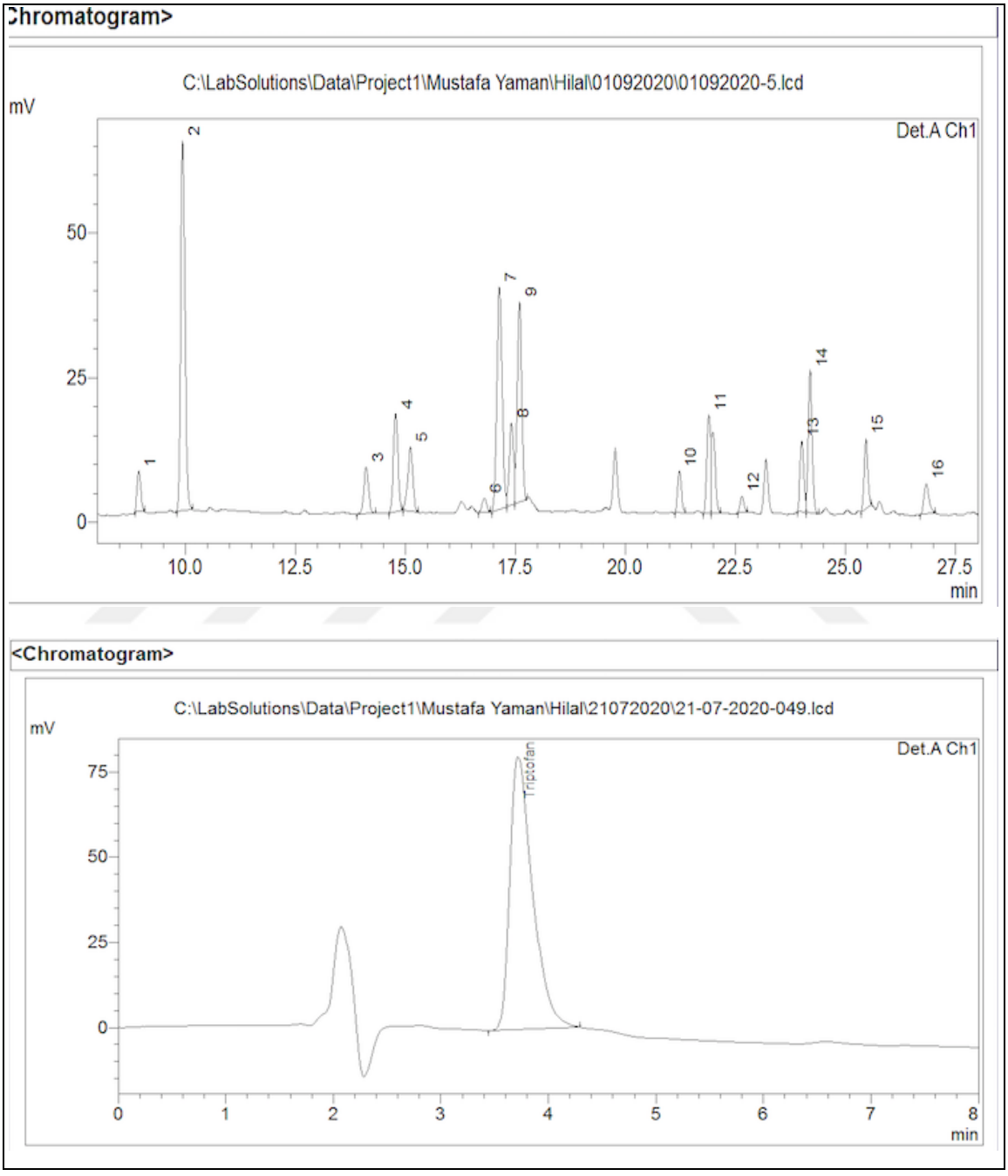
Dirençlilik : Çiğnemek suretiyle esnemeye direnç analizi

Sertlik/Yumuşaklık : Isırmak suretiyle sertlik ya da yumuşaklık analizi

Genel Beğeni : Yuttuktan sonra ürünü genel olarak beğenme durumu

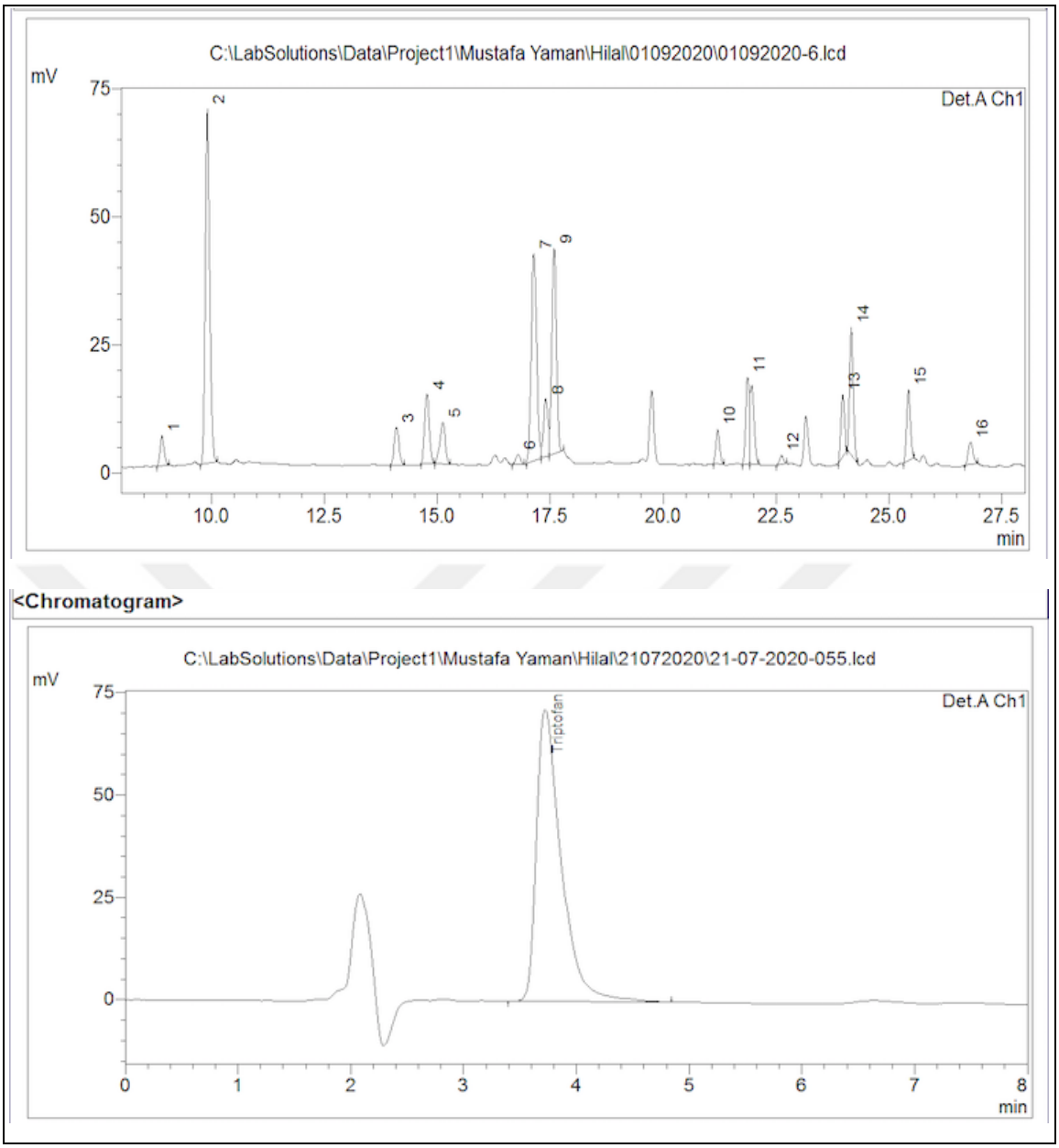
C

Örneklerin Amino Acid Profiline Ait Kromotogramlar



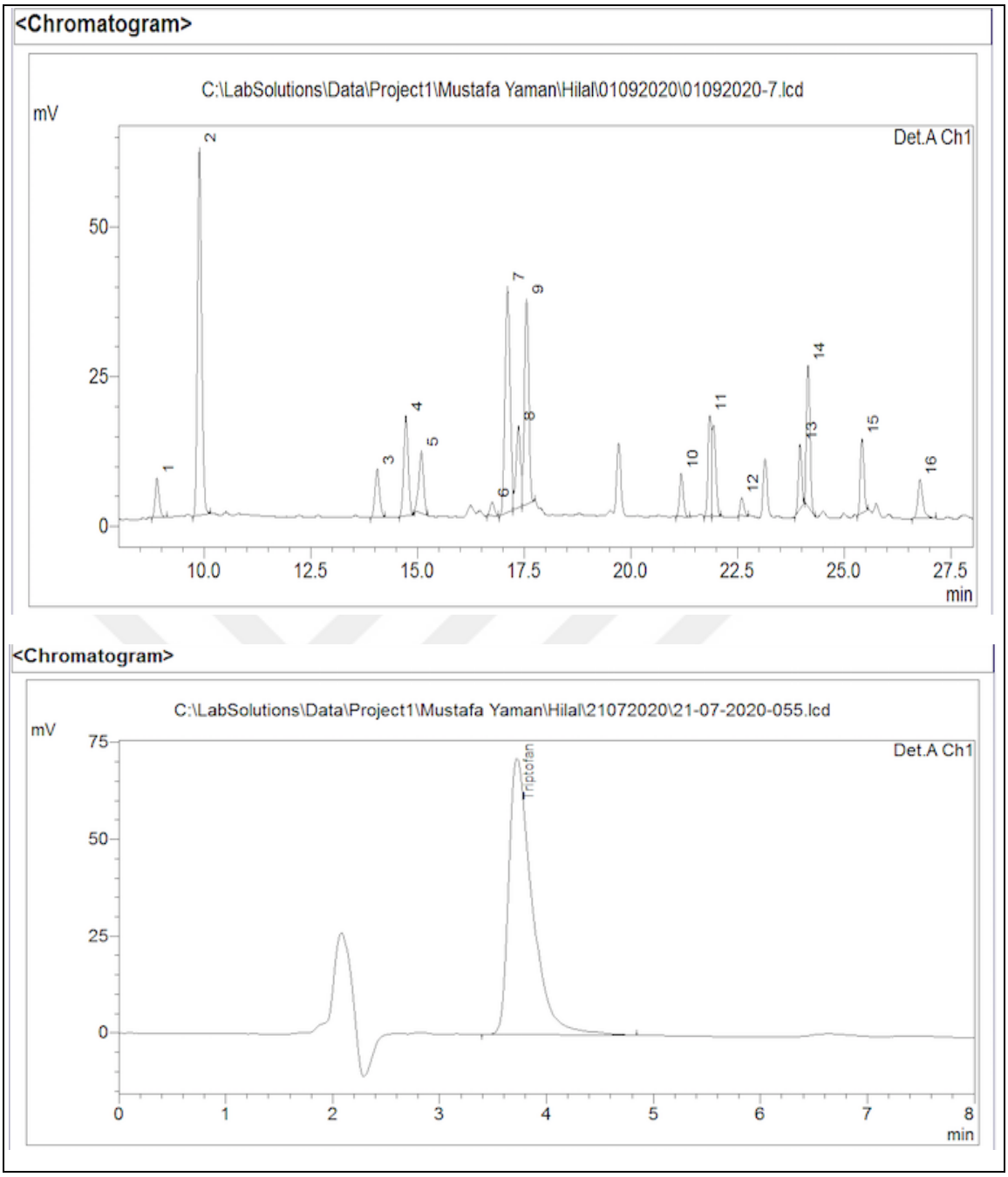
(1:Aspartik asit, 2:Glutamik asit, 3:Serin, 4:Glisin, 5:Histidin, 6:Arjinin, 7:Treonin, 8:Alanin, 9:Prolin, 10:Tirozin, 11:Valin, 12:Metiyonin, 13:İzolösin, 14:Lösin, 15:Fenilalanin, 16:Lizin)

Şekil C-1 1tb30 kodlu örneğe ait kromotogram



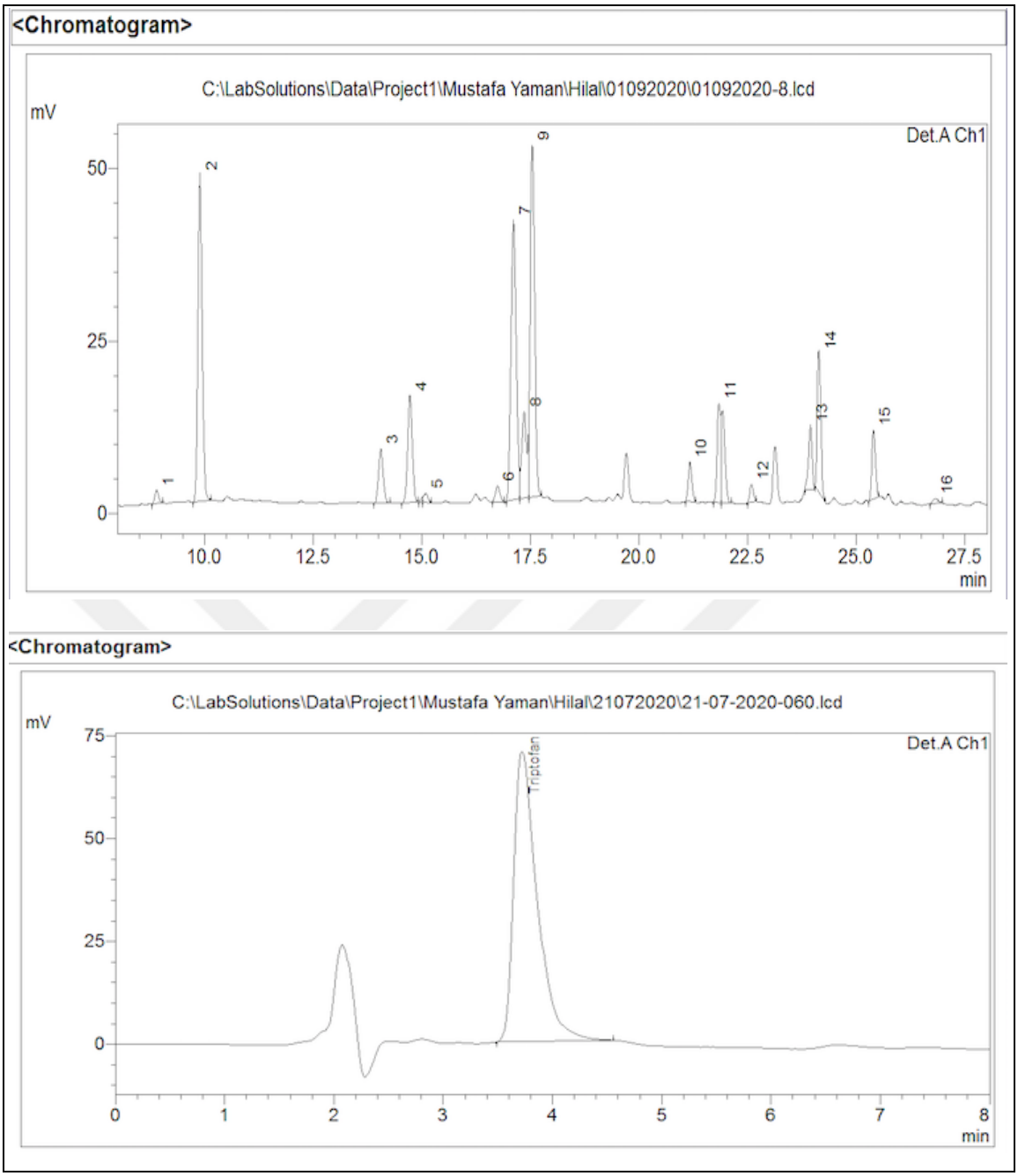
(1:Aspartik asit, 2:Glutamik asit, 3:Serin, 4:Glisin, 5:Histidin, 6:Arjinin, 7:Treonin, 8:Alanin, 9:Prolin, 10:Tirozin, 11:Valin, 12:Metiyonin, 13:İzolösin, 14:Lösin, 15:Fenilalanin, 16:Lizin)

Şekil C-2 1b25 kodlu örneğe ait kromotogram



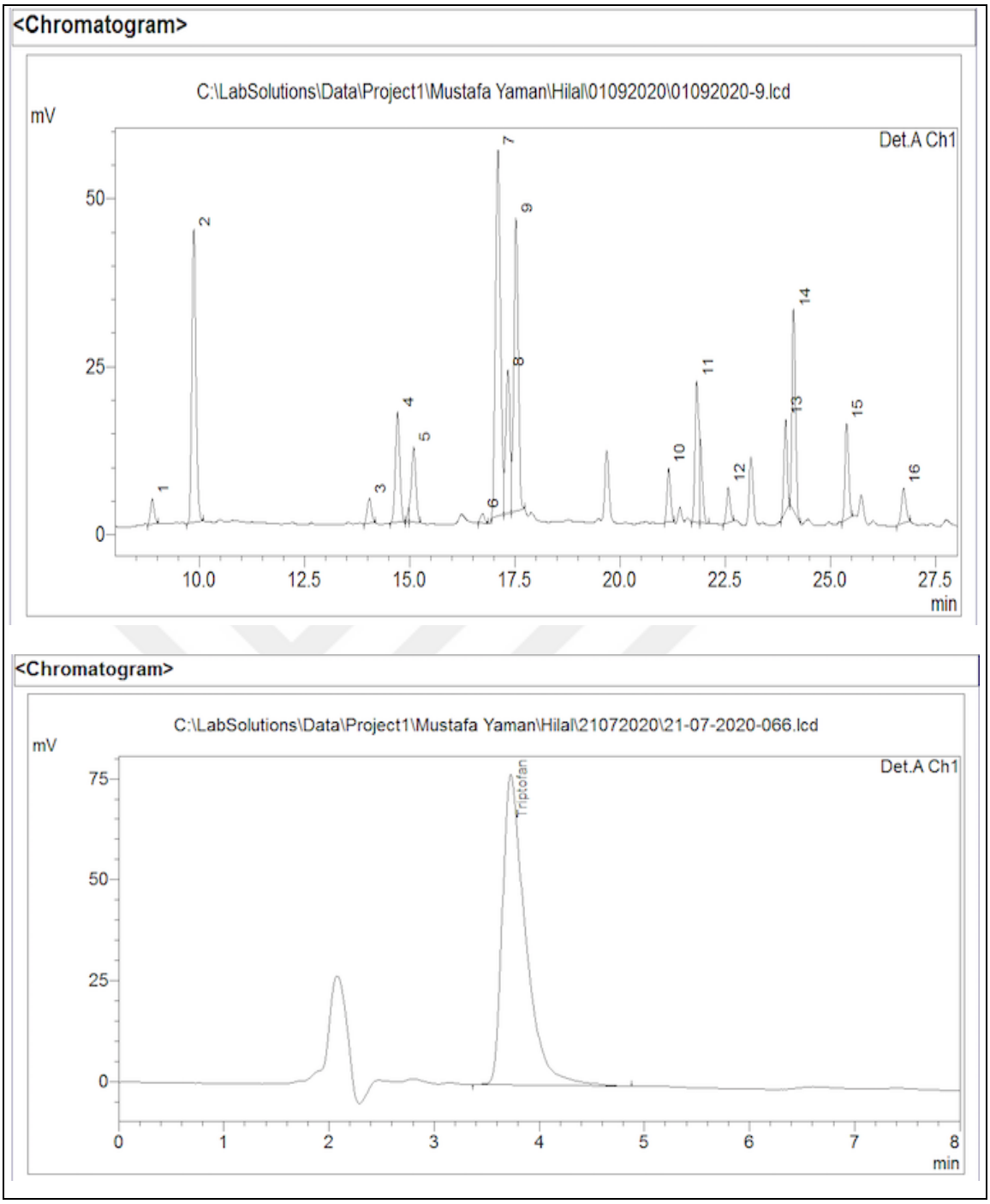
(1:Aspartik asit, 2:Glutamik asit, 3:Serin, 4:Glisin, 5:Histidin, 6:Arjinin, 7:Treonin, 8:Alanin, 9:Prolin, 10:Tirozin, 11:Valin, 12:Metiyonin, 13:İzolösin, 14:Lösin, 15:Fenilalanin, 16:Lizin)

Şekil C-3 1tb25 kodlu örneğe ait kromotogram



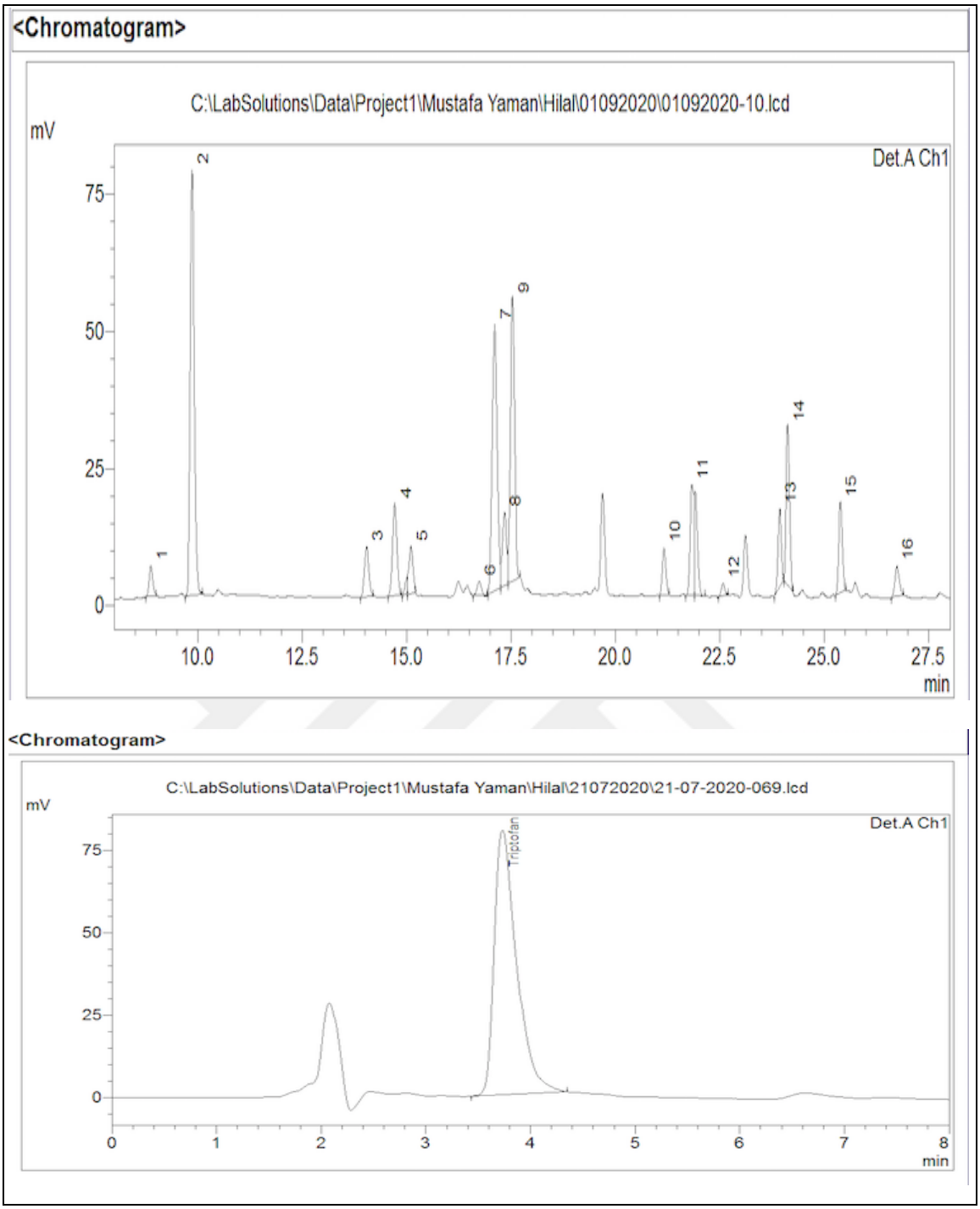
(1:Aspartik asit, 2:Glutamik asit, 3:Serin, 4:Glisin, 5:Histidin, 6:Arjinin, 7:Treonin, 8:Alanin, 9:Prolin, 10:Tirozin, 11:Valin, 12:Metiyonin, 13:İzolösin, 14:Lösin, 15:Fenilalanin, 16:Lizin)

Şekil C-4 kb kodlu örneğe ait kromotogram



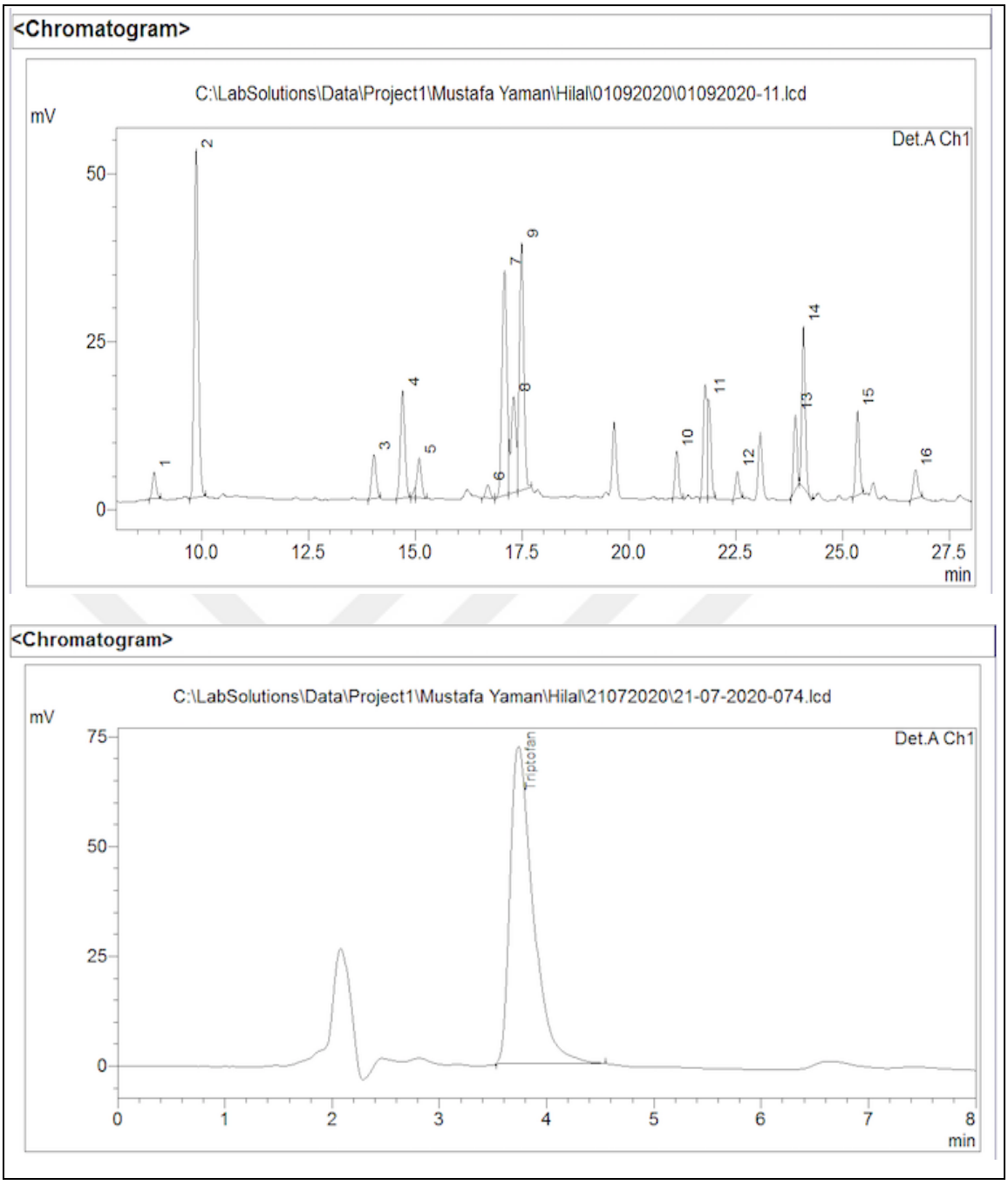
(1:Aspartik asit, 2:Glutamik asit, 3:Serin, 4:Glisin, 5:Histidin, 6:Arjinin, 7:Treonin, 8:Alanin, 9:Prolin, 10:Tirozin, 11:Valin, 12:Metiyonin, 13:İzolösin, 14:Lösin, 15:Fenilalanin, 16:Lizin)

Şekil C-5 ktb kodlu örneğe ait kromotogram



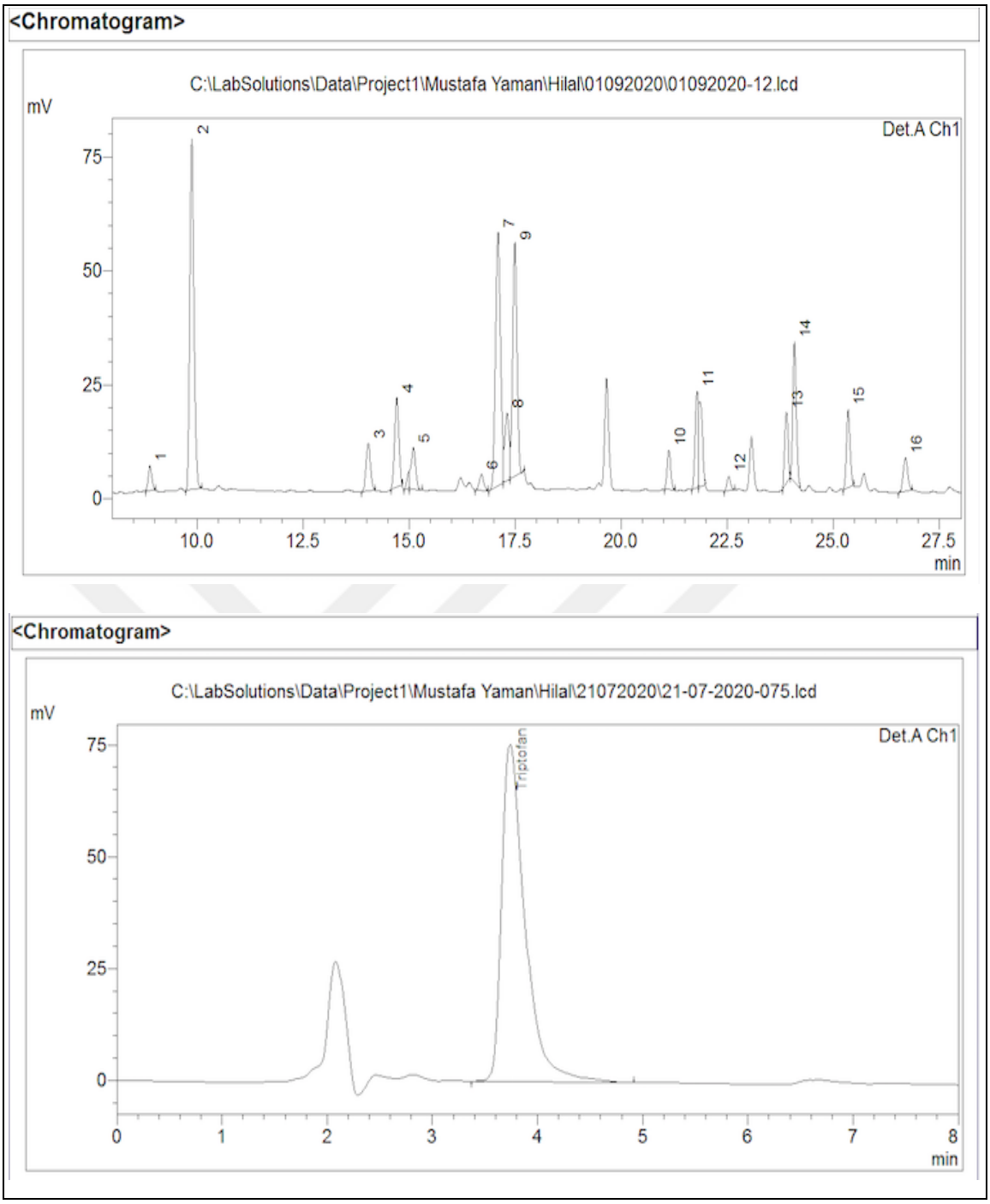
(1:Aspartik asit, 2:Glutamik asit, 3:Serin, 4:Glisin, 5:Histidin, 6:Arjinin, 7:Treonin, 8:Alanin, 9:Prolin, 10:Tirozin, 11:Valin, 12:Metiyonin, 13:İzolösin, 14:Lösin, 15:Fenilalanin, 16:Lizin)

Şekil C-6 2b30 kodlu örneğe ait kromotogram



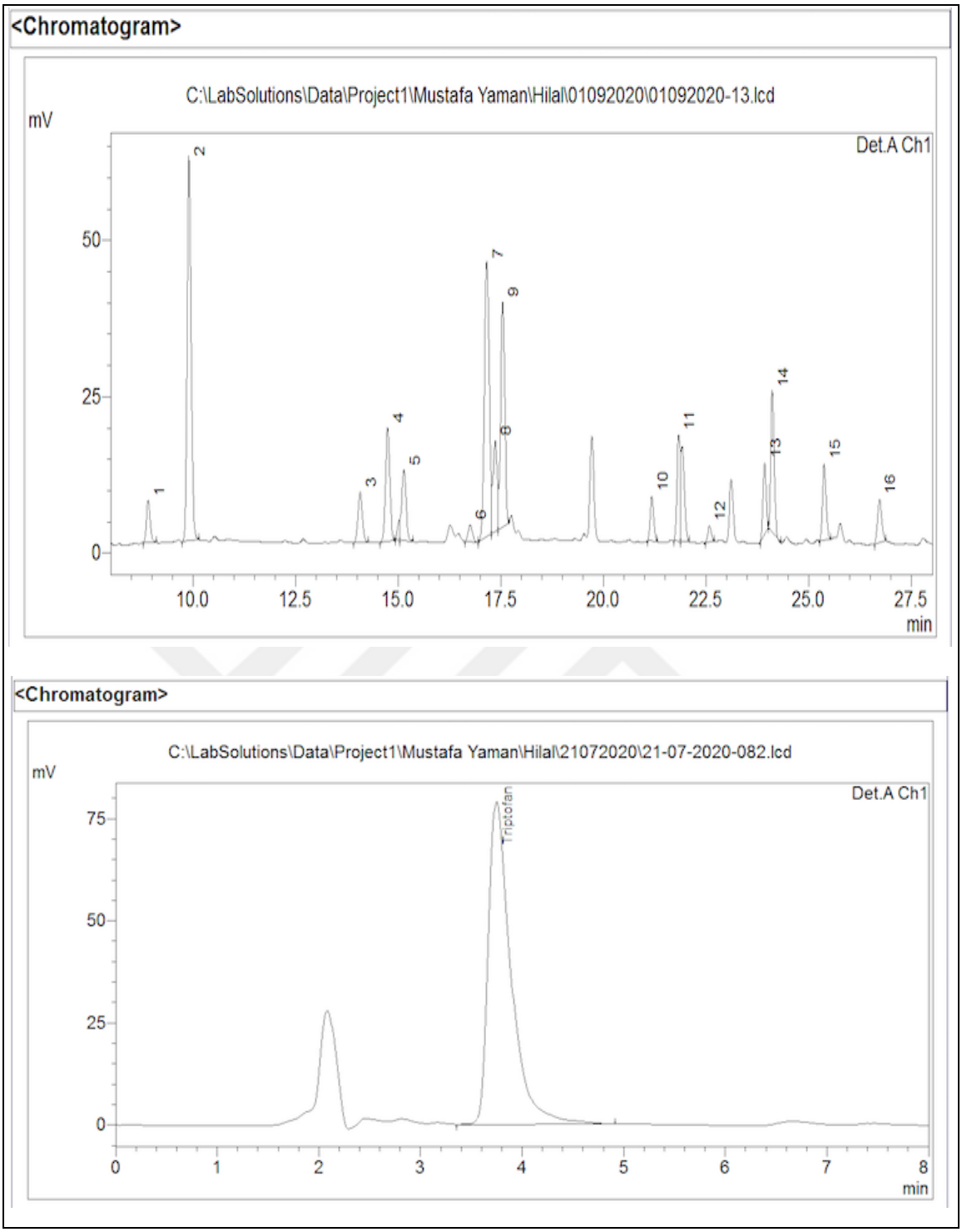
(1:Aspartik asit, 2:Glutamik asit, 3:Serin, 4:Glisin, 5:Histidin, 6:Arjinin, 7:Treonin, 8:Alanin, 9:Prolin, 10:Tirozin, 11:Valin, 12:Metiyonin, 13:İzolösin, 14:Lösin, 15:Fenilalanin, 16:Lizin)

Şekil C-7 2tb30 kodlu örneğe ait kromotogram



(1:Aspartik asit, 2:Glutamik asit, 3:Serin, 4:Glisin, 5:Histidin, 6:Arjinin, 7:Treonin, 8:Alanin, 9:Prolin, 10:Tirozin, 11:Valin, 12:Metiyonin, 13:İzolösin, 14:Lösin, 15:Fenilalanin, 16:Lizin)

Şekil C-8 2b25 kodlu örneğe ait kromotogram



(1:Aspartik asit, 2:Glutamik asit, 3:Serin, 4:Glisin, 5:Histidin, 6:Arjinin, 7:Treonin, 8:Alanin, 9:Prolin, 10:Tirozin, 11:Valin, 12:Metiyonin, 13:İzolösin, 14:Lösin, 15:Fenilalanin, 16:Lizin)

Şekil C-9 2tb25 kodlu örneğe ait kromotogram

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

1. Demirkesen-Bicak, H., Arici, M., Yaman, M., Karasu, S., & Sagdic, O. (2021). Effect of Different Fermentation Condition on Estimated Glycemic Index, In Vitro Starch Digestibility, and Textural and Sensory Properties of Sourdough Bread. *Foods*, *10*(3), 514.

Projeler

1. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 119O605 numaralı TOVAG (1002) projesi 30/08/2019-30/08/2020 tarihleri arasında tamamlanmıştır.

   Proje adı: Ekşi Hamur Fermantasyonunun Nişasta Sindirilebilirliği, Mineral ve Protein Biyoerişilebilirliğine Etkisinin Araştırılması

   Yürütücü: Prof.Dr. Muhammet ARICI

   Araştırmacılar:

   Prof.Dr. Osman SAĞDIÇ

   Doç.Dr. Mustafa YAMAN

   Hilal DEMİRKESEN BIÇAK